

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS



ÓRGANO PROFESIONAL DE LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Nº 340 / AÑO 148 / Febrero 2001 / 1.500 Ptas. / 9,02 Euros

BEIJING (CHINA)

XX CONGRESO INTERNACIONAL DE GRANDES PRESAS

SÍNTESIS DE LA ACTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE PRESAS EN ESPAÑA EN EL TRIENIO 1997-1999

Francisco Sacristán Gárate

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de Area de Presas - Ministerio de Medio Ambiente

M^a Gabriela Mañueco Pfeiffer

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

División de Obras Hidráulicas y Gestión del Agua - Intecsa-Inarsa, S.A.

RESUMEN

En el presente artículo se ha plasmado la actividad en el campo de las presas en el trienio 1997/1999. En este tiempo ha continuado aumentando el ya importante número de presas. En el futuro, cobrará cada día mayor importancia el mantenimiento de estas estructuras, al mismo tiempo nuestra experiencia se verá abocada a desarrollarse cada día más en los proyectos y obras de recrecimiento y exportando nuestra técnica al extranjero.

ABSTRACT

The article summarizes dam construction between 1997 and 1999 in the intervening years between the Florence and Beijing Congresses. Over this period there has been a steady increase in the number of dams constructed in Spain and in the future the experience gained shall be put to use in the maintenance of these structures, on the development of more dam projects and heightening works and in the export of Spanish technology abroad.

INTRODUCCIÓN

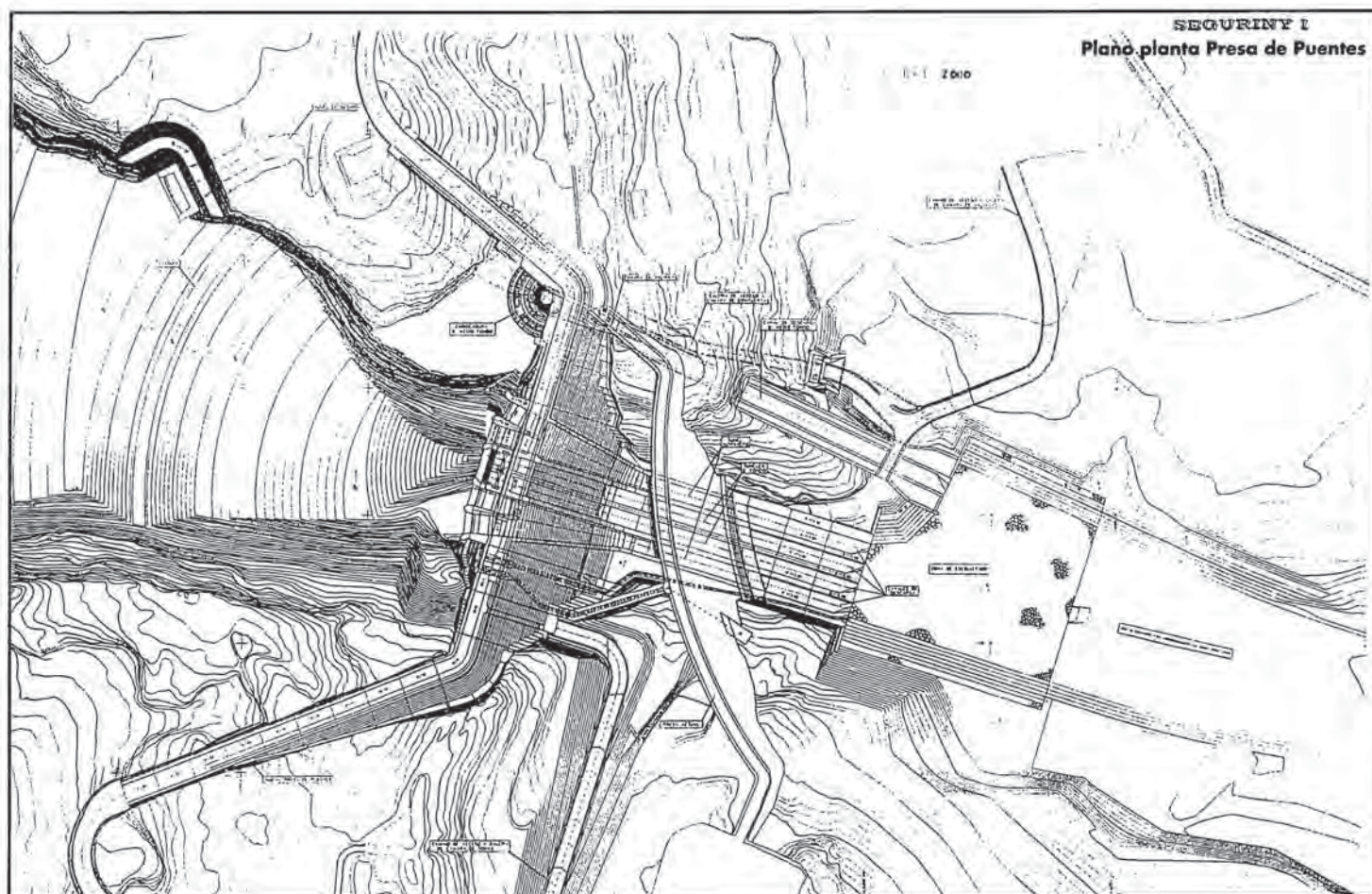
En este artículo se ha tratado de plasmar la actividad presística en España en el trienio comprendido entre el XIX y el XX Congreso Internacional de Grandes Presas. Al igual que en ocasiones anteriores consta de dos partes bien diferenciadas, en la primera se describe la actividad en relación con las estadísticas, en la segunda se han incluido unas "fichas" con una selección de las presas en construcción.

En la primera parte se han separado, las presas puestas en explotación en el trienio y las presas en construcción. Como novedad se realiza un primer apunte de las obras de recrecimiento que están empezando a ser cada día más frecuentes. Por último, se incluye una breve reseña de las presas en el extranjero en cuya construcción intervienen empresas constructoras españolas.

PRESAS TERMINADAS EN EL TRIENIO 1997-1999

En el trienio comprendido entre 1997 y 1999 se han terminado en España un total de dieciocho (18) presas que son las que figuran en la tabla nº 1. Si analizamos las presas por Cuencas Hidrográficas dos de ellas pertenecen a la Cuenca del Duero (en realidad se trata de una presa y su collado de cierre), otras dos a la Cuenca del Ebro, tres a la del Guadalquivir, cinco a la del Guadiana, tres a la del Segura y tan solo una a la del Pirineo, una a la del Sur y otra a la del Tajo. Si trasladamos el análisis al ámbito provincial, la provincia en la que se han construido más presas es la de Cáceres con tres, seguida por Albacete, Huelva y Lérida con dos presas en cada una construidas en el último trienio.

Como se puede comprobar en la citada tabla nº 1, quince (15) de las presas concluidas son de titularidad estatal y repre-



sentan una gran mayoría frente a las otras tres que pertenecen respectivamente a la Autonomía de Extremadura, a la Generalitat de Cataluña y a Río Tinto. En lo que se refiere a la distribución por año de finalización se han terminado seis (6) en 1997, seis (6) en 1998 y otras seis (6) en 1999.

Si analizamos las tipologías que se presentan, tenemos tan solo una presa bóveda construida en el trienio, la presa de La Llosa del Cavall. Mientras que las presas de escollera son un total de cuatro (4) y las de tierra otras cuatro (4) frente a siete (7) de gravedad de hormigón vibrado y dos (2) de hormigón compactado, es decir ocho de materiales sueltos y nueve de hormigón con una notable igualdad entre tipologías. Únicamente dos de las presas, La Aguzadera (104,50 m), La Llosa del Cavall (122,30 m), superan los 100 m de altura.

El incremento de la capacidad de los embalses españoles en este trienio representa un total de 1007,75 hm³. En cuanto a los usos a los que se destinan los mismos está cubierto prácticamente todo el espectro puesto que van desde la defensa de crecidas, tan necesaria en nuestro país, hasta los usos industriales pasando, claro está, por los riegos. Tres (3) de las presas se dedicarán a abastecimiento juntamente con riegos mientras que otras cinco (5) tienen como objetivo único las reservas de agua para riegos.

El incremento de embalse en la cuenca del Duero es de tan sólo 12,8 hm³ frente a 402 hm³ en la cuenca del Ebro lo que pone en evidencia las grandes diferencias existentes entre cuencas por no mencionarlos 0,96 hm³ de la cuenca del Tajo. En el Guadalquivir se ha conseguido un aumento del volumen de embalse de 171,48 hm³ gracias a la importancia de los volúmenes embalsados por la presa de Vadomojón y en el Guadiana 282,75 hm³ que se deben fundamentalmente a la presa de Torre de Abraham.

PRESAS EN CONSTRUCCIÓN

En el momento de concluir el período analizado, se encontraban en construcción un total de 29 presas como se recoge en la tabla nº 2. La mayoría de ellas pertenecen al estado, y son presas de hormigón tanto vibrado (8) como compactado (6). La distribución por cuencas hidrográficas es de 6 en el Duero, 11 en el Ebro, 2 en el Guadiana, 2 en el Júcar, 3 en el Segura, 2 en el Guadalquivir y una en cada una de las cuencas del Norte, Sur y Tajo.

Al analizar la distribución en función de la altura se detectan 3 grupos claros, las presas de más de 100 metros que son

TABLA 1. PRESAS TERMINADAS EN 1997-1999

Nombre	Río	Cuenca	Provincia	Propietario	Año Finalización	Tipo	Altura	Capacidad	Destino
1 Aguzadera, La	Aguzadera	Guadiana	Huelva	Rio Tinto	1998	E	104,50	60,40	U/I
2 Almodovar (Collado) (RTO)	Almodovar	Guadalquivir	Cádiz	Estado	1997	G	0,00	0,00	F
3 Almodovar (RTO)	Almodovar	Guadalquivir	Cádiz	Estado	1997	G	47,00	6,48	F
4 Casasola	Campanillas	Sur	Málaga	Estado	1999	G	89,00	41,99	I
5 Cubilar	Cubilar	Guadiana	Cáceres	Estado	1998	T	18,00	5,90	I
6 Jarama	Jarama	Guadiana	Huelva	Estado	1999	E	42,10	31,20	F
7 Llosa del Cavall	Cardoner	Pirineo	Lérida	Generalitat Cataluña	1999	B	122,30	80,00	X
8 Navarredonda	Tamuja	Tajo	Cáceres	Auton. Extremadura	1997	G	16,00	0,96	S
9 Queiles (Azud)	Queiles	Ebro	Zaragoza	Estado	1998	G	11,50	0,57	D
10 Rambia de Bayco	Bayco u Ortigosa	Segura	Albacete	Estado	1999	E	43,00	13,50	C
11 Rambia de los Charcos	Charcos de Tobarra	Segura	Albacete	Estado	1999	HC	30,50	1,70	C
12 Rialb	Segre	Ebro	Lérida	Estado	1999	HC	96,30	402,00	I/S
13 Riobobos (Azud)	Riobobos	Duero	Salamanca	Estado	1998	T	19,80	12,80	I
14 Riobobos (Dique)	Riobobos	Duero	Salamanca	Estado	1998	T	3,20	0,00	I
15 Romeral, El (Collado)	Guadalentin	Segura	Murcia	Estado	1997	T	9,00	0,00	I
16 Ruecas (Azud)	Ruecas	Guadiana	Cáceres	Estado	1997	G	18,50	0,25	Z
17 Torre de Abraham (RTO)	Bullaque	Guadiana	—	Estado	1997	G	51,00	185,00	I
18 Vadomojón	Guadajoz	Guadalquivir	Córdoba	Estado	1998	E	75,00	165,00	I/N
									1007,75

SIGLAS UTILIZADAS

Tipo

B=bóveda-cúpula
E=escollera
G=gravidad
HC=hormigón compactado
T=tierra

Destino

C=defensa de crecidas
F=riegos abastecimiento
G=riegos regulación
H=energía
I=riegos

S=abastecimiento
UI=usos industriales
Z=regulación/riegos/abastecimiento/energía
X=abastecimiento/regulación

TABLA 2. PRESAS EN CONSTRUCCIÓN

Nombre	Río	Cuenca	Provincia	Propietario	Tipo	Altura	Capacidad	Destino
1 Algar	Palencia	Júcar	Valencia	Estado	HC	49,00	6,29	G
2 Andévalo	Malagón	Guadiana	Huelva	Estado	E	70,00	600	I
3 Arieta	Arrieta	Ebro	Burgos	C-Regantes Berokia	E	24,50	1,40	I
4 Atance, El	Salado	Tajo	Guadalajara	Estado	HC	44,71	35,27	I
5 Bubones	Duero	Duero	Soria	Particular	T	10,00	1,1	H
6 Cigudosa / Valdeprado	Alhama	Ebro	Soria	Estado	HC	65,50	41,80	F
7 Colomera	Colomera	Guadalquivir	Granada	Estado	T	19,50	0,13	I
8 Enciso	Cidacos	Ebro	Logroño	La Rioja	HC	103,50	48	I/B/S
9 Ibiur	Ibiur	Norte	Guipuzcoa	Estado	HC	68,00	7,50	GS
10 Iruña	Agueda	Duero	Salamanca	Estado	AG	68,50	122,50	GS
11 Itoiz	Iratí	Ebro	Navarra	Estado	G	128,00	418,00	I/S/H
12 Itoiz (Collado)	Iratí	Ebro	Navarra	Estado	G	24,00	0,00	I
13 Lomilla de Aguilar	Reitobas	Duero	Palencia	Castilla-León	T	23,00	0,63	F
14 Loteta	Carrizal	Ebro	Zaragoza	Estado	T	29,00	96,73	Z
15 Montearagón	Flumen	Ebro	Huesca	Estado	E	78,00	51,50	I/S
16 Mora de Rubielos	Tosquillas	Júcar	Teruel	Estado	E	35,00	0,98	F
17 Palma d' Ebre	Mont Blanquet	Ebro	Tarragona	Generalitat Cataluña	T	29,70	1,35	F
18 Puentes II	Guadalentín	Segura	Murcia	Estado	G	62,00	29,50	I/C
19 Puentes II (Collado)	Guadalentín	Segura	Murcia	Estado	G	10,00	0,00	I/C
20 Quailles (Azud)	Quailles	Ebro	Zaragoza	Estado	G	11,50	0,57	D
21 Risca, La	Alharabe	Segura	Murcia	Estado	G	26,88	2,33	I/C
22 Ruelas (Azud)	Ruelas	Guadiana	Cáceres	Estado	G/T	18,20	0,43	Z
23 Rules	Guadalefo	Sur	Granada	Estado	G	130,00	117,08	Z
24 San Fernando	Tormes	Duero	Salamanca	Salto de San Fernando S.L.	A	15,00	1,25	H
25 Tabuyo del Monte (Valtabuyo)		Duero	Avila	Junta de Castilla - León	E	28,70	3,18	F
26 Val	Val	Ebro	Zaragoza	Estado	HC	94,30	25,29	I
27 Viboras	Viboras	Guadalquivir	Jaén	Estado	B	48,50	19,11	S
28 Zapardiel de la Cañada	Arroyo de las pasaderas	Duero	Castilla - León	G/T	14,81	0,41	I	
29 Yalde	Yalde	Ebro	La Rioja	La Rioja	T	55,00	3,58	GS
								1635,90

SIGLAS UTILIZADAS

Tipo
 B=bóveda-cúpula
 E=escollera
 G=gravedad

HC=hormigón compactado
 T=tierra
 A=arco

Destino

C=defensa de crecidas
 F=riegos abastecimiento
 G=riegos regulación
 H=energía

I=riegos

S=abastecimiento
 UI=usos industriales
 Z=regulación/riegos/abastecimiento/energía

TABLA 3

Nombre	Comunidad	Cuenca	Provincia	Propietario	Altura recrecimiento (m)	Aumento capacidad total (hm³)	Uso
La Breña II	Andalucía	Guadalquivir	Huelva	Estado	71	698	U/I
Yesa	Aragón	Ebro	Zaragoza Navarra	Estado	38	1054	U/I

3, las de menos de 20 que son 5 y el grupo más importante que es el de las comprendidas entre 20 y 100 metros que son 19 con 11 de ellas de menos de 50 m.

En cuanto al incremento de volumen regulado que supondrán se trata de un total de 1635 hm³ regulables por los embalses en ejecución.

En lo que se refiere a los usos de los embalses en construcción estos serán mayoritariamente destinados a abastecimiento y riegos al igual que en los últimos años.

RECRECIMIENTOS

Al ir agotándose las cerradas con mejores características de cimentación, se proyecta cada día mayor número de recrecimientos, con una altura considerable y un gran volumen de embalse. Tras haberse concluido Torre de Abraham en el trienio 97-99, a finales del 99 se encontraban en licitación y a punto de licitarse los recrecimientos de Yesa y La Breña II cuyas características son las que figuran en la tabla 3.

Conviene reseñar que muchos de estos recrecimientos se están proyectando mediante presas exentas, como en el caso de La Breña II y en algunas de las soluciones ofertadas para Yesa, debido en la mayoría de los casos al temor a excavar el pie de presa de la existente sin perjudicar a su estabilidad, y,

en el resto, a las necesidades de aprovechar la topografía o a la falta de confianza en el comportamiento de la antigua presa o de la unión entre fábricas.

ACTIVIDAD DE EMPRESAS ESPAÑOLAS EN EL EXTRANJERO

También como nueva aportación a este resumen de actividad presística española parece necesario reseñar la actividad de las empresas constructoras españolas en el extranjero puesto que estas obras sirven como escaparate de la técnica española en el extranjero y sobre todo, porque se trata de obras de gran relevancia internacional con una altura y volumen importantes cuya construcción supone una muy buena experiencia para nuestros técnicos. Actualmente están en construcción las cinco presas indicadas en la tabla, todas ellas de hormigón, tres de compactado con rodillo y dos de vibrado (Tabla 4).

A continuación se incluyen las fichas de algunas presas terminadas y en construcción en España, con una breve descripción, una foto y un plano de cada una de ellas. Se trata de las presas de: ALGAR, ANDÉVALO, EL ATANCE, IRUEÑA, ITOIZ, LA LOTETA, LA RISCA, MORA DE RUBIELOS, MORATALLA, PUENTES, RIALB, RULES, SAN FERNANDO Y VÍBORAS.

TABLA 4

Presa	País	Propietario	Constructor	Altura	Volumen (hm³)	Uso
Beni Haroun	Argelia	Ministere de l'Equipement	Dragados	118	1.900.000	I/S
Sa Stria	Italia (Cerdeña)	Consorzio di Bonifica de la Sardegna Meridionale	Dragados/FCC/ Grandi Lavori	87	518.000	I/S/H
Porce	Colombia	Empresas Públicas de Medellín	Dragados(Con Concreto)	123	1.450.000	H
Caruachi	Venezuela	EDELCA	Dragados/ICA	79	1.705.000	H
Alqueva	Portugal	EDIA (filial de Electricidade de Portugal)	Dragados/Necso/ Somague/Bento Pedroso	96	1.100.000	I/S/H

PRESA DE ALGAR

La presa de Algar se sitúa en el río Palancia, en el término municipal de Algar de Palancia (Valencia) y se apoya sobre terrenos del triásico correspondientes al Muschelkalk inferior y medio, presentado primordial y respectivamente por dolomías y margas.

La cuenca tiene una superficie de 781 km² y una aportación media anual de 46 hm³. La cota de NAP es 213,50 m.s.n.m. y la cota de NMN es 207,00 m.s.n.m., siendo la capacidad a esta última cota de 6,29 hm³ y la superficie de lámina de agua de 69,40 ha.

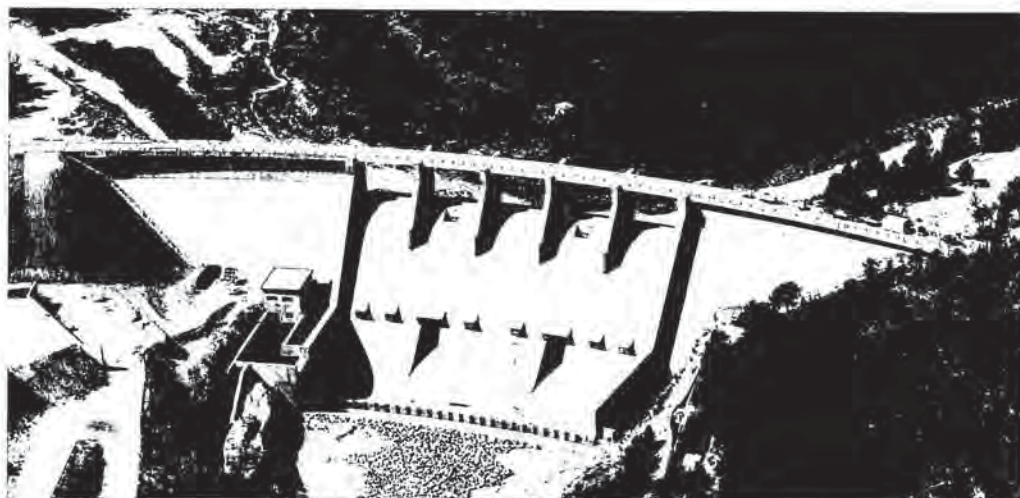
La presa responde a la tipología mixta de gravedad con planta circular, con radio de curvatura de 350 m y con una parte de gravedad en hormigón convencional, con taludes 0,05 H : 1 V aguas arriba y 0,75 H : 1 V aguas abajo, y otra parte de materiales sueltos con núcleo central constituido por una pantalla bituminosa de 60 cm. Los espaldones de esta parte están constituidos por zahorras recubiertas externamente por un rip-rap y sus taludes son 2 H : 1 V aguas arriba y aguas abajo. La cota de coronación de la presa es 217,00 m.s.n.m., la altura máxima sobre cimientos es de 49 m y la longitud y anchura de coronación son, respectivamente, 484,42 y 5 m.

El aliviadero de superficie es de labio fijo y se sitúa sobre la presa en su tramo de hormigón. Tiene 5 vanos y una longitud de vertedero de 74 m, situándose el umbral a la cota 207,00 m.s.n.m. El canal de descarga termina en un cuenco amortiguador. Su capacidad de desagüe máxima es de 2650 m³/s.

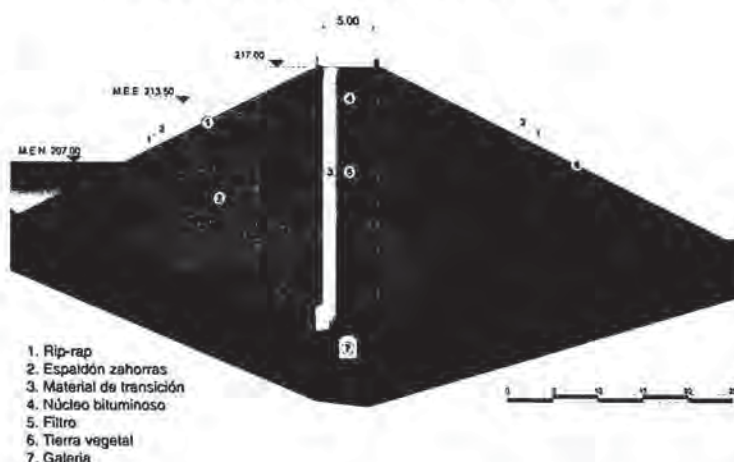
Existen 2 desagües de fondo que atraviesan el cuerpo de presa, también en el tramo de hormigón. Se trata de conductos rectangulares controlados por 2 compuertas tipo Bureau de 2,00 x 3,00 m² cada uno. La cota del eje de la embocadura es 184,5 m.s.n.m. y el caudal total desaguado a NMN es de 240 m³/s.

Las unidades de obra más representativas son:

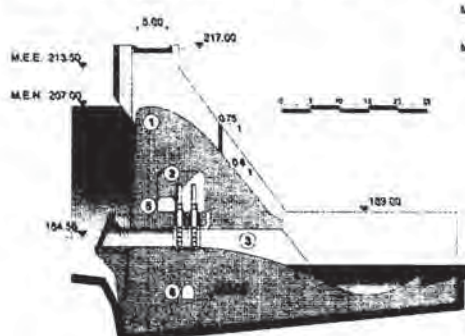
- Volumen de hormigón..... 120.304 m³
- Volumen de materiales sueltos ...203.259 m³
- Superficie núcleo bituminoso..... 3.374 m²



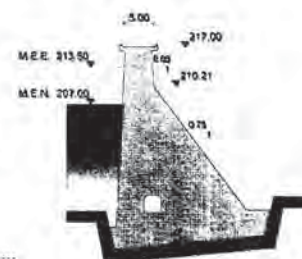
SECCION TIPO MATERIALES SUELTOS



SECCION TIPO POR DESAGÜE DE FONDO



SECCION TIPO POR ESTRIBOS



1. Aliviadero
2. Cámara de válvulas
3. Desagüe de fondo
4. Cuenco amortiguador
5. Galería principal
6. Galería de inyecciones



PRESA DE ANDÉVALO

La presa de Andévalo, de escollera con núcleo central de arcilla, está situada en la confluencia de los ríos Malagón y Cobica, afluentes a su vez del Chanza en la cuenca del Guadiana. La superficie de la cuenca, que tiene una precipitación media anual de 649,5 mm, es de 738 km² y tiene una aportación anual variable entre 0 y 350 hm³ con una media de 120 hm³. El caudal punta de la avenida de 500 años de período de retorno es de 1220 m³/s y el de la máxima probable es de 1660 m³/s. El volumen de embalse a la cota del NMN, 112 m.s.n.m., es de 634 hm³ con un embalse muerto de 16 hm³.

La altura máxima de la presa sobre cimientos es de 69,50 m. La coronación de la presa está a la cota 116,50, 1 m por debajo de la del núcleo y 3 m por encima del NAP. La longitud de coronación es de 1830 m con un ancho de 44 m. Esta última dimensión poco usual se debe al hecho de que debido a la declaración de impacto ambiental se planteó un proyecto de presa recrecible, cuya primera fase es la que se está construyendo en la actualidad.

La sección tipo de presa dispone de taludes 1,8H : 1V y 2H : 1V. El cambio de pendiente se produce a la cota 95 en el paramento de aguas abajo y a dicha cota se dispone de una

berma de 7 m de ancho, el mismo que a la cota 65 m.s.n.m. a la que se sitúa la otra berma. En el paramento de aguas arriba el cambio de pendiente tiene lugar en el nivel de coronación de las ataguías (recordemos que existen 2 cauces) en el que existe también una berma de 7 m de ancho.

El volumen de excavación de proyecto es de $0,69 \cdot 10^6$ m³ y el volumen de los materiales que conforman la presa es de $6,1 \cdot 10^6$ m³ el de la arcilla del núcleo y $0,48 \cdot 10^6$ y $0,44 \cdot 10^6$ m³ respectivamente el del material de transición y en el filtro.

El aliviadero tiene una longitud libre de 104 m distribuidos en 8 vanos. La cota del umbral del vertedero es la 112 m.s.n.m. siendo 1,51 m la altura de la lámina de diseño para un caudal de vertido de 417 m³/s que se restituyen a un barranco aguas abajo del collado lateral en el que se ha proyectado el aliviadero.

Los desagües de fondo son dos conductos de 2 m de diámetro que disponen de 2 válvulas Bureau de seguridad y 1 válvula Howell-Bunger para regulación en cada línea. Estos desagües se alojarán en la galería de desvío y tendrán una capacidad máxima de desagüe de 123 m³/s y permiten el vaciado del embalse en 90 días. ■

PRESA DE EL ATANCE

La presa de El Atance se sitúa sobre el río Salado en la Alcarria. Este río ha formado un valle en el que se encuentra el pueblo de El Atance, situado a pocos kilómetros del río Henares al que vierte sus aguas el Salado.

La función principal de la construcción de la presa es la de complementar los volúmenes de aguas requeridos por los regadíos de la cuenca del Henares que actualmente se abastecen con los caudales regulados por los ríos Bornova y Cañamares en los embalses de Alcorlo y Palmaces respectivamente.

Se proyectó y construyó una presa de gravedad de hormigón compactado con rodillos, de planta recta, con el paramento aguas arriba vertical y el de aguas abajo escalonado, según un talud teórico de $0,8H : 1V$, con una altura de escalones 1,20 m tanto en los estribos de la presa como en el canal de descarga del aliviadero. La altura máxima sobre el cimiento es de 45 m y la altura sobre el cauce del río de 34 m. La longitud de coronación es de 185 m, estando a la cota 911,14. Las juntas transversales, cuatro en total, dividen el cuerpo de presa en bloques de anchura variable, con un máximo en el bloque central, que aloja el aliviadero, de 50 m.

Como avenida de diseño del aliviadero se ha tomado la correspondiente a un período de retorno de 1000 años, con un caudal laminado de $128 \text{ m}^3/\text{s}$. El aliviadero adoptado es de labio fijo, formado por cuatro vanos de 8 m separados por pilas de 1,05 m de espesor, y está sensiblemente centrado en el cauce del río y en la presa. El perfil del labio es Bradley, liso en la cresta. A partir de un punto del paramento aguas abajo empieza un escalonado variable creciente, que sirve de transición hasta el primer escalón de altura 1,20 metros.

El caudal unitario efluente en la avenida milenaria resulta de $4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, relativamente pequeño para el escalonado proyectado, lo que hará que en el canal de descarga, o rápida del aliviadero se disipará una gran parte de la energía de la lámina antes de su entrega al cuenco amortiguador, que por esta razón tiene una longitud de sólo 11 m.

Los desagües de fondo consisten en dos conductos de 1,00 m de diámetro, controlados mediante dobles válvulas de compuerta, con una capacidad unitaria de $13,35 \text{ m}^3/\text{s}$, estando situados a la cota 882,00 m.s.n.m. La descarga se produce al cuenco amortiguador, de forma oblicua, desde el muro cajero izquierdo de aquél.

Las tomas de agua están formadas por dos conductos circulares de 0,90 m de diámetro, embocaduras a las cotas 886,70 y 896,70 m.s.n.m., que se unen mediante un pantalón



justo antes de la descarga al cuenco amortiguador a la cota 882,00 m.s.n.m. Los dispositivos de maniobra son una válvula de compuerta por conducto y una válvula Howell-Bunger en la salida común. La capacidad de desagüe máxima de la toma es de $12,57 \text{ m}^3/\text{s}$.

En abril de 1997 comenzó la ejecución del hormigonado del cuerpo de la presa. Este se planteó considerando a la presa como un solo bloque, sin juntas encofradas, trabajando de ladera a ladera en todo momento (excepto en las dos semicoronaciones de los estribos), obteniendo las máximas ventajas del método HCR y asimilando la construcción a la de una presa de materiales sueltos.

Se empleó un encofrado por módulos de 5 m de ancho dividido en varios paneles de 0,60 m de altura, que se iban trepando sucesivamente cada dos tongadas de 0,30 m, operación que se efectuaba para todo el paramento en un tiempo menor que el de ejecución de una tongada, condición necesaria para no interferir en la realización del hormigón compactado con rodillos.

Trabajar en un único bloque facilitó alcanzar un ritmo medio de un metro en altura por día de trabajo, con gran número de ocasiones en las que la presa "crecía" 1,20 m (4 tongadas de 0,30 m) en 24 h. La semicoronación izquierda, a 45 m de altura sobre el cimiento, se alcanzó en 45 días de trabajo efectivo, interrumpidos únicamente por las paradas obligadas por cinco juntas frías (motivadas bien por la necesidad de trepar el sistema de cintas de transporte de hormigón o bien por inclemencias meteorológicas). La ejecución de la semicoronación del estribo derecho condujo a un total de 53 días de trabajo efectivo para realizar el 100% del cuerpo de presa. ■

PRESA DE IRUEÑA

La presa de Irueña está situada sobre el río Agueda (Salamanca) en una zona de pizarras arenosas y areniscas preordovícicas. La cuenca de aportación al embalse tiene una superficie de 460 km² y una precipitación media anual de 1053 mm/año, la aportación media anual es de 289 hm³ y el volumen de embalse de 110 hm³. El caudal de avenida para un periodo de retorno de 500 años es de 1450 m³/s.

El embalse de Irueña se consigue mediante una presa arco gravedad de 68,5 m de altura sobre el cauce del río Agueda y un dique lateral de gravedad en un collado de margen derecha.

El vértice del triángulo resistente se dispone a la cota 796,00 m.s.n.m., con paramentos vertical el de aguas arriba y 0,4:1 (H:V) el de aguas abajo.

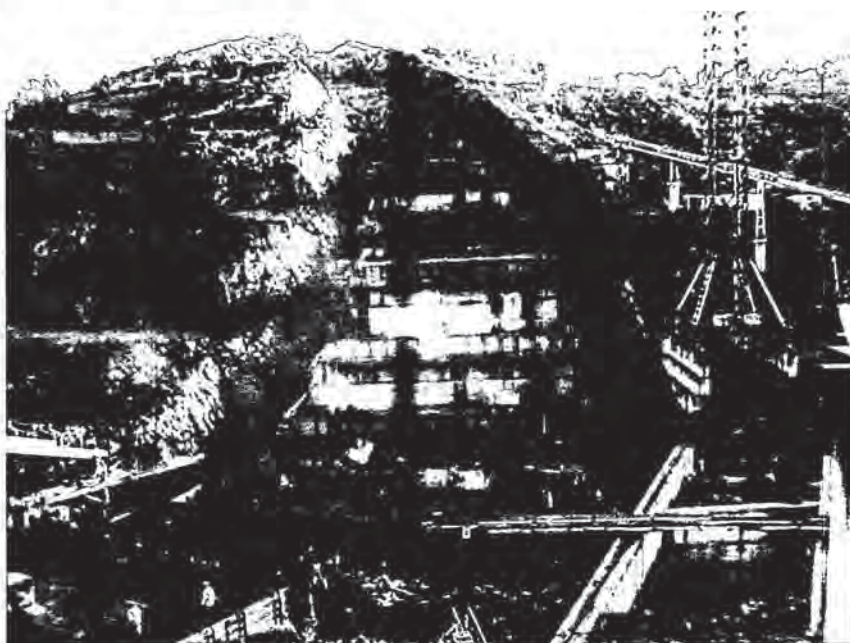
La coronación de la presa se sitúa a la cota 777,50 m.s.n.m., tiene un ancho de 8,00 m correspondiente a la calzada, con dos aceras en voladizo de 1,50 m cada una.

El paramento aguas arriba es un cilindro de eje vertical, con generatriz formada por arcos de tres centros. El arco central tiene un radio de 150 m y ángulo en el centro de 40°. A ambos lados del arco central, y de forma simétrica, se define el paramento mediante arcos de 200 m de radio y ángulos en el centro de 15°. Cada uno de estos arcos se prolonga mediante sendos arcos de 400 m de radio y ángulo en el centro de 10°, que a su vez se prolongan mediante rectas tangentes hasta encontrar la ladera correspondiente.

El intradós del arco de coronación se define mediante arcos de tres centros, concéntricos con los anteriormente descritos, y por lo tanto, con los radios de 142,00 m, 192,00 m y 392,00 m. De esta forma el ancho de coronación tiene un espesor constante de 8,00 m en la parte que corresponde a la zona de curva del trasdós, siendo en la zona de estribos de espesor variable con un ancho mínimo de 8,00 m.

La presa se compone de 23 bloques de 16,00 m y dos bloques extremos de 18,00 m de ancho. En todas las juntas se dejan moldeadas las ranuras inyectoras y colectoras, tapajuntas de borde e interzonas y demás dispositivos para inyección. Todas las bandas de caucho para tapajuntas son de 0,50 m de ancho.

El aliviadero se sitúa en el centro de la presa, con un eje sensiblemente coincidente con el cauce. La geometría del aliviadero se ajusta a los resultados del ensayo en modelo reducido del aliviadero de la presa de Fuenteguinaldo (ahora Irueña) realizado por el CEDEX. El vertedero es frontal de labio fijo, con umbral a la cota 772,50 m.s.n.m. y formado por



cinco vanos de 13,00 m en el eje de la presa, separados por pilas radiales de 1,50 m de ancho. La restitución al río se realiza mediante un trampolín de lanzamiento, adosado al paramento de aguas abajo de la presa, de 5,144 m de radio, ángulo de 121,5°, cota inferior de solera 731,387 y cota de salida del chorro 732,54.

El desagüe de fondo está formado por dos conductos horizontales blindados de sección rectangular de 1,20 x 1,50 m² con el eje a la cota 717,50 m.s.n.m. y desaguando en el tramo del aliviadero. La embocadura es común para los dos conductos y está constituida por una estructura de hormigón armado adosada al paramento de aguas arriba de la presa. Protegiendo la entrada se dispone una rejilla desmontable. En cada conducto se dispone triple cierre. Un primer cierre podrá realizarse mediante una ataguía de 1,30 x 1,60 m² para lo cual se dejan colocadas unas guideras en el paramento. El segundo y tercer cierre de cada conducto se realiza mediante válvulas de compuerta tipo Bureau de 1,20 x 1,50 m² alojadas en una cámara situada en el cuerpo de presa.

Se ha proyectado una toma ecológica y de servidumbre, constituida por un conducto metálico de 500 mm de diámetro, con triple cierre mediante válvulas de compuerta, cuya toma se realiza a la cota 719,25 m.s.n.m..

El desagüe de medio fondo está constituido por dos conductos horizontales blindados de 3,20 m² de sección, con ejes a la cota 732,00 m.s.n.m. Cada uno de los conductos se sitúa embebido en cada uno de los cajeros del trampolín del aliviadero. ■



PRESA DE ITOIZ

La presa de Itoiz se sitúa sobre el río Irati y apoya sobre un flysch eoceno constituido por turbiditas y margo calizas. En el punto de cierre de la cuenca vertiente tiene una superficie de 510 km², con una capacidad del vaso para el nivel extraordinario, cota 590,43 m.s.n.m., de 445 hm³ (para esta cota la superficie de embalse es de 1150 ha). La capacidad útil es de 409,5 hm³, y el embalse muerto de 8,5 hm³. El volumen regulado es de 630 hm³/año.

La presa es de gravedad hormigón vibrado. Por encima de la cota 515 m.s.n.m., sus taludes son 0,75H:1V en el paramento de aguas abajo y 0,05H:1V en el de aguas arriba, por debajo de esta cota el talud es de 0,4H:1V. La cota de coronación es la 592 m.s.n.m.; la longitud de coronación es de 525 m y las alturas sobre cimientos y cauce son, respectivamente, de 122 y 111 m.

El aliviadero de superficie es de labio fijo y se sitúa sobre la presa, con el umbral a la cota 588 m.s.n.m.; lo conforman 4 vanos, con una luz libre de 12,50 m cada uno y una capacidad de desagüe total de 410 m³/s.

El desagüe de fondo consta de dos conductos equipados cada uno con dos compuertas, una deslizante de 1,75 x 2,15 m² y otra Taintor de 1,75 x 2,10 m². La capacidad conjunta de desagüe es de 282 m³/s.

Para la toma del canal de Navarra se ha dispuesto un túnel de toma en margen derecha, con pozo de compuertas. La longitud del túnel es de 1186 m y su capacidad de 112 m³/s.

Además de la presa principal, existe un collado lateral en la margen derecha cuyo cierre se ha proyectado mediante una presa auxiliar de gravedad hormigón vibrado con taludes de 0,75H:1V aguas abajo, y 0,05H:1V aguas arriba; su altura sobre cimientos es de 24 m y su longitud de coronación de 132 m. Esta presa se encuentra actualmente en construcción.

Los volúmenes más representativos de la obra son:

Excavaciones

en presa principal	797.117 m ³
en presa auxiliar	10.500 m ³
en accesos	200.254 m ³

Hormigón

en presa principal	1.337.460 m ³
en presa auxiliar	11.300 m ³

La colocación de hormigón se ha efectuado con tres blon-dines de 20 toneladas, obteniéndose rendimientos medios diarios en la colocación del hormigón en torno a los 4.500 m³. ■



PRESA DE LA LOTETA

La presa de La Loteta apoya sobre margas miocenas en las cotas superiores. La cuenca tiene una superficie de 25 km² y una aportación media anual de 370 hm³.

La presa responde a la tipología de materiales sueltos, con sección diferenciada con núcleo central arcilloso de unos 60 m de anchura en base, que conecta con un tapiz bajo el espaldón de aguas arriba de 300 m de espesor. Los espaldones están constituidos por zavorras recubiertas externamente por una capa de escollera de 1,50 m de espesor y con drenes horizontales de 0,50 m de espesor cada 7,50 m. Tiene una altura máxima sobre cimientos de 34 m y longitud de coronación de 1469,80 m.

Al tratarse de una presa en derivación y tener una cuenca muy reducida. El aliviadero de superficie es realmente un re-

bosadero. Es de labio fijo, situándose el umbral a la cota 282 m.s.n.m.. Su capacidad de desagüe para el espejo de agua situado a nivel de máximo nivel extraordinario es de 0,53 m³/s.

Los desagües de fondo ubicados en un falso túnel que discurre por la margen izquierda, realmente se trata de la propia conducción desde el Canal Imperial, constan de dos conductos con una capacidad a plena carga de 27,25 m³/s. Además se ha diseñado un desagüe de fondo complementario constituido por un conducto de 1,25 x 1,50 m² hasta la cámara de compuertas y un canal en lámina libre de 2,25 x 1,50 m² a partir de esta. La capacidad de este desagüe con embalse a nivel de NMN es de 25,48 m³/s. La capacidad conjunta de estos desagües es por lo tanto de 52,73 m³/s. ■

PRESA DE LA RISCA

La presa de La Risca se encuentra sobre el río Alharabe, en la cuenca del Segura en el término municipal de Moratalla. La superficie de la cuenca de aportación es de 77 km² con una aportación anual media de 3,8 hm³ siendo el caudal medio en el río de 0,120 m³/s.

El caudal de avenida en el emplazamiento de la presa para 500 años de periodo de retorno es de 574,3 m³/s. En el Nivel Máximo Normal de explotación situado a la cota 1076 m.s.n.m., la superficie y volumen de embalse son de 35,42 ha y 2,33 hm³ respectivamente.

Se trata de una presa mixta cuyo cuerpo de presa y estribo izquierdo son de hormigón vibrado mientras que el estribo derecho es de tierras. La sección tipo de la parte de hormigón tiene taludes 0,05H:1V y 0,75H:1V aguas arriba y aguas abajo

respectivamente. Los taludes tanto de yuso como de suso de la sección de tierras son 2,5H:1V. La altura máxima de la presa sobre cimientos es de 26,88 m. La cota de coronación de la presa, cuya longitud es de 291 m, es la 1080 m.s.n.m.

El aliviadero de labio fijo y perfil Creager está obviamente proyectado sobre la sección tipo de hormigón y constituido por 3 vanos de 15,33 m de ancho. La cota del umbral está emplazada a la cota 1076 n.s.n.m. y el aliviadero tiene una capacidad de evacuación de 435 m³/s.

El desagüe de fondo tiene 15,72 m de longitud y lo conforman dos conductos de trazado parabólico en lámina libre de 1,20 x 1,00 m² de sección controlados mediante 2 compuertas tipo Bureau. La capacidad máxima de desagüe es de 36,2 m³/s. ■





NUEVA PRESA DE PUENTES

La nueva presa de Puentes actualmente en construcción es de gravedad en hormigón vibrado con una planta definida por tres alineaciones. El tramo central es perpendicular al cauce del Guadalentín y tiene una longitud de 144 m. Los bloques laterales dirigidos hacia aguas arriba realizan el cierre de la presa contra las laderas. El bloque derecho forma un ángulo de $141,5^\circ$ respecto a la alineación central de la presa y tiene una longitud de 140,92 m. Mientras que por la parte derecha tiene una longitud de 140,91 m.

La sección tipo de presa es triangular con el vértice a la cota 474 m.s.n.m. y taludes del paramento de aguas arriba 0,05 H : 1 V por encima de la cota 443 m.s.n.m. y 0,3 H : 1 V por debajo de ésta. El paramento de aguas abajo tiene talud 0,8 H : 1 V. En coronación se ha proyectado un ancho de 5 m con un remate de aceras en voladizo.

El aliviadero situado sobre el cuerpo de presa en los bloques centrales consta de cuatro vanos de 7,50 m y tiene el umbral a la cota 465 m.s.n.m. El perfil del vertedero corresponde a una parábola de tipo Bradley con una altura de diseño de 20 m y coeficiente exponencial 1,85.

El canal de descarga del aliviadero pasa bajo la presa actual (presa de Puentes III) a través de dos túneles de 6 m de vano que terminan en sendos cuencos. El caudal de diseño ha sido de 2020 m³/s que corresponde a la avenida máxima probable (PMF) laminada.

Los desagües de fondo consisten en sendos conductos que parten del paramento de aguas arriba y disponen de compuertas vagón de seguridad de 4,50 x 5,00 m² alojadas en una torre adosada al paramento. La regulación se realizará mediante 1 compuerta de sector de 2,75 x 5,00 m² en cada conducto. ■

PRESA DE RIALB

La presa de Rialb se sitúa en el río Segre, en el término municipal de Tiurana (Lleida). La superficie de la cuenca afectada por la presa es de 3320 km² y la aportación media anual de 1108 hm³. El caudal, para un período de retorno de 1000 años, es de 3081 m³/s. Las cotas más características del embalse son: máximo embalse normal, 430 m.s.n.m.; máximo nivel de la avenida de 1000 años, 433,60 m.s.n.m.. La superficie del embalse es de 1505 ha, la longitud de costa, de 100 km y el volumen de embalse, 402 hm³.

La presa responde a la tipología de gravedad, con sección optimizada que se ha ejecutado en hormigón compactado con rodillos. Su longitud de coronación es de 595 m y su altura sobre cimientos de 101 m, coronando a la cota 436 m. Dada la singularidad de la sección de presa, se incluye la misma en figura adjunta.

El vaso y la cerrada del embalse de Rialb se desarrollan sobre materiales oligocenos, constituidos por una alternancia de margas, limolitas calcáreas y areniscas en

bancos subhorizontales. Esta formación alcanza en la zona de la cerrada una potencia próxima a los 1000 m.

El aliviadero de superficie se sitúa sobre la presa, centrado con el cauce. Consta de cinco vanos, los dos extremos de labio fijo, con el umbral situado a la cota 430 m.s.n.m., y los tres centrales equipados con compuertas Taintor con su borde inferior a la cota 422. La longitud total de vertido es de 69 m y su capacidad de 1395 m³/s.

Los desagües de fondo discurren a través del cuerpo de presa, y están constituidos por tres conductos de 1,90 m de diámetro con el eje situado a la cota 366,26 m.s.n.m.; en cada uno se dispone un doble cierre: compuertas tipo Bureau aguas arriba y Howell Bunger aguas abajo. La capacidad máxima del conjunto es de 205 m³/s.

La obra se concluyó en el trienio considerado aunque su inauguración no se produjo hasta el año 2000. Aunque ya se había incluido al igual que las de Itoiz y Rules en los artículos correspondientes a Congresos anteriores parecía importante incluir las aquí adjuntando una fotografía de la obra completada. ■



PRESA DE MORA DE RUBIELOS

La presa de Mora de Rubielos se sitúa sobre el arroyo de las Tosquillas, en la cuenca hidrográfica del río Mijares (Teruel) y se apoya sobre terrenos del cretácico inferior (facies weald) constituidos por areniscas, microconglomerados, argilitas y margo calizas y calizas grises con niveles lignitosos.

La cuenca tiene una superficie de 21,1 km². La cota del NAP es 1123,50 m.s.n.m. y la cota de NMN es la 1122,00 m.s.n.m., siendo la capacidad de embalse a esta última cota de 975.000 m³ y la superficie de lámina de agua de 12,04 ha.

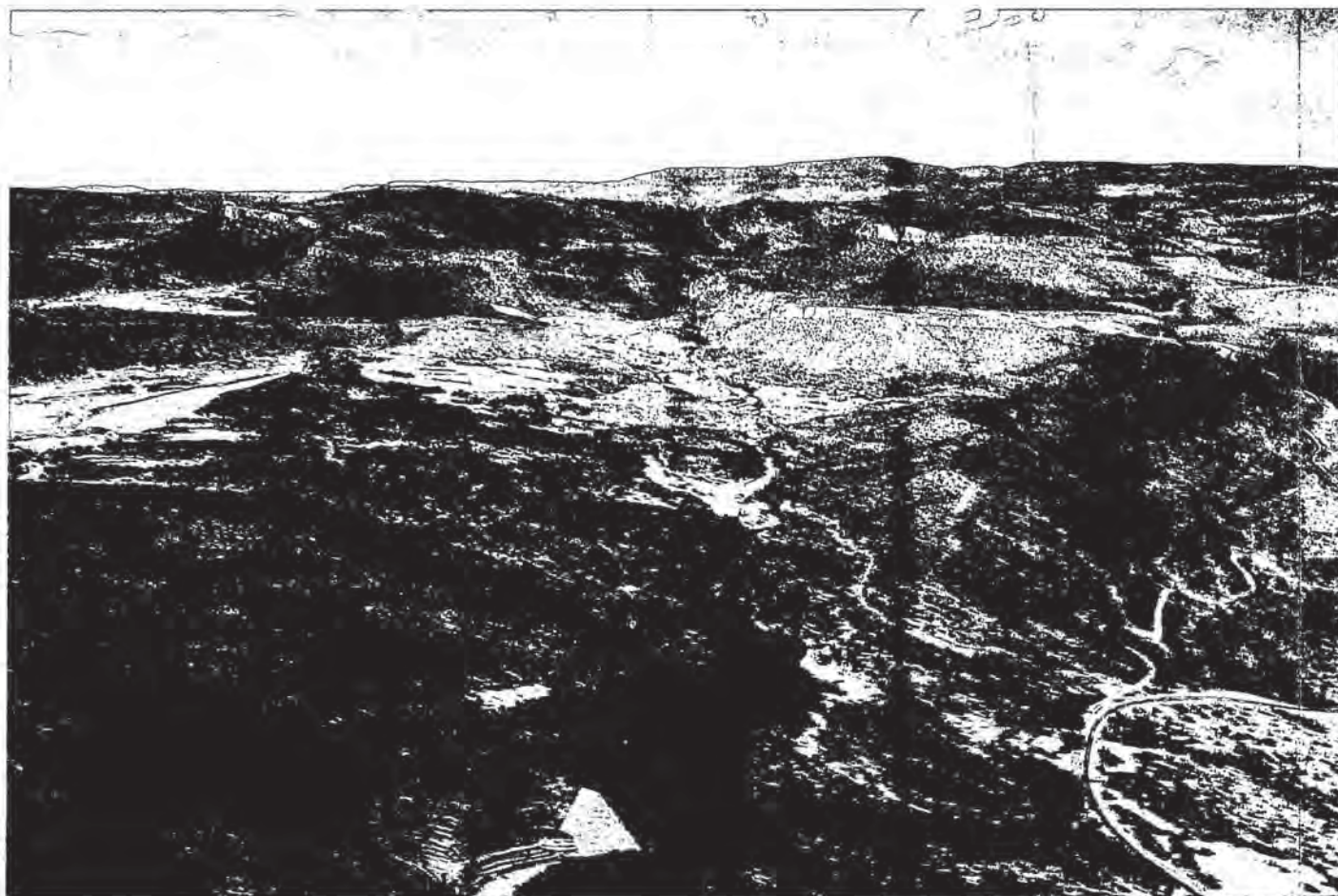
La presa responde a la tipología de materiales sueltos, con un núcleo central constituido por una pantalla bituminosa de 50 cm de espesor. Los espaldones se construyen mediante gravas recubiertas externamente por una capa de escollera. Sus taludes son 1,5 H : 1 V aguas arriba, con una berma de 10 m de ancho a la cota 1105,00 m.s.n.m. y 1,5 H : 1 V aguas abajo, con una berma de 10 m de ancho a la cota 1098,00 m.s.n.m. La cota de coronación es 1.125,00 m.s.n.m., la altura máxima sobre cimientos es de 35 m y la longitud y anchura de coronación son, respectivamente, 215 y 8 m.

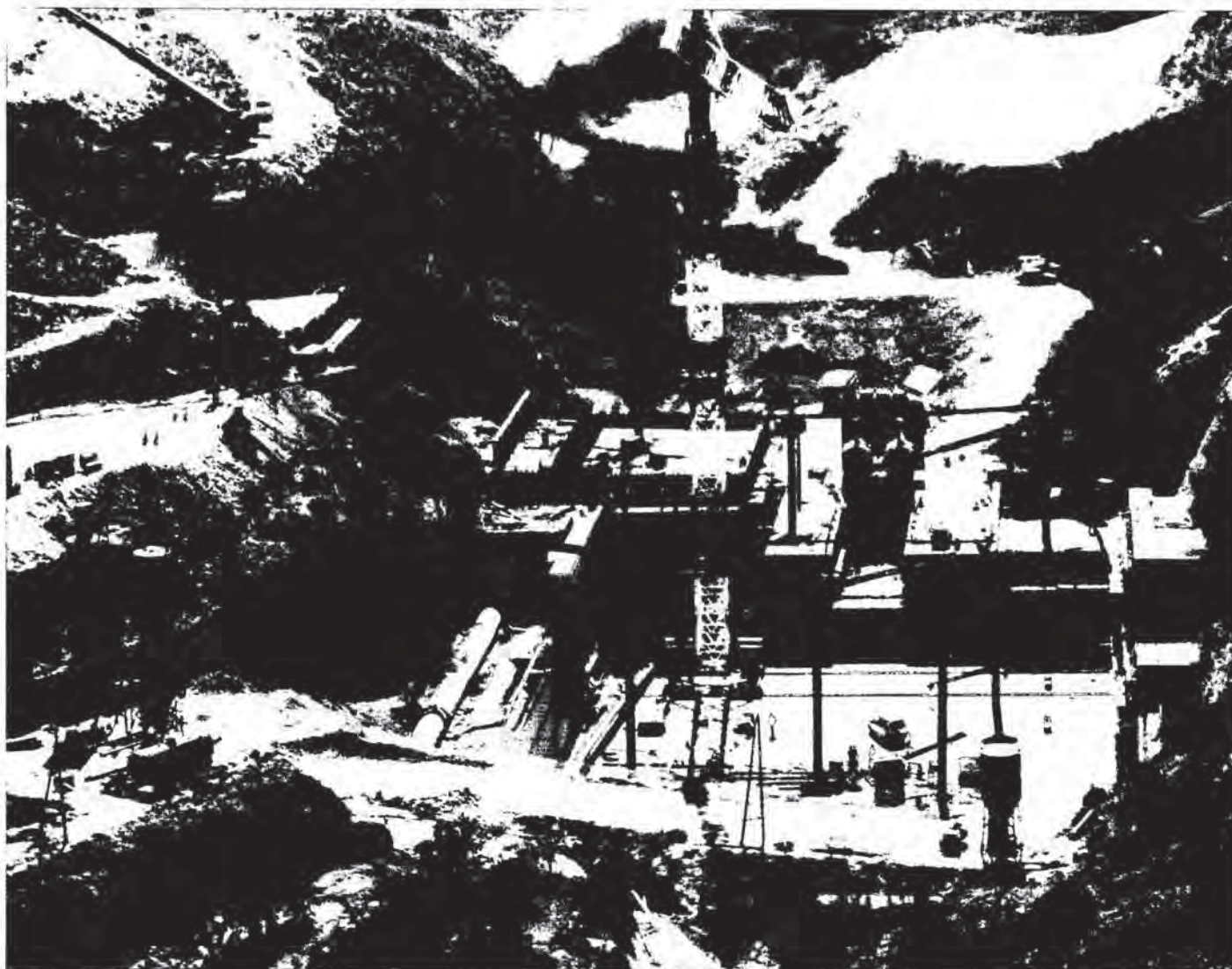
El aliviadero de superficie se ha dispuesto en un collado en la margen derecha. Es de labio fijo con 2 vanos y una longitud de vertedero de 39,40 m, situándose su umbral a la cota 1122,00 m.s.n.m. Su capacidad de desagüe para el espejo de agua situado a la cota de NAP es de 145 m³/s.

El desagüe de fondo atraviesa el cuerpo de presa y consta de 2 conductos de tubería de palastro de 800 mm de diámetro. La cota del eje de la embocadura es 1102,07 m.s.n.m. y el caudal máximo desaguado es de 11,2 m³/s.

Las unidades de obra más representativas son:

• Volumen de excavación	72.300 m ³
• Volumen de escollera	151.600 m ³
• Volumen de filtro	10.100 m ³
• Volumen de arcillas	2.600 m ³
• Superficie núcleo bituminoso	3.140 m ²
• Volumen de hormigón	12.400 m ³
• Revegetaciones	12.224 ud





PRESA DE MORATALLA

La presa de Moratalla se encuentra, al igual que la de La Risca, en el término municipal de Moratalla sobre el río del mismo nombre en la C.A. de la Región de Murcia. La superficie de la cuenca, con una precipitación media anual de 421 mm y una aportación media del río de 0,254 m³/s.

Dadas las características mediterráneas del cauce, la diferencia entre el caudal medio del río (<0,5 m³/s) y el caudal de la avenida de 500 años de periodo de retorno (1050 m³/s) es muy importante.

La presa de gravedad de planta recta y construida en hormigón vibrado tiene 44 m de altura sobre cimientos y 37 m sobre el cauce siendo la cota de éste la 313 m.s.n.m. La sección tipo de la presa tiene un talud aguas arriba 0,05H:1V y talud aguas abajo 0,75H:1V. La longitud de coronación es de

165 m. La presa está dividida en 10 bloques de entre 15 y 20 m de ancho y tiene un volumen total de hormigón de 60000 m³.

El aliviadero es de labio fijo con 37 m de longitud de vertido distribuida en tres vanos. El caudal total que es capaz de evacuar este aliviadero es de 930 m³/s. Dispone de un cuenco amortiguador del tipo II de los de Bureau of Reclamation con una longitud total de 43 m.

Los desagües de fondo están formados por dos conductos rectangulares de 1,75 x 1,50 m² de sección con dos compuertas Bureau cada uno como elemento de cierre. La capacidad de desagüe de los mismos con el embalse en el nivel máximo normal es de 95 m³/s lo que posibilita el vaciado del embalse en 18 horas. ■



PRESA DE RULES

La presa de Rules, sobre el río Guadalfeo, se apoya sobre terrenos paleozoicos del manto de Murtas, constituidos por micas-esquistos, cuarzo-esquistos, cuarcitas y mármoles. La cuenca tiene una superficie de 1072 km². El caudal punta de avenida para el período de retorno de 1000 años y P.M.F. tiene un valor, respectivamente, de 3020 y de 6240 m³/s, y sus volúmenes aportados son de 205 y 462 hm³. El volumen máximo de embalse es de 117,07 hm³, y el embalse muerto de 4,83 hm³. Las cotas de máximo embalse normal y del embalse muerto son 243 y 171,275 m.s.n.m. En la actualidad la obra se halla en fase de hormigonado.

La presa es de tipología arco de 300 m de radio y es el resultado de un proyecto modificado. Las características geométricas de la obra son; cota de coronación, 250 m; planta curva con radio de 500 m; el talud de aguas arriba es de 0,18H:1V, con un acuerdo circular a la cota 165 m; el talud de aguas abajo es de 0,6H:1V; la longitud del contacto en la sección de máxima altura de presa es de 108,024 m; la altura má-

xima sobre cimientos es de 130 m, y sobre el cauce de 95 m. La longitud de coronación es de 610,43 m.

El aliviadero responde a la tipología de labio fijo y está situado sobre el cuerpo de presa. Su umbral se encuentra a la cota 243,00 m.s.n.m. y la longitud de vertido es de 132 m; su capacidad de evacuación es de 6100 m³/s sin agotar resguardos.

El desagüe de fondo está formado dos conductos de 2 m de diámetro, equipado cada uno con doble compuerta Bureau de 1,60 x 2,00 m², el eje se sitúa a la cota 171,275 m.s.n.m., siendo su capacidad máxima de evacuación de 187 m³/s.

Se están construyendo galerías de inspección en el cuerpo de presa a 5 niveles, con una longitud total prevista de 5700 m. Mientras que en el cimiento se dispondrán galerías en cuatro niveles, con una longitud total prevista de 665 m.

El volumen estimado de excavación es de 2.290.612 m³, con lo que será la presa de mayor volumen de fábrica en España. ■



PRESA DEL VIBORAS

La presa del Vitoras pertenece a la cuenca hidrográfica del Guadalquivir, está situada sobre el río Vitoras que es a su vez afluente del Guadajoz en el término municipal de Martos (Jaén). La cuenca vertiente al emplazamiento de la presa tiene 182,20 km² con una aportación anual media en el punto de cierre de 57,68 hm³ siendo el caudal medio del río de 1,83 m³/s.

El nivel máximo normal del embalse se ha establecido a la cota 544 m.s.n.m. siendo la superficie y capacidad de embalse a dicha cota 169,34 ha y 19,11 hm³ respectivamente. La avenida de 1000 años de periodo de retorno en el emplazamiento tiene un caudal de 471,90 m³/s.

La presa, ya concluida como se aprecia en las fotos, es de arco de curva simple con talud de yuso vertical y de su-

so 0,5 H : 1 V. La cota de coronación de la presa es la 545,70 m.s.n.m., la altura de presa es de 48,50 m, la longitud de coronación es de 197,577 m. El radio de la curva del eje es de 81 m con un ángulo central en coronación 100°.

El aliviadero de labio fijo dispone de cinco vanos de 12 m de longitud cada uno. La cota del umbral de vertido es la 544,00 m.s.n.m. La restitución al cauce se realiza a través de un trampolín de lanzamiento. La capacidad máxima de desagüe (cota 547,00 m.s.n.m.) alcanza 635,540 m³/s.

La presa dispone de sendos desagües de fondo que atraviesan el cuerpo de presa mediante 2 conductos rectangulares de 1,25 m² de sección. ■



PRESA DE SAN FERNANDO

La presa de derivación de la Central de San Fernando está situada sobre el río Tormes aguas arriba de la presa de Santa Teresa y pertenece a la empresa Salto de San Fernando, S.L. La cuenca vertiente tiene una superficie de 1.580 km², la aportación media anual es de 834 hm³ y el caudal de la avenida máxima es de 13,50 m³/s.

Se trata de una presa de gravedad, de planta curva, con vertedero de 100 m de longitud desarrollada y radio de curvatura de 100 m. De esa longitud, el tramo central de 36 m tiene su labio situado a la cota 908,70 m.s.n.m., siendo el caudal de la avenida de diseño de 1350 m³/s.

La sección tipo del vertedero es de gravedad aligerada interiormente, con un talud vertical en el paramento de aguas arriba y de 0,65 H : 1 V el de aguas abajo. El perfil superior de los vertederos en los tramos laterales y en la central tiene directrices parabólicas del tipo Bradley. La altura de la presa en el tramo de vertedero central, medida entre el nivel de cimentación a la cota 893,3 m.s.n.m. y el labio del vertedero, es de 15,10 m.

El escarpe del vertedero remata con un trampolín dentado. Está formado por una curva circular de radio 2,50 m y otra de 1,50 m, con ángulo de 30° con la horizontal. Este trampolín de salida sólo funciona como tal para caudales vertidos del orden o menores de 200 m³/s, con láminas inferiores a 0,25 m. Los dientes, situados en el pié, tienen un ancho de 0,50 m y una altura de 0,30 m.

La sección tipo de la presa está aligerada en su parte interior por una amplia galería de paramentos paralelos a los exteriores de la presa. Se ha dimensionado un sistema de achique

automático compuesto por dos grupos motobombas de 2 CV, capaces para bombear un caudal de 50 m³/hora, con una presión de 7 m.c.a. desde el nivel de cota 894 m.s.n.m. a la cota 901 m.s.n.m. Una de las bombas funcionará como reserva, si bien en caso de necesidad deberán funcionar conjuntamente.

La presa consta de 8 bloques de 12 m de ancho desarrollado medidos por el paramento de aguas arriba. Los planos de junta entre estos bloques se impermeabilizan perimetralmente con una banda de PVC de 40 cm de ancho en el paramento de aguas arriba y de 0,25 m en el resto del perímetro exterior y en perímetro de la galería interior. Estas juntas se colocan a 0,30 m del borde del hormigón y se empotran en unos pocillos, excavados entre los planos de junta, de 0,50 m de profundidad.

El desagüe de fondo se ubica en el bloque 13. Tiene un umbral inclinado, con una pendiente de 0,065 hacia aguas abajo. A una distancia de 0,20 m hacia aguas arriba del eje de referencia de radio 100 m, el nivel de solera se sitúa a la cota 900,20 m.s.n.m. En este punto se dispone un vano de 4 x 4 m² cerrado por una atagüa deslizante de accionamiento óleo hidráulico. El desagüe se controla con una compuerta tipo Taintor, de 4 m de ancho, 3 m de altura y 4,50 m de radio cuyo apoyo inferior se encuentra a la cota 899,93 m.s.n.m.

La toma de agua para el canal se sitúa en el bloque 15 y está protegida por una rejilla de tres paneles. El canal tiene una longitud total de 290 m, de los cuales los primeros y los últimos corresponden a tramos de transición. El canal tiene una sección interior revestida de hormigón, con ancho en solera de 5,80 m y taludes 1 H : 3 V hasta la cota 908,40 m.s.n.m., a partir de esta cota la roca excavada se deja sin revestir. ■

NORMATIVA SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS

Manuel Alonso Franco

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Presidente de la Comisión de Normas para Grandes Presas (M.M.A.)

Gaspar Zaragoza Gomis

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Consejero Técnico D.G.O.H. C.A. (M.M.A.)

RESUMEN

La escasez e irregular distribución de los recursos hídricos de la Península Ibérica, ha obligado a dotarla de una amplia infraestructura de regulación, acompañada de una normativa de base técnica para garantizar su seguridad. En este artículo se describe y analiza el contenido de la misma, comparando las dos legislaciones vigentes en materia de seguridad de presa: Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas (1967) y Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (1996) y los distintos agentes que intervienen en ella: Titular y Organismo Inspector. Así mismo se describen las Guías Técnicas que se han desarrollado como complemento del articulado del Reglamento. Finalmente se comentan, a grandes rasgos, la legislación que sobre el tema existe en otros países.

ABSTRACT

The scarcity and irregular distribution of water resources in the Iberian Peninsular has brought about the introduction of a broad set of regulations and technical codes in the interests of safety. This article describes and analyses these technical codes and compares the two dam safety legislations in force: Regulations for Design, Construction and Operation of Large Dams (1967) and the Technical Regulation of Dam and Reservoir Safety (1966). The article considers the different agents involved in the legislation: the Dam Owner and the Inspectorate of Dams and describes the Technical Guidelines that have been drawn up to complement the Codes. The article concludes with a general description of the regulations established in other countries in this regard.

1. NORMATIVA ESPAÑOLA SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS EN ESPAÑA

1.1. INTRODUCCIÓN

La seguridad de las presas es una preocupación constante de los técnicos e instituciones que se relacionan con ellas. En estos últimos tiempos el número de foros, jornadas, congresos, reuniones y revistas de la especialidad es enorme.

Las presas son estructuras muy seguras. Según ICOLD la probabilidad de su rotura era del 2% en las presas construidas

antes de 1950 y del 0,5% para las construidas en el periodo 1951-1986. En la última década del siglo, este porcentaje ha descendido al 0,2%. Si bien el riesgo de rotura es pequeño, los daños que estos sucesos producen pueden ser muy grandes.

La rotura de una gran presa es un acontecimiento que trasciende y traspasa sus propias fronteras; es un hecho con una repercusión universal, que a veces ha obligado a revisar conceptos y prácticas en su diseño y construcción.

Cada vez construimos presas más altas y en ubicaciones menos favorables. La técnica actual, los procedimientos y mé-

todos de cálculo permiten hacer estas estructuras más ajustadas a las condiciones reales y ante acciones extremas. Sin embargo, la sociedad exige una mayor calidad de vida y a veces no asume la construcción de nuevas presas, quizás porque son riesgos impuestos y no buscados, y porque los más afectados –traslados de poblaciones, pérdidas de propiedades y riesgos aguas abajo– no son siempre los beneficiarios directos; la presión ejercida, a veces excesiva, en defensa del entorno natural, puede anular o alterar los beneficios de una planificación ya realizada.

1.2. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA LEGISLACIÓN ESPAÑOLA EN MATERIA DE PRESAS

España con sus 1.200 presas ocupa un lugar destacado en el número de presas construidas y explotadas, sólo superado por cuatro países: EEUU, China, India y Japón. Este hecho, junto a unos comienzos tempranos en su construcción, han propiciado que España haya figurado en el grupo de países pioneros en la promulgación de normativas técnicas para el proyecto, construcción y conservación de sus presas.

La legislación española para presas y embalses es amplia y data de principios del siglo XX, siendo una posible relación cronológica de la misma la siguiente:

- ▼ *Ley de Aguas de 1879.*
- ▼ *Instrucción para la redacción de los proyectos de Pantanos de 1905.*
- ▼ *Normas transitorias para Grandes Presas de 1960.*
- ▼ *Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas de 1962/1967.*
- ▼ *Ley de Aguas de 1985.*
- ▼ *Reglamento técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses de marzo de 1996 (en adelante Reglamento).*

La *ley de aguas* en sus textos de 1879 y 1985 trata los temas referentes a los recursos, al dominio público hidráulico, a la planificación hidrológica etc, pero no menciona las infraestructuras, presas en nuestro caso.

La *instrucción para la redacción de Pantanos* de 1905 fue redactada por una Comisión de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del entonces Ministerio de Fomento. Fue la primera normativa que hubo en Europa, anterior en 20 años a la primera norma italiana promulgada con motivo de la rotura de la presa de GLENO. En aquel momento existían en España unos 64 embalses. Cabe destacar que esta Instrucción, de 9 capítulos y unos 100 apartados, es una norma de carácter abierto, que considera a cada presa como un prototipo. En su introducción señala:

Las reglas, prescripciones y programas contenidos no han de considerarse como pauta invariable a la que necesariamente habrán de sujetarse todos los proyectos de panta-

nos. Los Ingenieros quedan en libertad para introducir las modificaciones que consideren necesarias o que hagan indispensables las circunstancias especiales en cada caso.

Dos hechos derivados de la rotura de la presa de Vega de Tera (1959) marcaron un gran avance en la normativa de nuestro país: la creación, por el Ministerio de Obras Públicas, del Servicio de Vigilancia de Presas dependiente de la Comisaría Central de Aguas y la creación de la Comisión de Normas para Grandes Presas (en adelante CNGP), adscrita funcionalmente a la Dirección General de Obras Hidráulicas, ambas en 1959.

El Servicio de Vigilancia de Presas comenzó su andadura con la redacción de las *Normas Transitorias para Grandes Presas*, publicación interna del Departamento Ministerial.

A la CNGP se le encomendó la redacción, en 1962, de una normativa con carácter provisional convirtiéndose cinco años después, en 1967, en la *Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas*, una vez analizadas las sugerencias y observaciones realizadas por los organismos oficiales, instituciones privadas y de la experiencia obtenida por los usuarios en su corto lapso. En aquel momento el número de presas en explotación en nuestro país era de 605.

Esta instrucción, aún vigente, ha sido la única norma durante 30 que ha prestado una gran ayuda a los técnicos de una época en la que la construcción de presas alcanzó máximos históricos. Sin embargo, esta Instrucción se presenta como un documento de difícil aplicabilidad, dada su rigidez para atender a las nuevas orientaciones científicas y técnicas, la rapidez con que evolucionan los métodos y programas de cálculo, los nuevos procesos constructivos y nuevos materiales. El envejecimiento progresivo de las mismas; una mayor ocupación de los cauces; nuevos conceptos de **seguridad más exigentes**; una sociedad más sensibilizada que demanda una mayor calidad de vida, seguridad de las personas y protección de la Naturaleza, son circunstancias que han contribuido a que los técnicos demanden una normativa con un enfoque distinto.

La Dirección General de Obras Hidráulicas, ante la nueva estructura del Estado en Comunidades Autónomas con distintas competencias en la gestión del dominio público hidráulico, decidió en 1992 redactar una normativa sobre la seguridad de las presas que tuviese en cuenta las nuevas circunstancias. Esta tarea, encomendada a la Comisión Permanente de Normas para Grandes Presas, concluyó en 1993 en una *Norma de Seguridad de Presas y Embalses*. Elevada a la Superioridad para su tramitación, fue aprobada por Orden Ministerial, en marzo de 1996 como *Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses*, no sin antes introducir ciertas modificaciones.

El borrador de la *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones* (en adelante Directriz), aprobada finalmente el 14 de febrero de 1995, se desarrolló en paralelo con el Reglamento; no es de extrañar pues que exista concordancia entre ambas.

TABLA Nº 1: ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LA NORMATIVA VIGENTE

	<i>Presas que se rigen por el Reglamento Técnico de 1996</i>	<i>Presas que se rigen por la Instrucción de 1967</i>
EN CONSTRUCCIÓN	16	9
EN EXPLOTACIÓN	334	840
TOTALES	350	849

La orden de 12 de marzo de 1996 de aprobación del Reglamento establece que, de forma transitoria, su ámbito de aplicación quedará limitado a las presas y embalses cuya titularidad corresponde al hoy Ministerio de Medio Ambiente y a aquéllas, independientemente de su titularidad, que provengan de concesión administrativa otorgada por dicho Departamento ministerial o de sus Organismos Autónomos con posterioridad al 1 de abril de 1996. Las demás presas continuarán rigiéndose por la *Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas*, aprobada en marzo de 1967.

Reglamento e Instrucción permanecen pues en vigor y completan la normativa aplicable en el campo de las presas. En la actualidad el número de presas que se rigen por la Instrucción es superior a las que quedan dentro del ámbito del Reglamento, tal como se refleja en la Tabla Nº 1, con la particularidad de que el titular de las primeras tiene la obligación de acomodar el contenido del Archivo Técnico de la presa a lo dispuesto en el Reglamento, así como proponer la clasificación de la presa en función de su riesgo potencial en las categorías A, B, o C.

El Reglamento y la Directriz consideran el riesgo potencial en función de los daños que puedan derivarse de la rotura de la presa, no valorando la probabilidad de que ocurra este suceso.

1.3. DIFERENCIAS MÁS SIGNIFICATIVAS ENTRE EL REGLAMENTO TÉCNICO DE SEGURIDAD DE PRESAS Y EMBALSES Y OTRAS NORMAS ANTERIORES

▼ La Instrucción de 1967 es una norma técnica en exceso detallista y de gran rigidez. Además, no permite recoger en tiempo real las novedades técnicas que aparecen en el campo de las presas.

El Reglamento es una norma-marco que señala criterios que deben tenerse en cuenta en cada una de las etapas de la presa.

▼ La Instrucción se dirige hacia el Proyecto y la Construcción mientras el Reglamento lo hace más hacia las fases de Explotación y Mantenimiento. Ello parece lógico dado que las presas construidas son numerosas frente a una ínfima cantidad por construir, siendo muchas de ellas antiguas, donde su lógico proceso de envejecimiento hace necesario un mayor control y mantenimiento.

▼ Por primera vez en España, el Reglamento obliga a clasificar todas las presas en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto, en concordancia con lo establecido en la Directriz.

La clasificación se hace en tres

categorías de mayor a menor riesgo: A, B o C, teniendo en cuenta la afección a núcleos urbanos o servicios esenciales, los daños materiales y los daños medioambientales.

▼ En función del riesgo potencial, es decir según la clasificación de la presa, las prescripciones o requisitos que señala el Reglamento se deben adecuar a las características que concurren en cada caso, justificándolo en el proyecto.

La Instrucción se fija solamente en la altura y en el tipo de la presa, fábrica o materiales sueltos, independientemente de su emplazamiento.

▼ Las normas y criterios que contiene la Instrucción son de aplicación únicamente para las Grandes Presas.

El Reglamento legisla para todas las presas, la Gran Presa y la Pequeña Presa, siempre que éstas últimas estén clasificadas como A o B.

▼ El Reglamento dedica un capítulo II a la organización del control de la seguridad, y lo hace con meticulosidad. Define en él la figura del **titular**, al que hace responsable de la seguridad de la presa en cada una de sus fases de existencia. El titular puede ser la Administración General del Estado, cualquier ente público y persona física o jurídica.

Todas las actuaciones, estudios, trabajos y planes dedicados a la seguridad son de la responsabilidad del **titular**.

La Instrucción trata este tema con ambigüedad y cierta confusión.

▼ Toda presa mal documentada no puede considerarse segura. El Reglamento menciona con reiteración el Archivo Técnico y obliga al titular a su elaboración y actualización.

▼ Además de las inspecciones rutinarias, realizadas por el equipo de explotación, el Reglamento obliga a realizar otras inspecciones programadas para el análisis de la seguridad de la presa y el embalse. Estas revisiones han de ser realizadas por técnicos especializados distintos del equipo de explotación. Este tema es novedoso y de un gran interés.

La Instrucción de 1967 no lo contempla.

▼ En el Reglamento se establece la obligatoriedad de redactar los **Planes de Emergencia** para las presas clasificadas en las categorías A y B, cuyo contenido mínimo se fija en la Directriz.

La Instrucción de 1967 no lo contempla.

▼ En el Reglamento las avenidas se estiman según el riesgo potencial asumible aguas abajo, fijándose dos tipos: Avenida de Proyecto y Avenida Extrema. Los Niveles de

embalse y los resguardos se justificarán en el Proyecto y en las Normas de Explotación. El concepto de **seguridad hidrológica** adquiere cada día más relevancia.

En la Instrucción se definen dos avenidas, la de Proyecto y la Normal, ambas se determinan por su período de recurrencia, 500 y 50 años respectivamente.

▼ Dado el ámbito de aplicación del Reglamento, pequeñas y grandes Presas, es conveniente disponer de un Inventario lo más completo posible de los embalses y balsas.

Como resumen a lo expuesto anteriormente, los puntos más destacables y positivos del Reglamento, y que le diferencia de las anteriores normativas son, a nuestro juicio, los siguientes:

▼ a) El concepto de **dominio público hidráulico** aparece en el Reglamento pero no en la Instrucción.

▼ b) La **clasificación** de las presas según su riesgo potencial: categorías A, B y C.

De acuerdo con la categoría de la presa serán las exigencias en el cumplimiento del articulado. Estas exigencias se refieren tanto a criterios de diseño como a condiciones de explotación y control.

▼ c) El establecimiento de **inspecciones programadas**, independientes de las rutinarias que realiza el equipo de explotación. Serán realizadas por técnicos especializados y versarán sobre la revisión y el análisis de la seguridad de la presa y el embalse.

Como limitaciones o carencias del Reglamento nos permitimos señalar:

▼ a) La intención de la Comisión de Normas al redactar el articulado de la nueva normativa fue el poderla aplicar a todas las presas con independencia de su titularidad. La dualidad de la normativa actual - Reglamento para aquellas presas de titularidad de la Administración del Estado o de nuevas concesiones, y la Instrucción de 1967 para el resto de ellas - debe considerarse como una situación transitoria que debería terminar a la mayor brevedad posible.

▼ b) La Norma preparada por la Comisión, enviada a la Superioridad en 1993, incluía en su ámbito de aplicación a las balsas de residuos industriales y otros usos, como si de una presa y embalse se tratase. El Reglamento las limita a aquellas que estén dentro del Dominio Público Hidráulico independientemente de los daños que pueda provocar su rotura o funcionamiento incorrecto.

▼ c) El artículo 6 del Reglamento recurre a artificios para no definir cual es el organismo competente encargado del control de la seguridad de las presas y embalses, indicando únicamente sus cometidos. En la práctica, hoy día, el órgano que controla la seguridad es la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas (en adelante DGOHCA).

El control de la seguridad de todas las presas debería estar asignado a un único organismo independiente de los Departamentos con funciones en las presas, dotado de los medios necesarios, y a ser posible dependiendo del Parlamento Nacional, es decir del Poder Legislativo y no del Ejecutivo.

En el ánimo de la Comisión que redactó la Norma de seguridad estaba la intención de que el texto reglamentario fuese aprobado con rango legal superior a una Orden Ministerial.

1.4. LEY DE SEGURIDAD DE PRESAS

La intención de la Comisión de Normas para Grandes Presas al redactar el articulado de la nueva NORMA 1993 - transformada en el Reglamento Técnico de 1996 -, como se ha comentado anteriormente fue su aplicación a todas las presas y balsas de residuos industriales, con independencia de quién fuese su titular y que su emplazamiento estuviera dentro o fuera del Dominio Público Hidráulico. Sin embargo, la Orden Ministerial aprobatoria del Reglamento limita su ámbito de aplicación a las presas cuya titularidad es el Departamento ministerial correspondiente.

La filosofía básica del texto del Reglamento no está orientada hacia estas limitaciones y pudiera ser que la actual dualidad de la normativa no vaya en la línea marcada por la *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de inundaciones*.

Las nuevas y mayores exigencias que sobre la seguridad de las presas exige el texto del Reglamento y la Directriz de Protección Civil no afectan a **todas** las presas, lo que no parece una actuación acertada.

El Reglamento en su artículo 2.1 dice textualmente *Lo establecido en este Reglamento será igualmente aplicable a las balsas para residuos industriales y otros usos en cuanto ocupen dominio público hidráulico*. La ciudadanía es consciente que la posible rotura de algunas de ellas puede afectar seriamente al medio ambiente o a servicios esenciales (categoría A o B).

Recientemente el Ministerio de Industria y Energía ha promulgado la Orden de 26 de Abril de 2000 por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria 08.02.01 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera *Depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas* (B.O.E. nº 111 de fecha 9 de mayo de 2000 y corrección posterior en el B.O.E. nº 156 de fecha 30 de junio de 2000). Su estructura es, en parte, similar a la normativa vigente sobre presas y embalses.

Todas estas dualidades, carencias y limitaciones expuestas en el texto de este artículo quedarían subsanadas o resueltas con la promulgación de una legislación de mayor rango. En estos momentos la DGOHCA tiene varios borradores de una posible *Ley de Seguridad de Presas y Embalses*, lo que supone un importante avance.

TABLA Nº 2. GUÍAS TÉCNICAS ELABORADAS POR EL COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

Guía Nº	Título	Situación
1	Seguridad de presas	En elaboración
2	Criterios de Proyectos de presas y sus obras anejas	En elaboración
3	Estudios Geológicos-geotécnicos y de prospección de materiales	Publicada
4	Avenida de Proyecto	Publicada
5	Aliviaderos y Desagües	Publicada
6	Construcción de Presas y Control de Calidad	Publicada
7	Auscultación de las Presas y sus cimientos	En elaboración

2. GUÍAS TÉCNICAS QUE COMPLEMENTAN AL REGLAMENTO

2.1. GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD ELABORADAS POR EL COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

Dado el carácter de norma marco que tiene el Reglamento, se ha creído conveniente redactar unas guías técnicas con carácter de recomendaciones que faciliten el trabajo a los técnicos proyectistas y directores de la construcción y explotación de las presas y embalses. Las guías seleccionadas hasta el momento se recogen en la tabla Nº 2.

Estas guías permitirán recoger en tiempo real los nuevos conocimientos técnicos y posibilitarán la utilización de nuevos materiales y de procesos constructivos modernos, sin necesidad de modificar el Reglamento. Estos documentos, que exponen y reflejan, de manera detallada, pero precisa, el estado de la técnica actual en cada tema, se han organizado en texto, anejos y apéndices, haciendo referencia a los artículos y aspectos del mismo que se pretende aclarar o ampliar.

2.2. GUÍAS REDACTADAS POR LA DGOHCA

Con el fin de facilitar a los titulares de presas la elaboración de los documentos que señala el Reglamento Técnico, y cuyo plazo comenzó con su aprobación en marzo de 1996, la D.G.O.H.C.A. ha promovido la redacción de las siguientes guías.

- ▼ Guía técnica para la clasificación de las presas en categorías en función del riesgo potencial. (1997).
- ▼ Guía técnica para elaboración de los Planes de Emergencia de Presas (1999).
- ▼ Guía Técnica para la elaboración de Normas de Explotación de Presas y Embalses (1999).
- ▼ Guía Técnica para la redacción del Informe Anual (1999):

Ninguna de ellas tiene carácter normativo, su finalidad es señalar los criterios y las metodologías que pueden emplearse en la elaboración de los documentos correspondientes, para lograr un desarrollo homogéneo de los mismos.

3. COMISIÓN DE NORMAS PARA GRANDES PRESAS

Esta Comisión fue creada por una Orden del entonces Ministerio de Obras Públicas de 15 de enero de 1959, con la misión de redactar las instrucciones técnicas para el Proyecto, Construcción y Explotación de presas y embalses.

Posteriormente, por Orden de 26 de abril de 1965, la Comisión se configuró como un órgano consultivo de carácter permanente, facultado para proponer la modificación o mantenimiento de la normativa técnica aplicable en el campo de las presas en sus fases de Proyecto, Construcción y Explotación y para asesorar técnicamente a la Administración del Estado en estas materias.

Bajo este prisma se redactaron la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas y el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses aprobados por O.M. de 31 de marzo de 1967 y 12 de marzo 1996 respectivamente.

La orden de 5 de octubre de 1999 del Ministerio de Medio Ambiente regula la composición y funciones de la Comisión de Normas para Grandes Presas. Entre sus disposiciones figuran las siguientes:

▼ *La Comisión de Normas para Grandes Presas, es el órgano consultivo y de asesoramiento técnico y de seguridad en materia de presas y embalses.*

▼ *La Comisión se integra en el Ministerio de Medio Ambiente y dependerá del Director General de Obras Hidráulicas, y de la Calidad de las Aguas.*

Sus funciones son las siguientes:

▼ *Proponer y elaborar las modificaciones de la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas y del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.*

▼ *El asesoramiento técnico y en materia de seguridad relacionado con el Proyecto, Construcción y Explotación de presas y embalses, a requerimiento del Director General de Obras Hidráulicas.*

▼ La Comisión estará integrada por un Presidente, un Vicepresidente y un mínimo de 10 vocales, designados todos ellos entre expertos en las materias que se encomiendan.

▼ Su nombramiento se efectuará por el Ministro de Medio Ambiente, a propuesta del Director General de Obras Hidráulicas.

4. NORMATIVA SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS EN OTROS PAÍSES

4.1. INTRODUCCIÓN

Con el aumento de bienestar socioeconómico en los distintos países del planeta el ciudadano demanda un mayor control y conocimiento de los riesgos a que está sometido, tanto por las catástrofes naturales como por las antrópicas.

Así como parece constatar que una legislación adecuada mejora la calidad de vida frente a los riesgos, esta legislación es más simple y escueta en los países con amplia tradición democrática que en aquellos que acaban de acceder a ella.

Hay países en que, tras una práctica diaria de buen hacer, se promulga una ley que de facto ya se ha puesto en funcionamiento, existen otros países en que se dictan instrucciones sin saber a priori si se van a cumplir, por falta de medios o por cualquier otra circunstancia.

Es presumible que en un futuro, no lejano, la Unión Europea proponga a los distintos países una Directriz sobre Seguridad de Presas.

4.2. ESTADO ACTUAL DE LA NORMATIVA

La situación actual en materia de legislación, a nivel mundial, indica que un 20 % de países dispone de normativa específica de presas mientras en el resto la situación es muy dispar:

- ▼ Países sin presas.
- ▼ Países con presas y con legislación a la que es difícil tener acceso.
- ▼ Países con presas en las que no se considera necesaria una legislación específica.
- ▼ Países con presas y con legislación en preparación, como por ejemplo Brasil y Pakistán.

Es de suponer que los nuevos países independientes que surgieron al desaparecer la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) sigan con la misma legislación que actualmente rige en Rusia.

Respecto a Holanda hay que señalar que posee legislación relativa a los diques de protección marinos.

Es de destacar que entre los países que carecen de legislación se encuentran Irlanda, con pocas presas, y Turquía, con muchas y de dimensiones considerables, que dispone de Norma Técnica.

PAÍSES QUE APLICAN UNA CIERTA LEGISLACIÓN SOBRE PRESAS

- | | |
|----------------------|---------------|
| ▼ Alemania | ▼ India |
| ▼ Argentina | ▼ Italia |
| ▼ Australia | ▼ Japón |
| ▼ Austria | ▼ Marruecos |
| ▼ Bosnia-Herzegovina | ▼ Noruega |
| ▼ Canadá | ▼ Portugal |
| ▼ China | ▼ Reino Unido |
| ▼ Croacia | ▼ Rumania |
| ▼ Egipto | ▼ Rusia |
| ▼ Eslovaquia | ▼ Sudáfrica |
| ▼ Eslovenia | ▼ Suecia |
| ▼ España | ▼ Suiza |
| ▼ Estados Unidos | ▼ Turquía |
| ▼ Finlandia | ▼ Yugoslavia |
| ▼ Francia | ▼ Zimbabwe |
| ▼ Holanda | |

En lo que atañe a España falta por definir unos acuerdos transfronterizos, en lo referente sobre todo a Planes de Emergencia, entre Portugal y España y entre Andorra y España.

4.3. CRITERIOS TÉCNICOS EMPLEADOS EN LAS DISTINTAS LEGISLACIONES

Los criterios técnicos empleados en las normativas de cada uno de los países es muy variado y responde, en general, a los reflejados en la Tabla nº 3.

En algunos países se aplica la legislación a presas cuya rotura produzca daños significativos tanto personales como materiales. Este es el caso de la legislación para España, Francia, Sudáfrica, Reino Unido y Suiza.

4.4. CRITERIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD

Capacidad y control de los órganos de desagüe

En muchos de los países que poseen legislación de presas la normativa vigente se complementa con guías técnicas y/o recomendaciones, en las cuales se desarrollan con mayor detalle los criterios establecidos en dicha normativa.

En la estimación de la Avenida de Proyecto, los criterios que suelen emplearse en los distintos países son los referidos tanto a avenidas con periodos de retorno comprendidos entre 100 y 10.000 años como a considerar la PMF como avenida extrema, no considerándose en general los desagües de fondo

TABLA Nº 3. CRITERIOS TÉCNICOS EMPLEADOS EN LAS NORMATIVAS DE DISTINTOS PAÍSES

País	Altura de la presa (*)	Volumen embalse (**)	Observaciones
Canadá	$H > 7.6 \text{ m}$ (25 pies)	$V > 61.674 \text{ m}^3$ (50 acres por pie)	No en todos los estados
Eslovenia	$H > 15 \text{ m}$ ó $10 \leq H < 15$ pero en la que $L > 500 \text{ m}$ ó $V > 1 \text{ Mm}^3$ ó $Q > 2.000 \text{ m}^3/\text{seg}$		Criterio ICOLD
España	Criterio ICOLD		En el Reglamento Técnico sobre seguridad de Presas y Embalses
	$H > 15 \text{ m}$ ó $10 \leq H < 15$ y $V > 100.000 \text{ m}^3$		En la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. (1967)
Estados Unidos	$H > 7.6 \text{ m}$ (25 pies)	$V > 61.674 \text{ m}^3$ (50 acres por pie)	Mismos criterios que en Canadá.
Finlandia	$H > 3 \text{ m}$		
Francia	$H > 20 \text{ m}$		Si $H > 20 \text{ m}$ y $V > 15 \text{ Mm}^3$ obliga a Plan de Emergencia.
Italia	$H > 15 \text{ m}$	$V > 1 \text{ Mm}^3$	
Noruega	$H > 4 \text{ m}$	$V > 500.000 \text{ m}^3$	
Reino Unido		$V > 25.000 \text{ m}^3$	
Sudáfrica	$H_0 > 5 \text{ m}$	$V > 50.000 \text{ m}^3$	Deben cumplir las 2 condiciones.
Suecia	$H > 15 \text{ m}$	$V > 50.000 \text{ m}^3$	
Suiza	$H_0 > 10 \text{ m}$ ó $H_0 > 5 \text{ m}$ y $V > 50.000 \text{ m}^3$		Se inventarían todas las presas con $H > 5 \text{ m}$
Yugoslavia	Criterio ICOLD		
Zimbabwe	$H > 8 \text{ m}$		

* H = Altura de presa entre coronación y el punto más bajo del cimiento, sin contar rastrillos, pantallas, etc. H_0 = Tirante de agua.** V = Volumen de embalse hasta el nivel máximo normal.

y las tomas de agua en el cálculo de la avenida de proyecto y de su laminación.

Entre los distintos países, cabe citar los siguientes:

▼ *Suiza*: Considera la avenida extrema como 1,5 veces la avenida con periodo de retorno de 1.000 años.

Para su laminación tiene en cuenta los caudales de las tomas y los desagües de fondo en la hipótesis de estar fuera de servicio el dispositivo de obturación al que corresponde el mayor caudal de evacuación.

▼ *Italia*: La avenida extrema la toma 1,4 veces la avenida de proyecto para las presas de hormigón y 1,7 veces para las presas de materiales sueltos.

Para su laminación no se tienen en cuenta las tomas de agua pero pueden considerarse los desagües de fondo si tal circunstancia fue prevista en el Proyecto.

▼ *Canadá*: El estado de Alberta clasifica las presas según sus **dimensiones** en:

	<i>Volumen del embalse (Mm³)</i>	<i>Altura (m)</i>
Pequeñas	< 1,2	< 12
Medianas	1,2 a 60	12 a 30
Grandes	> 60	> 30

Según el riesgo potencial en:

	<i>Pérdida de vidas humanas</i>	<i>Pérdidas materiales</i>
Riesgo Bajo	No previstas	Mínimas
Riesgo Significativo	Pocas	Apreciables
Riesgo Alto	Más que pocas	Elevadas

La guía técnica de este país aconseja las avenidas de proyecto siguientes:

	DIMENSIONES		
	<i>Pequeñas</i>	<i>Medianas</i>	<i>Grandes</i>
Riesgo Bajo	100 años	100 años a 0,5 x PMF	0,5 a 1 x PMF
Riesgo Significativo	100 años a 0,5 x PMF	0,5 a 1 x PMF	1 x PMF
Riesgo Alto	0,5 a 1 x PMF	1 x PMF	1 x PMF

Control de los desagües

Es bien sabido que existen presas antiguas sin desagües de fondo y otros que durante un corto periodo de explotación quedan obstruidos y fuera de servicio, sin posibilidad de apertura.

Hay países en que es obligatorio realizar un vaciado periódico del embalse, como en Suiza, Francia y Austria.

La obligatoriedad de dos compuertas por desagüe de fondo se prescribe en Suiza y Austria, así como la existencia de dos fuentes alternativas de energía. Estas fuentes pueden ser reducidas a una si la maniobra manual se lleva a cabo por un solo hombre durante un plazo razonable.

En España es obligatoria la existencia de dos vanos en los aliviaderos controlados exclusivamente con compuertas (Reglamento. Art. 14.6), así como una longitud suficiente para permitir el paso de árboles u otros cuerpos flotantes (Art. 14.5). Esta última prescripción también se contempla en la legislación austríaca.

En España ya no es obligatoria la existencia de dos desagües de fondo, como mínimo, para las presas clasificadas como "C" según el Reglamento.

Es interesante señalar que la legislación italiana no permite disponer todos los desagües de superficie equipados con compuertas y, en términos generales, obliga a que el 50% de la capacidad de evacuación sea a través de órganos de desagüe sin compuertas. En presas de materiales sueltos solo admite aliviaderos de superficie.

Resguardo

En general se acepta resguardo nulo para las avenidas extremas, en las presas de hormigón, y no se admite vertido por coronación en las presas de materiales sueltos.

En el reglamento italiano se acepta, en las presas de materiales sueltos, que el resguardo para la avenida extrema sea un tercio del resguardo para la Avenida de Proyecto.

En la mayoría de las legislaciones no se admite la cota del pretil como cota de coronación de la presa.

Riesgos aguas abajo

Repasamos algunas consideraciones importantes aportadas por los distintos países:

▼ *Canadá*: Respecto a los casos dudosos las guías técnicas de este país consideran lo siguiente: *En las presas en que existe una cierta incertidumbre sobre las consecuencias de la rotura de la presa, debe realizarse un análisis simplificado y conservador para realizar una primera valoración; si este análisis detecta un riesgo potencial, deberá realizarse un análisis más sofisticado. En las presas cuyas conse-*

cuencias de la rotura cae dentro de la categoría "muy baja", no se requiere un estudio formal de inundación.

▼ *Francia y Rumanía:* En Francia el Plan de Emergencia es solo obligatorio para las presas con altura superior a los 20 m y embalse superior a 15 Mm³. En cambio en Rumania estos límites se sitúan en 10 m y 10 Mm³, con el añadido de que haya áreas habitadas a menos de 10 Km de la presa.

▼ *Suiza:* Los sistemas de avisos y alerta son obligatorios para presas que alcancen más de 2 Mm³ y para todas aquellas que puedan representar riesgo para la población.

Respecto a los límites de cálculo de la onda de inundación y otras disposiciones:

▼ *Francia:* Contempla los siguientes criterios alternativos:

–Hasta que la onda de inundación sea inferior a la correspondiente a la avenida con periodo de retorno de 100 años.

–Hasta que la onda de inundación sea inferior a la mayor crecida histórica.

–Hasta que la onda de inundación no represente peligro.

–Hasta que la onda de inundación deje de provocar una altura de agua superior a 1 m (medida sobre el nivel del río en condiciones normales).

▼ *Canadá:* Consideran que la población que está ubicada fuera de las 3 horas de llegada de la onda de inundación no está en riesgo.

▼ *Finlandia:* La onda de inundación debe calcularse hasta 50 Km de la presa.

En lo referente a las zonas en que debe dividirse la potencial zona de inundación teniendo en cuenta las posibilidades de aviso y evacuación de la población:

▼ *Francia:* Se define una zona de auto-salvamento en que la onda de inundación llega en menos de 15 minutos.

▼ *Suiza:* La zona de auto-salvamento la define en 2 horas y se reparte a la población información sobre las señales sonoras y caminos de escape.

No se admiten alarmas automáticas y se requiere su activación por un operador.

▼ *Italia:* Es obligatorio tener marcas en el terreno que delimiten la zona de inundación hasta una extensión de 10 Km de la presa y las aperturas de compuertas se avisan con una señal sonora.

▼ *Noruega:* Se admiten señales automáticas y la propia rotura de la presa acciona las sirenas.

REFERENCIAS

–Alonso Franco, Manuel. *Estado actual de la Legislación Española*. Simposium Internacional sobre seguridad de presas y embalses. Barcelona, España. 1998.

–Pena Mazaira, Jesús. *Planes de Emergencia de Presas*. Simposium Internacional sobre seguridad de presas y embalses. Barcelona, España. 1998.

–Yagüe Córdova, Jesús. *La seguridad de las presas en España*. Simposium Internacional sobre seguridad de presas y embalses. Barcelona, España. 1998.

–Rodríguez de la Rúa, J – *Legislación Hidráulica y Seguridad de Presas*. Jornada Técnica organizada por la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM). Madrid, España. Mayo 1998.

–Herreras Espino, Alberto. *Seguridad de presas y embalses. La legislación técnica*. Revista de Obras Públicas Nº 3.376.

–*Experiencias en la Elaboración de Planes de Emergencia de Presas*. Madrid 12 de Diciembre de 2000 – Jornada Técnica organizada por la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM), de próxima publicación.

–Jornada Técnica "Legislación sobre Seguridad de Presas". Proyecto OTAN-Portugal sobre Gestión de Riesgos de Avenidas. Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil. Departamento de Hidráulica 1998.

–*Proceedings of the International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety*. Barcelona (Spain), 17-19 Junio 1998. Publicado por AA Balkema (Holanda.). ISBN 90 5410 974 2.

–*Dam Safety in Europe. A report on the Overseas Scientific and Technical Expert Mission Scheme*. Abril/Mayo 1993. Autores: D.C. Beck / R. Freer / R.A. Reader / R.T. Severn / G.P. Sims / C.A. Taylor. ■

ESTUDIO DEL NUEVO ALIVIADERO EN TÚNEL DE LA PRESA DE EL LIMONERO (MÁLAGA)

Juan Antonio Rodríguez Arribas

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

Director Técnico de la Confederación Hidrográfica del Sur

José Luis Manzanares Japón

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

Catedrático de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

Presidente del Grupo de Ingeniería AYESA

Guillermo Bravo Guillén

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

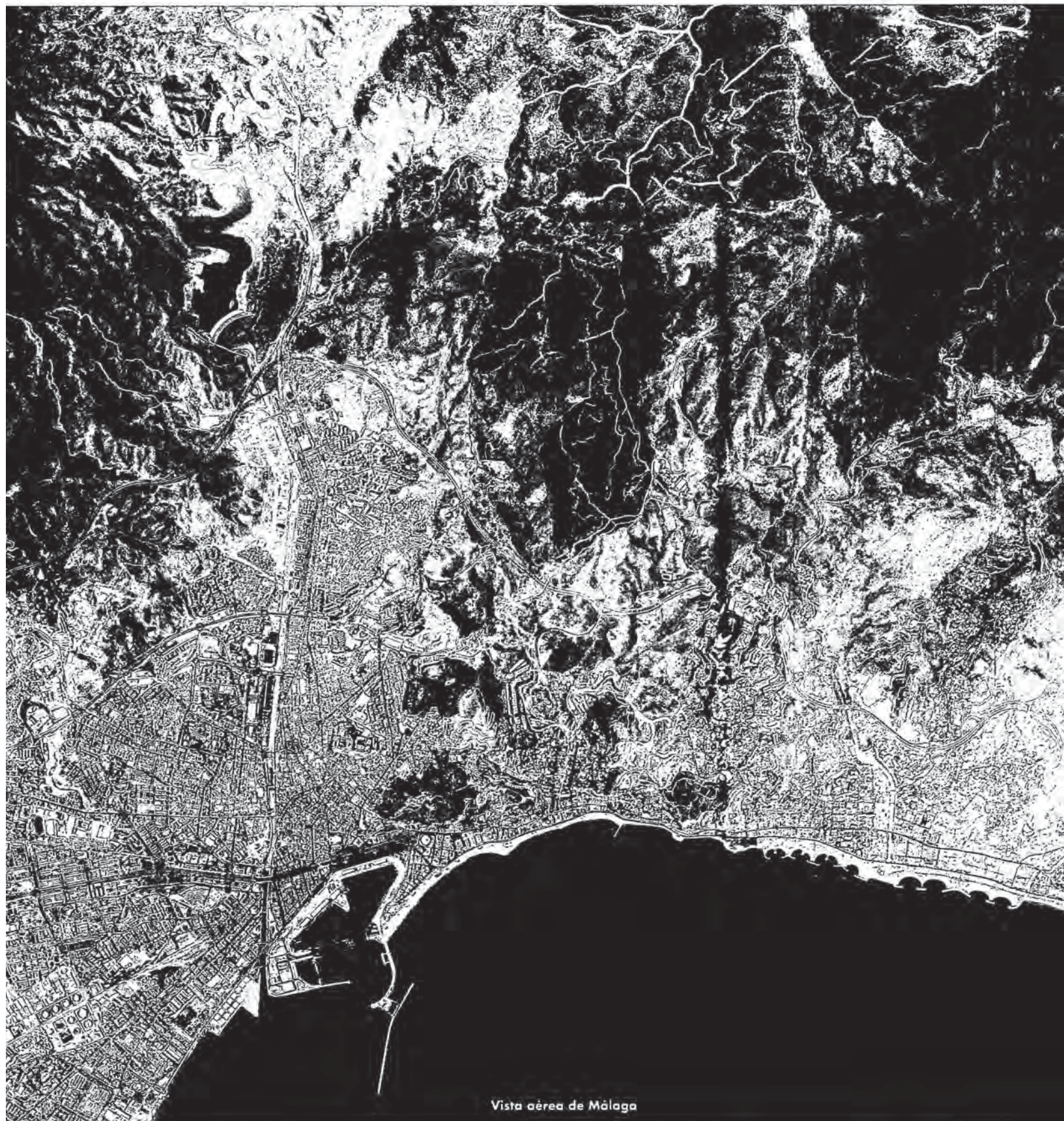
Miembro del Comité Nacional de Grandes Presas Españolas

RESUMEN

La historia de Málaga ha estado jalonada por numerosos episodios de inundaciones, provocadas por las avenidas del río Guadalmedina. En 1924, tras las devastadoras inundaciones de 1907, quedó concluida la Presa de el Agujero, de 5 Hm³ de capacidad, con el único objetivo de laminar las avenidas. Junto a esta presa, las diferentes actuaciones de defensa y acondicionamiento del cauce en su tramo urbano, han defendido la ciudad hasta la década de los ochenta. En 1983 se finalizó la construcción de la Presa de El Limonero, situada aguas abajo de la anterior, con 42 Hm³ de capacidad, garantizándose así la seguridad de la ciudad de Málaga frente a las avenidas. No obstante, la conveniencia de eliminar la evacuación de los caudales laminados por el embalse, a través del tramo de cauce que discurre por el casco antiguo de la ciudad, plantea la necesidad de acometer un nuevo aliviadero para la presa de El Limonero, que entregue los caudales de avenidas directamente al mar. En el presente artículo se analizan las posibilidades de este nuevo aliviadero en relación a su tipología y emplazamiento.

ABSTRACT

The history of Malaga has been marked by numerous floods caused by the swelling of the River Guadalmedina. After the devastating floods of 1907, the Agujero Dam was built in 1924, with a 5 Hm³ capacity and with the sole object of controlling the freshets. Together with this dam, various defences and bank protection to the urban stretch of the river have served to protect the city up to the eighties. In 1983 the El Limonero Dam was completed, this dam being set downstream of the earlier dam and with a 42 Hm³ capacity which has served to guarantee the safety of the city of Malaga against flooding. However, the need to eliminate the evacuation of flows split by the reservoir, through the section of river flowing through the old part of the city, has led to plans to install a new spillway in the El Limonero dam which will force the freshet flows directly into the sea. The present article analyses the possibilities of this new spillway in terms of characteristics and positioning.



Vista aérea de Málaga

ANTECEDENTES

La historia de Málaga y el río Guadalmedina está marcada por numerosos episodios de inundaciones, lo que ha inducido a la construcción de numerosas obras de encauzamiento y defensa en este río, entre las que se encuentran lógicamente la construcción de embalses para la regulación de la cuenca. Dentro de estas actuaciones hay que destacar la construcción de las presas de El Agujero (1924) y de El Limonero (1983), situadas justo al norte de la ciudad, y las sucesivas obras de encauzamiento del último tramo del río Guadalmedina a su paso por la ciudad de Málaga.

A unos 8 kilómetros de la desembocadura del río Guadalmedina se encuentra la presa del Agujero.

La presa de El Limonero se construyó unos 2,5 km aguas abajo de la anterior y su embalse inunda parcialmente el cuerpo de la presa de El Agujero. Esta presa regula la mayor parte de la superficie de la cuenca del río Guadalmedina (158 de los 182 km² totales). El objetivo fundamental de esta presa es precisamente la laminación de las avenidas del río; no obstante, sirve además, aunque de forma actualmente secundaria, como fuente de suministro para el abastecimiento de la ciudad. A continuación se resumen las características más importantes de la presa, su embalse y la cuenca de aportación.

El río Guadalmedina se encuentra encauzado desde la presa de El Limonero hasta su desembocadura en el mar en una longitud aproximada de 5,5 km. El cauce ha sido sometido a sucesivas obras de defensa, datando la de mayor antigüedad y significación del año 1923 y las más recientes las realizadas en la última década.

Este encauzamiento recoge las aguas de los 24 km² de cuenca que se encuentra sin regular y los caudales evacuados por el aliviadero de la presa. El caudal de diseño del encauzamiento es de 600 m³/s.

CUENCA

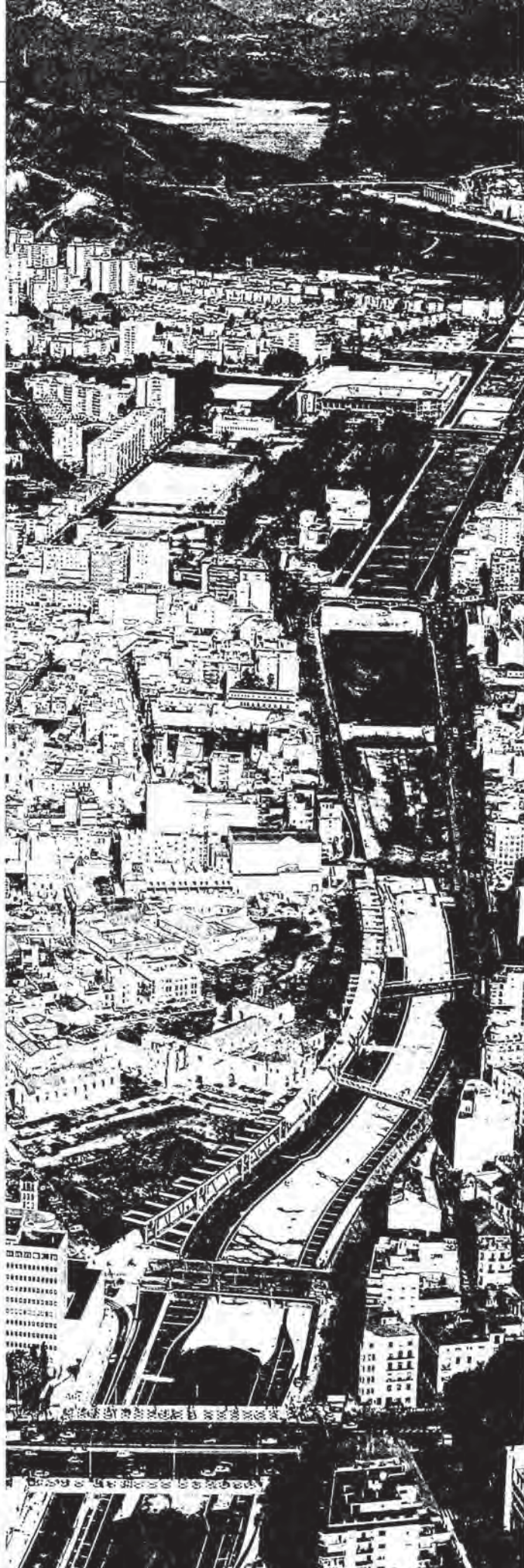
Longitud del río hasta la presa.....	37,1 km.
Tiempo de concentración:.....	6 h
Superficie:	158 km ²
Precipitación media anual:	542 mm.
Aportación media anual:	15 hm ³

EMBALSE

Cota nivel máximo normal:.....	104 m.
Volumen:.....	25 hm ³
Superficie:	105 ha.
Nivel de Avenida de Proyecto:	118.1 m.

PRESA

Tipología: materiales sueltos con nucleo central	
Cota de coronación.....	121 m.
Longitud de coronación	414 m.
Altura sobre cimientos.....	95 m.
Aliviadero de labio fijo	109 m.



Vista del Encauzamiento del Río Guadalmedina en Málaga

DATOS HIDROLÓGICOS

La máxima avenida para un período de recurrencia de 10.000 años tiene un caudal punta de 1.238 m³/s (alcanzado en la tormenta de diseño de 6 h) y un volumen máximo de 26,30 hm³ (alcanzado en la tormenta de diseño de 12 h). Para el control de los caudales ordinarios y extraordinarios, la presa cuenta con los siguientes órganos de desagüe: aliviadero de superficie ($Q_{\text{máx}} = 614 \text{ m}^3/\text{s}$), desagües de fondo ($Q_{\text{máx}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) y torre de toma para abastecimiento. Los órganos de desagüe de la presa fueron diseñados para crecidas de 10.000 años de período de recurrencia que se corresponden con tormentas de cálculo de diferentes duraciones (6, 9 y 12 horas). Los caudales punta y volúmenes de avenida afluentes al embalse para ese período de retorno son los reflejados en el cuadro 1.

Con las características descritas de los elementos de desagüe, los hidrogramas de avenida y de las curvas altura-superficie y altura-volumen del embalse de El Limonero, se ha calculado el efecto de laminación del embalse frente a las avenidas afluentes al mismo. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 2.

PROBLEMÁTICA

Tras un análisis de los resultados anteriormente expuestos se concluye, que para el nivel máximo de explotación vigente actualmente en el embalse de El Limonero (104 m), el caudal aportado al encauzamiento para una avenida de 10.000 años de período de retorno es de 500 m³/s de la presa, a los que hay que añadir los caudales de la cuenca no regulada de aguas abajo. La coincidencia de ambas puntas de caudal es remota, pero su ocurrencia agotaría la capacidad del encauzamiento.

ALTERNATIVAS

Ante esta situación se ha abordado el análisis de alternativas que permitan reducir estos caudales a su paso por la ciudad y que permitan mejorar aún más la seguridad de la ciudad. Existen varias medidas a adoptar para conseguir el objetivo anterior, tanto estructurales como administrativas y de gestión:

▼ **Reducción del nivel máximo de explotación en el embalse de El Limonero:** Aunque es la solución óptima desde un punto de vista económico, no es la más recomenda-

CUADRO 1

Duración de la tormenta (h)	$Q_{\text{máx}}$ (m ³ /s)	Volumen avenida (hm ³)
6	1.238	20,3
9	1.109	22,7
12	812	26,3

CUADRO 2

Nivel inicial (m)	Nivel final (m)	Q laminado (m ³ /s)	Tormenta '(h)
80	111.86	83	6
82	112.40	109	6
84	112.94	137	12
86	113.47	167	12
88	114.01	199	12
90	114.56	234	12
92	115.09	270	12
94	115.62	307	12
96	116.15	346	12
98	116.66	384	12
100	117.16	423	12
102	117.64	462	9
104	118.10	500	9
106	118.53	536	6
108	119.07	583	6
109	119.33	606	6

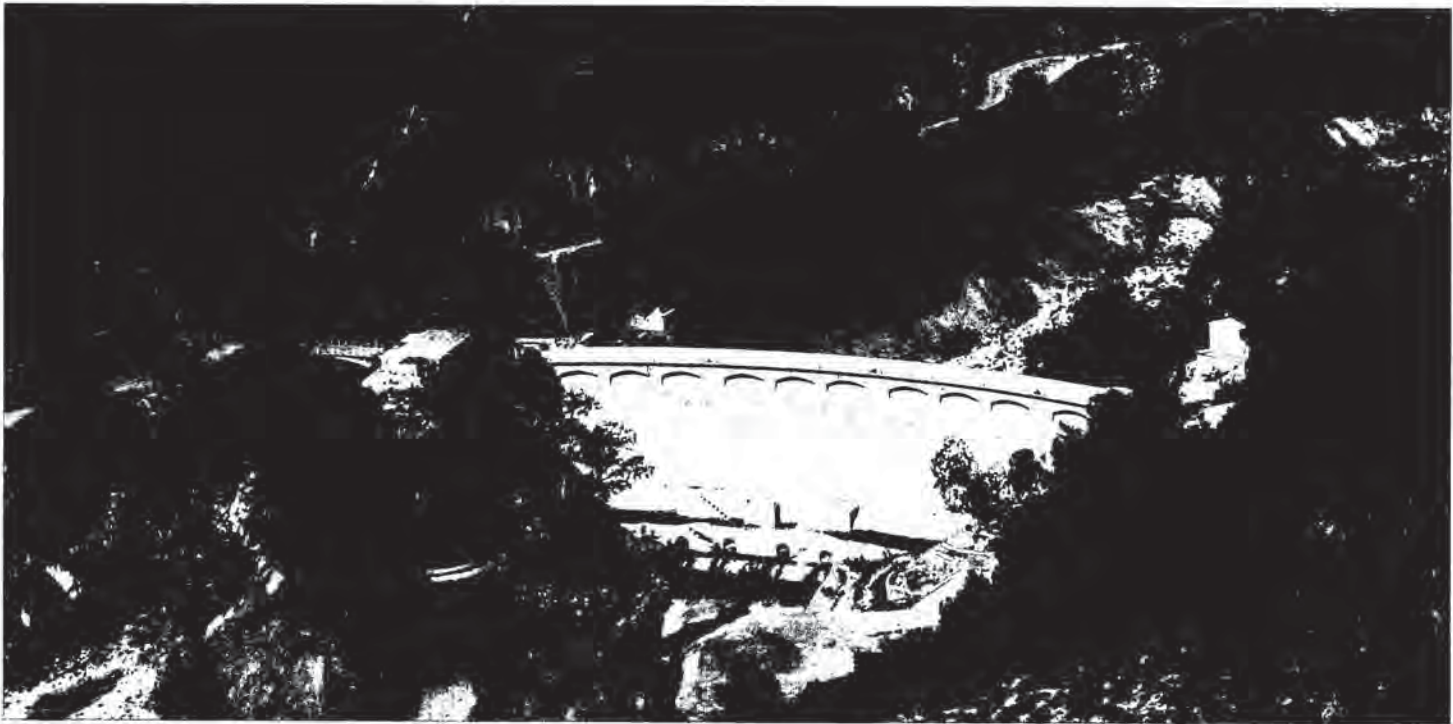
(1) Se ha anotado la tormenta más desfavorable de las tres duraciones analizadas

ble por la pérdida de los recursos hídricos regulables y que agravaría aún más la situación actual deficitaria de los recursos frente a las demandas en el sistema de abastecimiento a la ciudad de Málaga.

▼ **Nuevas obras de regulación en la cuenca:** Sería la solución idónea, pero es inviable debido a que la orografía y ordenación del territorio imposibilita el emplazamiento de nuevos grandes vasos receptores.

▼ **Trasvases extraordinarios a otras cuencas:** Reducir puntas de caudales en avenidas precisaría de enormes dimensionamientos y, consecuentemente, de inversiones desproporcionadas. Además, las infraestructuras hidráulicas de los potenciales sistemas de explotación receptores (Sistema Viñuela por la margen izquierda y Sistema Casasola por la derecha), son incapaces de absorber las puntas del calibre de las comentadas.

▼ **Evacuación de los caudales de crecida del embalse directamente al mar a través de un túnel- aliviadero:** A la vista de todo lo anterior, se trata de la solución idónea y definitiva para evitar cualquier tipo de riesgos en relación a los caudales de crecida que el río Guadalmedina aporta a



Vista de la Presa de "El Agujero"

través del embalse de El Limonero a la ciudad de Málaga. Este aliviadero sustituiría al actual de la presa.

NUEVO ALIVIADERO DEL EMBALSE DE EL LIMONERO

Se ha establecido como cota del umbral del labio del nuevo vertedero la misma que el nivel máximo de explotación del embalse, es decir, la 104. Tal criterio se ha tomado con la intención de no reducir los niveles de explotación actuales.

En el estudio particular del emplazamiento de la obra de toma del nuevo vertedero se ha tenido en cuenta la singularidad que en el proceso de laminación de las crecidas, pueda tener la especial configuración y situación de la presa de El Agujero. En consecuencia se han analizado dos posibilidades para la ubicación del vertedero del aliviadero: vaso del embalse de El Limonero o vaso del embalse de El Agujero.

La presa de El Agujero, construida en el año 1.924, es de gravedad, de fábrica de hormigón con los paramentos recubiertos de sillería

La presa se diseñó, exclusivamente, para cumplir el objetivo de laminación de avenidas, por lo que se dispuso un amplio desagüe, permanentemente abierto, atravesando en túnel el estribo izquierdo.

La construcción aguas abajo de la presa de El Limonero, dejó inutilizada la presa de El Agujero, por lo que se levantaron y enclavaron las compuertas de los desagües profundos y se rebajó la cota de parte del aliviadero lateral de la presa, para

facilitar la comunicación entre aguas arriba y aguas abajo de la presa de El Agujero, sin crear diferencias de carga en el embalse de El Limonero, que la inunda parcialmente.

Con las características de los elementos de desagüe, los hidrogramas de avenida y las curvas altura- superficie y altura-volumen, tanto del embalse de El Limonero como de El Agujero, se ha calculado el efecto de laminación en el conjunto de ambos embalses, considerando las singularidades de los desagües de fondo de la presa de El Agujero, así como su aliviadero.

A continuación se adjunta una tabla donde se puede observar el caudal máximo evacuado por el nuevo túnel aliviadero, para distintas longitudes de vertedero, así como la altura máxima alcanzada en el embalse, para una situación inicial del nivel del embalse en la cota 104 (nivel máximo normal de explotación), sin utilización del desagüe profundo de la presa de El Limonero y para los dos posibles emplazamientos de la embocadura (vaso de El Limonero o vaso de El Agujero). Se ha modelizado para ello la laminación con las avenidas de 10.000 años de período de retorno y con distintas duraciones de tormenta (6, 9 y 12 h) anotándose el resultado pésimo de entre las tres laminaciones realizadas para cada caso.

Como primera conclusión, destaca la disminución de los caudales punta evacuados por el túnel- aliviadero debido a la particular disposición del embalse de El Agujero dentro de El Limonero. (Cuadro 3).

Los gráficos que se adjuntan corresponden a la hipótesis del vertedero de 10 m de longitud, el primero de ellos para la situación del aliviadero en el vaso de El Limonero, y los dos siguientes para el vaso de El Agujero.

CUADRO 3

LONGITUD VERTEDERO (m)	H máx (m)	Q máx (m ³ /s)	H máx (m)	Q máx (m ³ /s)	Tormenta pésima (h)
5	116.87	485	116.27	451	12
10	114.33	697	113.35	606	9
15	112.91	837	111.84	692	6
20	111.91	935	111.41	847	6

En la elección de la solución idónea a la hora de establecer el emplazamiento y las dimensiones de la embocadura del túnel- aliviadero se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes:

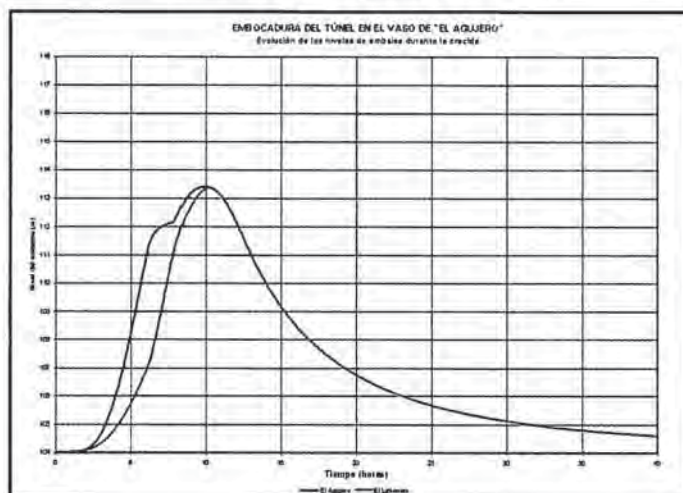
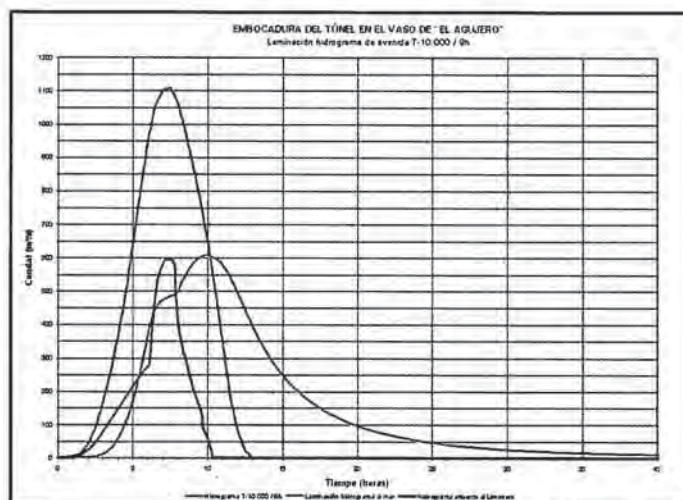
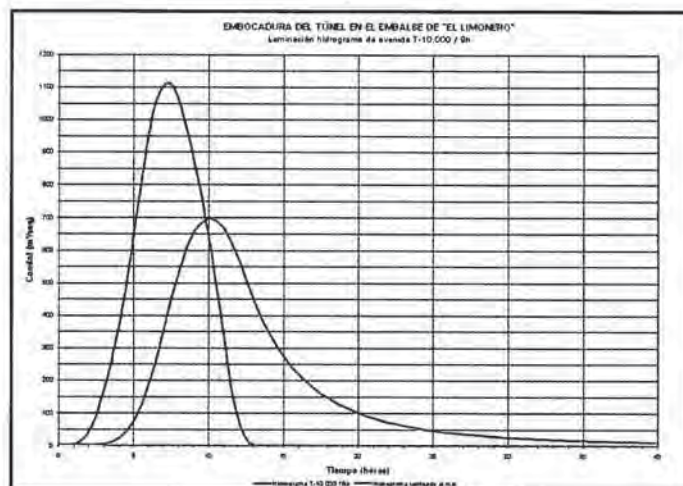
- ▼ Reducción al máximo del nuevo nivel de avenidas de proyecto del embalse de El Limonero.
- ▼ Reducción al máximo posible del caudal de dimensionamiento del túnel- aliviadero.
- ▼ Características geométricas del trazado del túnel desde el punto de arranque hasta el punto de restitución al mar.
- ▼ Facilidad constructiva, tanto de la obra de embocadura como del resto del trazado del túnel desde su punto de arranque.

Según todas las premisas anteriores la ubicación idónea de la embocadura del túnel se encuentra en el vaso de El Agujero, y así se ha establecido en la solución adoptada.

En cuanto a las dimensiones del vertedero de la embocadura del túnel, las mayores longitudes de vertedero ofrecen como ventaja menor altura final de la lámina de agua en el embalse y, por ende, mayor seguridad para la presa de El Limonero; sin embargo presentan como contrapartida mayores dimensiones del túnel- aliviadero. Finalmente se ha escogido la solución que optimizaría las dimensiones del túnel, que contempla una **longitud de vertedero de 10 m**. Con esta opción el **caudal de dimensionamiento** adoptado ha sido de **700 m³/s**.

Según lo anterior, la cota máxima de la lámina de agua que se alcanzaría en el embalse para la crecida de 10.000 años de período de recurrencia (avenida de proyecto) sería la 113,35. Este sería el **nuevo Nivel de Avenida de Proyecto**, rebajándose en casi 5 metros el establecido hasta ahora (118,11 m). En esta nueva situación se alcanza un resguardo en el embalse en situación de crecidas de más de 7,5 metros².

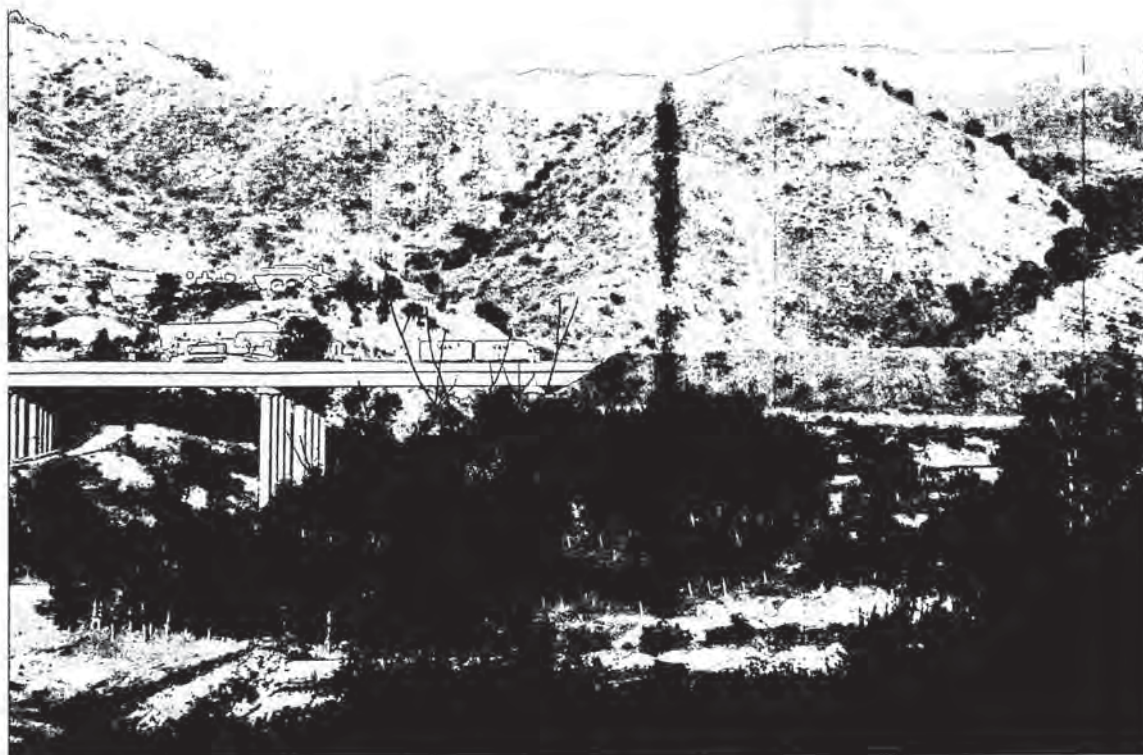
(2) Recuérdese en este sentido, que el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses vigente en la actual legislación española recomienda que en presas de categoría A y en presas de materiales sueltos el resguardo mínimo (resguardo para el NAP) no debe ser inferior al intervalo 2-3 m.



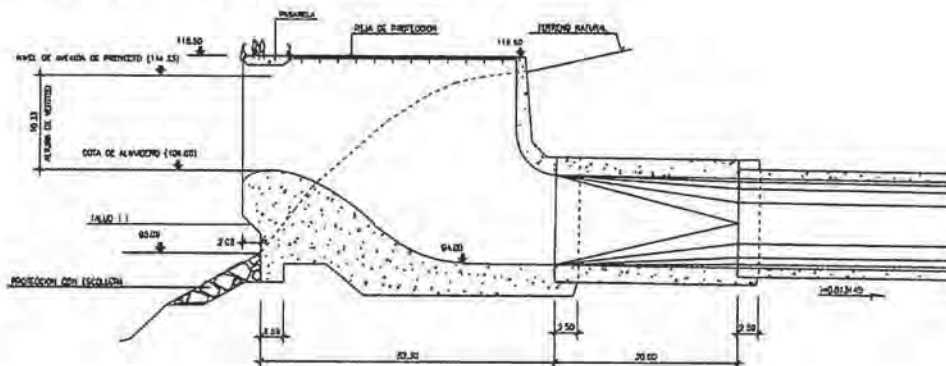
EL TÚNEL ALIVIADERO

La problemática mayor que presenta este túnel es su desagüe en el mar, y concretamente su afloramiento costero. Para ello se ha buscado un área sin usos recreativos o aprovecha-

Trazado del Túnel.

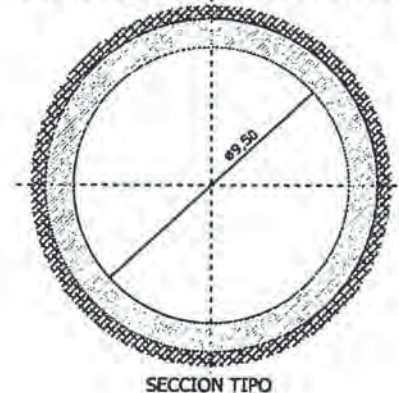


Sección de la Embocadura

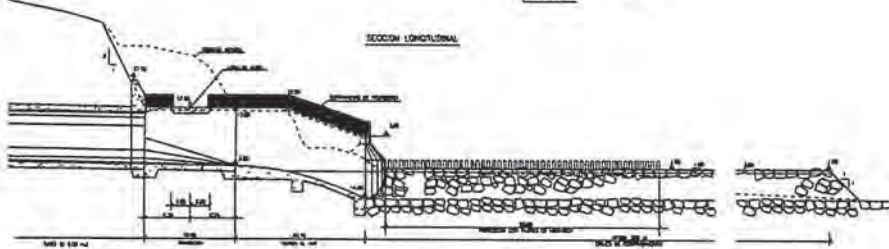
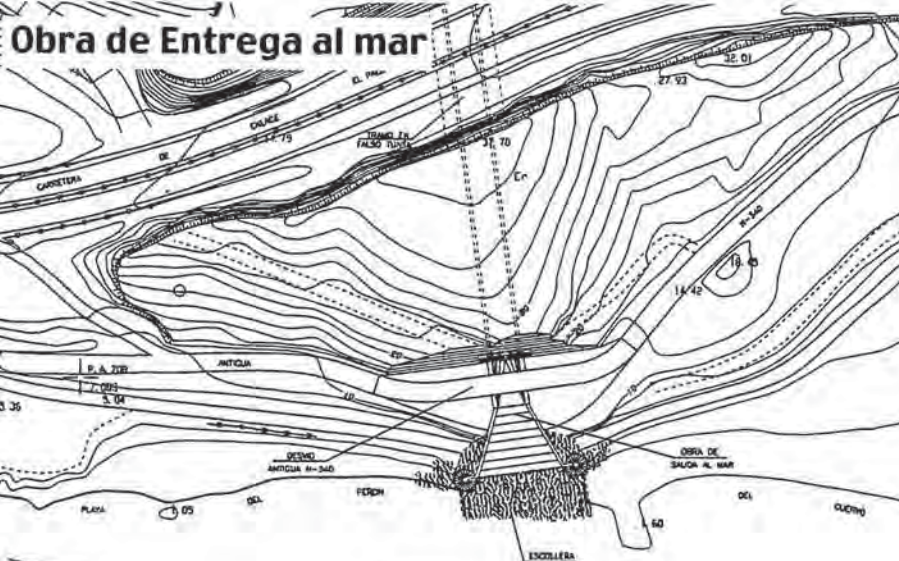


Sección Embocadura.

Túnel Aliviadero



SECCION TIPO



Planta y sección de la desembocadura.

miento turístico, próxima a *Torre Paloma* en el paraje denominado *Peñón del Cuervo*, antes de la confluencia de la N-340 con la ronda de circunvalación E-902. El trazado presenta una longitud de 11.177 m. La geometría del trazado cuenta con dos alineaciones rectas, separadas por un tramo curvo de radio 5.000 m.

El túnel propuesto está pensado para su funcionamiento en lámina libre y en régimen rápido, con una pendiente única

uniforme del 0,82% comenzando en la cota 94,0 en la boquilla de toma, y terminando a la cota 2,0 en la boquilla de salida, en el mar. La sección es circular, con 9,50 m de diámetro interior y con una superficie útil de 70,8 m².

La montera media del túnel es de unos 160 m, con un máximo de 430 m, en el cerro de San Antón. En todo el tramo intermedio se presenta un mínimo de montera de 95 m, lo que no hará viable acometer "puntos de ataque" intermedios. El tramo final dispone de una montera media de unos 50 m.

CONCLUSIONES

A la vista de todos los estudios realizados se concluye que el túnel aliviadero de desagüe al mar propuesto en el embalse de El Limonero se considera como una obra técnicamente viable y, desde el punto de vista de la seguridad, necesaria para conseguir eliminar totalmente el riesgo de inundaciones en la ciudad de Málaga por avenidas procedentes de la cuenca alta. La solución permite la reducción del Nivel de Avenida de Proyecto en 4.76 m., pasando de la cota

118.10 m a la 113.35 m. De esta forma, se aumentaría significativamente el resguardo del embalse ante la situación de crecida.

Además, esta solución a diferencia de otras medidas como es la reducción del nivel de explotación del embalse, permite regular, si así se desea, un mayor volumen de las aportaciones de la cuenca para su aprovechamiento en el abastecimiento urbano. ■

Q-79

ALIVIADEROS Y SEGURIDAD DE PRESAS

Gonzalo Marín Pacheco

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Synconsult

Antonio Borrero Villalón

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ayesa

RESUMEN

Se resume y comenta en este artículo el Informe del Ponente General de la cuestión 79, Aliviaderos y seguridad de presas. También se describen los informes específicos con los que contribuyeron los ingenieros españoles antes de la celebración del Congreso celebrado en Beijing en septiembre de 2000.

ABSTRACT

This article summarizes and comments on the General Report on Question 79 "Gated spillways and other controlled release facilities and dam safety". The article goes on to describe the papers submitted by Spanish engineers to the Beijing Congress, held in September 2000, with regards to this question.

1. TEMARIO DE LA CUESTIÓN Q-79

El objeto general de la cuestión Q-79 se refiere a temas relacionados con la *seguridad de las presas y los aliviaderos y otros órganos controlados*. Con objeto de incidir en los temas relevantes al respecto, durante las reuniones previas al Congreso de Beijing se seleccionaron los aspectos sobre los que debían versar los informes que se presentarán; estos temas fueron:

- ▼ a) Criterios de diseño para la elección de equipos hidromecánicos
- ▼ b) Elección entre aliviaderos controlados y en lámina libre: aspectos económicos, sistemas de alarma, estrategias de explotación, formación y entrenamiento, responsabilidades, explotación automatizada
- ▼ c) Fiabilidad de la explotación de sistemas hidráulicos controlados, mantenimiento, inspección y pruebas
- ▼ d) Experiencias del comportamiento de equipos hidromecánicos

2. INFORMES PRESENTADOS

De entre los informes propuestos se aceptaron cuarenta y tres que, sin duda, es una cifra considerable. De éstos, y como viene siendo habitual en los últimos Congresos, los provenientes de autores españoles –seis–, son los más numerosos, tal como se refleja en el cuadro 1.

3. INFORME DEL PONENTE GENERAL

3.1. DEFINICIÓN Y DESGLOSE DE TEMAS

El Ponente General –en lo sucesivo **P.G.**–, fue el conocido ingeniero americano del norte John J. Cassidy que, entre otros cargos importantes en ICOLD ha sido Presidente del Comité Técnico de Hidráulica de la Presa y, por su gran y dilatada experiencia, está muy capacitado para realizar la función que le fue encomendada, tal como lo demuestra su excelente informe.

El **P.G.** resalta la importancia que, para la seguridad de la presa, tienen los aliviaderos, motivo por el cual ha sido un tema recurrentemente analizado en sucesivos Congresos de ICOLD -Q-12 en Nueva Delhi (1951), Q-41 en Madrid (1973), Q-50 en Nueva Delhi (1979), Q-52 en Río de Janeiro (1982), Q-63 en San Francisco (1988) y Q-71 en Durban (1994)-, y tratado en numerosas publicaciones y boletines monográficos, además de dedicar un *symposium* específico a estos temas en Granada, en 1992.

Las cuarenta y tres contribuciones finalmente aceptadas las analiza el **P.G.** en los grupos siguientes:

- ▼ Elección entre aliviaderos controlados y no controlados (8 Contribuciones)
- ▼ Diseño y elección de equipos hidromecánicos (16 contribuciones)
- ▼ Explotación y fiabilidad de estructuras controladas (19 contribuciones)

Como quiera que el informe del **P.G.** debe analizar las distintas contribuciones teniendo en cuenta la organización temática propuesta por ICOLD, y además complementar e incorporar información adicional relacionada con los aspectos propuestos, es optativo estructurarlo teniendo en cuenta todos estos condicionantes. Consecuentemente, este artículo se ajusta al índice de la ponencia del **P.G.**, que es:

A. TIPOS DE ALIVIADEROS. DISEÑO Y ELECCIÓN

- ▼ Clasificación
- ▼ No controlados
- ▼ Controlados
- ▼ De orificio
- ▼ Modelos físicos y analíticos para el proyecto

B. FUNCIONES Y COMETIDOS DE LOS ALIVIADEROS

- ▼ Control de avenidas
- ▼ Aliviaderos no controlados
- ▼ Aliviaderos controlados

C. ALIVIADEROS CONTROLADOS Y EQUIPOS HIDROMECAÑICOS

- ▼ Tipos de compuertas y su proyecto
- ▼ Equipos de accionamiento
- ▼ Compuertas automáticas

CUADRO 1	
PAIS	COMUNICACIONES
Alemania	1
Argentina	1
Brasil	1
Canadá	1
Corea	1
Chequia	1
China	1
Eslovaquia	1
España	6
Estados Unidos	2
Francia	3
India	1
Inglaterra	3
Irán	1
Japón	3
Marruecos	3
Nueva Zelanda	1
Portugal	3
Rumania	1
Rusia	2
Sud Africa	1
Suecia	2
Suiza	3

D. EXPLOTACIÓN DE ALIVIADEROS CONTROLADOS

- ▼ Imposibilidad de apertura de compuertas
- ▼ Imposibilidad de operar las compuertas

E. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

F. CONCLUSIONES

En línea con lo expuesto antes, en este artículo se pasa revista a las consideraciones del **P.G.** para, después, incidir especialmente en las ponencias de los autores españoles.

3.2. TIPOS DE ALIVIADERO

Una primera distinción entre tipologías de aliviadero está entre los de superficie y los que desaguan en túnel; la elección entre un tipo u otro depende, en lo fundamental, de la forma del valle donde esté implantada la presa. Así, en presas ubicadas en valles estrechos se suelen elegir

aliviaderos en túnel, fundamentalmente por la falta de espacio; por el contrario en valles amplios, los aliviaderos de superficie son los más indicados.

En términos de caudal desaguado, son más eficientes los de superficie, toda vez que el caudal depende de la carga de agua elevada a tres medios, mientras que en el caso de los aliviaderos en túnel la potencia que entra en juego es la de un medio.

A efectos de la cuestión Q-79, la diferencia que interesa reside entre aliviaderos controlados y no controlados, cuya elección está condicionada tanto por la magnitud de la avenida de proyecto, como por las características de la cerrada donde está implantada. En este sentido, el **P.G.** resalta la importancia que tiene la avenida de proyecto, toda vez que entre el 34 y el 41 por ciento de las roturas de presas se pueden asociar a la insuficiencia en la capacidad de desagüe de sus aliviaderos, cuestión indicativa, por otra parte, de la incertidumbre que existe al adoptar la avenida de proyecto.

No es de extrañar, pues, que nada menos que once de las comunicaciones presentadas traten sobre proyectos y experiencias relacionadas con el acondicionamiento de aliviaderos. De hecho, durante los debates que tuvieron lugar en las sesiones del Congreso dedicadas a la Q-79, el tema de la elección del tipo de aliviadero fue ampliamente analizado. En concreto, los aspectos a los que se prestó más atención fueron:



Guadalhorce-Guadalteba.

- ▼ Criterios técnicos y económicos para la elección de aliviaderos
- ▼ Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de aliviadero
- ▼ Criterios simplificados para la gestión de aliviaderos controlados durante avenidas
- ▼ Diseño de compuertas y su relación con el caudal evacuado y los daños potenciales aguas abajo

3.2.1. Aliviaderos no controlados

Sin lugar a dudas, los aliviaderos no controlados son los más seguros: es improbable que se obstruyan y, como no tienen equipos asociados, requieren menos mantenimiento y no están sujetos a eventuales errores humanos en su explotación. Sin embargo, resultan más caros que los controlados, para un mismo rango de caudales, ya que necesitan longitudes de vertido mayores, así como obras de desagüe más importantes. Una excepción a esta afirmación lo constituyen los aliviaderos *en laberinto*, que pueden ser una so-

lución económica y segura; precisamente dos de las comunicaciones presentadas tratan sobre esta problemática.

En general no existen normas oficiales que establezcan criterios para elegir entre aliviaderos controlados y no controlados; sin embargo, tal como se resalta en una comunicación, en Francia los aliviaderos no controlados se suelen usar en presas con cuencas vertientes reducidas, con menos de 150 km² de superficie.

3.2.2. Aliviaderos controlados

Las consideraciones que justifican la elección de un aliviadero controlado, según el P.G., son:

- ▼ El valle es estrecho y no hay espacio material para disponer de la longitud de vertido que requiere un aliviadero no controlado
- ▼ Necesidad, bien de controlar los caudales salientes para evitar inundaciones en el tramo de aguas abajo, o bien de optimizar el volumen de embalse

▼ El costo inicial de un aliviadero controlado es menor que el de uno no controlado, de capacidad equivalente. En este sentido, en una de las comunicaciones se afirma que, en Rumanía, un aliviadero con compuertas cuesta entre el 25 y 30 % menos que uno no controlado equivalente.

El **P.G.** llama la atención sobre la conveniencia de que aguas arriba de las compuertas se prevean, ya desde la fase de proyecto, las instalaciones necesarias que permitan la instalación de ataguías para realizar una eventual reparación en seco de estos equipos, aunque esté el embalse lleno.

Por cuanto se refiere a los criterios a considerar en cuenta para el proyecto de aliviaderos controlados, el **P.G.** resalta los que se tienen en cuenta en Corea:

- ▼ El resguardo entre la cota superior de las compuertas y el nivel máximo normal debe ser superior al medio metro
- ▼ La avenida de proyecto debe ser la máxima crecida probable
- ▼ La velocidad de aproximación a las compuertas debe estar limitada a 4 m/s
- ▼ La diferencia de altura entre la solera del canal de aproximación y la coronación del vertedero debe ser, al menos, el 20 % de la carga de agua prevista en el proyecto
- ▼ Los aliviaderos de grandes presas deben estar justificados con modelos hidráulicos

3.2.3. Aliviaderos en túnel

Los aliviaderos en túnel se pueden definir como los que tienen la toma sumergida y suelen estar controlados por compuertas de guarda situadas aguas arriba, combinadas con compuertas emplazadas en el túnel. Este tipo de aliviaderos deben estar previstos para desaguar caudales importantes; a partir de la experiencia adquirida en el aliviadero de Contreras, el **P.G.** concreta una serie de criterios para el proyecto de aliviaderos en túnel:

- ▼ Deben preverse dos tomas para cada túnel
- ▼ Cada obra de salida debe disponer de dos compuertas



Tous.

▼ Debe contarse con un acceso independiente a la cámara de compuertas

▼ Debe disponerse de un sistema de aireación en la zona de aguas abajo de la compuerta de control

▼ Para el proyecto de construcción es imprescindible un modelo reducido

▼ Deben preverse rejas, cuyo dimensionamiento debe hacerse suponiendo que está obturada entre el 20 y 25 % de su superficie

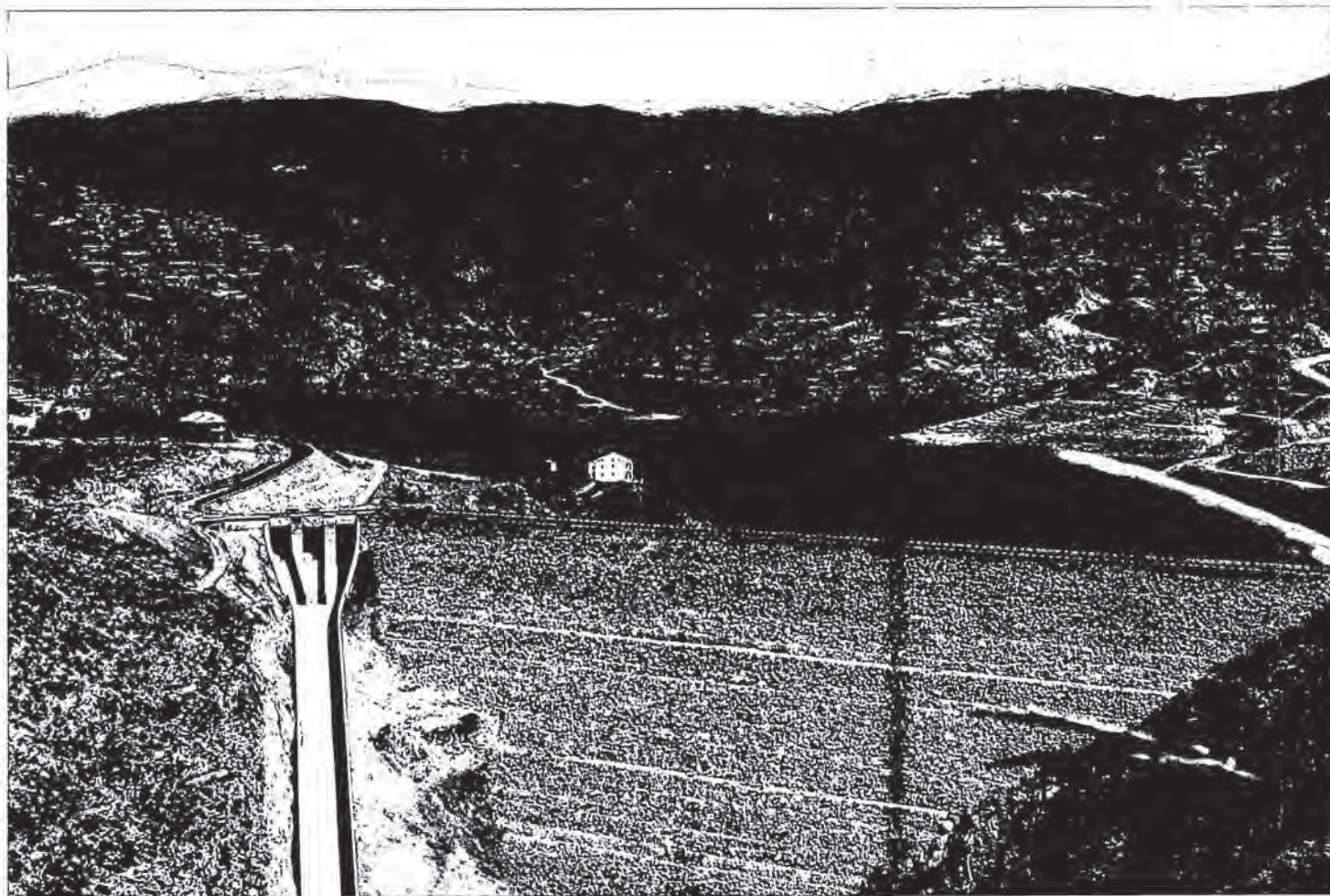
3.2.4. Modelos físicos y analíticos

En la mayoría de las grandes presas se utilizan modelos reducidos para perfeccionar el diseño hidráulico de los aliviaderos. Un aspecto relevante al respecto es el de la escala, que está

condicionada por los calados mínimos a estudiar en el aliviadero; si la escala es muy pequeña, los coeficientes de descarga que caracterizan al aliviadero serán, asimismo, pequeños. Modelos con escalas entre 1:20 y 1:15 realizados en Francia han demostrado que minimizan los coeficientes de descarga en un 10%.

Las nuevas directrices adoptadas en Suecia relativas a la seguridad de presas han implicado la necesidad de incrementar la capacidad de desagüe de numerosos aliviaderos, lo que, a su vez, requerirá de la realización de otros tantos modelos reducidos. Como quiera que el coste económico de los modelos es significativo se han desarrollado modelos analíticos como complemento o, en algunos casos, en sustitución de los físicos; es de resaltar al respecto que distintos modelos analíticos realizados por equipos independientes para el mismo aliviadero, han proporcionado resultados similares.

Un ejemplo concreto tratado en una de las comunicaciones es el de la Central de Bergforsen, en Suecia, donde estudios hidrológicos realizados recientemente indican la necesidad de incrementar la capacidad del aliviadero de los



Beninar.

2.000 m³/s actuales hasta 3.500 m³/s, y para la cual se desarrollaron complejos modelos analíticos cuyos resultados tardaron nada menos que tres semanas en conseguirse utilizando ordenadores de la última generación.

3.3. FUNCIONES Y COMETIDOS DE LOS ALIVIADEROS

3.3.1. Control de avenidas

Los aliviaderos deben dimensionarse para desaguar la avenida de proyecto sin que se comprometa la seguridad de la presa ni se genere una avenida hacia aguas abajo mayor que la que ocurriría si no estuviera la presa. Estos cometidos se consiguen de forma diferente en aliviaderos controlados y no controlados.

3.3.2. Aliviaderos no controlados

Como es sabido, el caudal desaguado por un aliviadero en lámina libre depende del nivel del embalse y, concreta-

mente, de la altura de la lámina de agua sobre el umbral del vertedero, sin que, en consecuencia, sea posible realizar un control de los caudales desaguados.

De hecho, el hidrograma de salida de una avenida depende del hidrograma afluente y del nivel que tiene el embalse en el momento de empezar el episodio, de tal forma que cuanto mayor sea el volumen disponible entre el nivel inicial y el umbral del vertedero —que es cuando se empieza a verter—, tanto menor será el valor del caudal saliente; si, por el contrario, el volumen disponible es pequeño, la disminución con respecto del caudal afluente será poco significativa.

En consecuencia, en el diseño hidráulico de un aliviadero en lámina libre se analiza el nivel que alcanzará el embalse al presentarse la avenida de proyecto en el supuesto de que el nivel inicial coincide con el del umbral del vertedero; a partir de la cota que alcanza el agua se fija la coronación de la presa con el resguardo que, en cada caso, se adopte para garantizar la seguridad de la presa. En general el resguardo debe ser superior a 1 m; en presas de materiales sueltos el rango a considerar para este factor debe estar entre 3 y 4 m.

3.3.3. Aliviaderos controlados

A diferencia de los aliviaderos no controlados, los que disponen de elementos de control presentan claras ventajas en la medida que permiten una gestión flexible de las avenidas, a la vez que es posible prever reglas de gestión de las mismas.

Con los aliviaderos controlados es posible limitar el caudal saliente de la presa, sin más que regulando la apertura de las compuertas; consecuentemente, están indicadas en las presas en las que los tramos de río que se desarrollan aguas abajo están densamente poblados y conviene limitar los vertidos, siempre que no se comprometa la seguridad de la presa.

Los aliviaderos controlados por compuertas permiten optimizar la gestión de avenidas, siempre que se disponga de datos en tiempo real de la precipitación en la cuenca vertiente y de los caudales circulantes por los cauces de aguas arriba. Con esta información –complementada con otra referente a temperatura, humedad y, en su caso, el volumen de nieve almacenada–, se pueden realizar predicciones sobre la magnitud y forma del hidrograma afluente y, consecuentemente, programar las maniobras de las compuertas atendiendo a los objetivos previamente fijados, que normalmente persiguen limitar el valor del caudal saliente y conseguir maximizar el volumen retenido al final de la avenida.

La disponibilidad de los sistemas de captación y transmisión de datos hidrológicos en tiempo real –como es el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) en España–, exige niveles de mantenimiento e inspección verdaderamente intensos, sobre todo si se quiere que estos Sistemas estén operativos durante avenidas; igual observación cabe hacer para los equipos hidromecánicos.

Un aspecto relevante que resalta el P.G. se refiere a los programas automatizados de gestión de avenidas; llama la atención sobre la conveniencia de que no sean *cajas negras* que no permitan contrastar los resultados con la realidad; este aspecto ha sido convenientemente tratado en una comunicación al describir la experiencia disponible en Sud Africa.

3.4. ALIVIADEROS CONTROLADOS Y EQUIPOS HIDROMECAÑICOS

3.4.1. Tipos de compuerta y su proyecto

Son numerosos los tipos de compuertas que, hasta la fecha, se han desarrollado; los más frecuentes son:

- ▼ compuertas deslizantes o vagón
- ▼ compuertas radiales o Taintor
- ▼ clapetas articuladas
- ▼ presas hinchables
- ▼ compuertas de segmento

Las primeras requieren unas estructuras de izado importantes, sus dimensiones máximas están en torno a los 20 m de ancho por 20 m de altura y pueden ser cerradas a plena carga.

Las compuertas radiales son, sin duda, las más populares debido a su economía en la construcción y a que requieren un esfuerzo menor que las vagón para su izado; en aliviaderos de superficie, pueden llegar a tener dimensiones importantes que alcanzan los 40 m de longitud y 10 m de altura, así como 20 m por 20 m. Las compuertas radiales se usan frecuentemente en aliviaderos en túnel. En ningún caso es recomendable permitir el vertido sobre la compuerta, toda vez que pueden tener lugar vibraciones importantes que lleguen a afectar a la estructura de la propia compuerta.

Por su parte, las clapetas se utilizan en aliviaderos de superficie cuando se requiere un control preciso del nivel del embalse y la carga de agua es relativamente pequeña. Sus dimensiones máximas pueden llegar hasta los 70 m de longitud mientras que su altura se limita a los 3 m, debido a los importantes esfuerzos que requiere su izado.

Las presas hinchables se suelen usar en la actualidad como elementos destinados a controlar el nivel de agua en el tramo de aguas arriba; sus dimensiones máximas llegan hasta los 100 m de largo y 3 m de altura; el control del nivel que se consigue con este tipo de presa no es tan preciso como el de las compuertas ya que se produce una concentración del flujo en la parte central, coincidente con la zona donde empieza a desinflarse.

Por último, las compuertas de segmento están formadas por dos compuertas planas que pueden ser accionadas independientemente; están indicadas cuando se necesita controlar vanos largos, con un máximo de hasta 70 m. El diseño tanto de las compuertas como de los mecanismos de accionamiento debe contemplar escenarios tales como:

- ▼ Flujo solamente por encima de la compuerta superior
- ▼ Flujo solo por debajo de la compuerta inferior
- ▼ Un caso mixto de las anteriores

3.4.2. Equipos de accionamiento

En una parte importante de los aliviaderos de grandes presas, el izado de las compuertas se consigue mediante cables o por cilindros hidráulicos. Los cables son aptos para ser utilizados hasta capacidades de 50 toneladas; el uso de este tipo de elemento de elevación ha sido de uso generalizado en todo el mundo de forma que resulta relativamente más fácil conseguir repuestos de los mismos que de los otros tipos de equipos de izado.

Las compuertas que se proyecten con cables deben poder cerrarse por la acción de su peso propio ya que estos elementos están previstos únicamente para transmitir esfuerzos de izado. En el caso de compuertas que deban ser eleva-

das a gran altura, debe preverse un dispositivo de frenado que impida que la compuerta adquiera altas velocidades al cerrarlas y evitar problemas de vibraciones.

Por su parte, los cilindros hidráulicos son los elementos de elevación más profusamente usados en la actualidad para todo tipo de compuertas; aseguran fuerzas de izado mayores que los cables y, además, pueden transmitir esfuerzos de cierre; en consonancia con esta tendencia, en numerosos países se recomienda el empleo de los cilindros hidráulicos en vez de los cables. En el caso concreto de Portugal, se está llevando a cabo un programa de sustitución de cables por cilindros, cosa que ha sido puesta de manifiesto en una de las comunicaciones.

3.4.3. Compuertas automáticas

Son numerosas las actuaciones que se han realizado tendientes a automatizar la operación de compuertas; en general los automatismos se consiguen utilizando sistemas de flotadores y contrapesos que activan la apertura de las compuertas cuando el nivel del embalse alcanza una determinada cota. Sin embargo, como quiera que estos sistemas exigen un intenso mantenimiento y, en general se han demostrado poco fiables, su uso no resulta aconsejable de tal forma que, por ejemplo, en las directrices portuguesas de seguridad de presas se recomienda que todas las compuertas automáticas sean sustituidas.

Otro procedimiento para conseguir un control automatizado de las avenidas es a través de diques fusibles que, sin embargo, no son de uso generalizado toda vez que la rotura de estas obras no es fácilmente ni programable. Existen variantes conceptuales de este procedimiento basadas en la rotura de cierres –que pueden ser compuertas–, y que están descritos en tres de las comunicaciones presentadas.

3.5. EXPLOTACIÓN DE ALIVIADEROS CONTROLADOS

Como pone de manifiesto el P.G., los aliviaderos en lámina libre son más seguros que los controlados, motivo por el cual los proyectistas de presas deben tener en consideración este aspecto, por cuanto a la seguridad de la presa se refiere. En concreto, y en relación con los aliviaderos controlados, es importante tener en cuenta que éstos pueden fallar si:

- ▼ El personal encargado de accionar las compuertas lo hace tarde o no las abre en absoluto, aunque estén operativas
- ▼ No se abren las compuertas por fallos en los equipos

3.5.1. Fallos del personal

Los fallos de compuertas imputables al personal son, en general, debidos a alguno de los factores siguientes:

- ▼ El encargado de operar las compuertas no está presente en el momento de presentarse la avenida; relacionado con este aspecto está la necesidad de contar con accesos seguros a la presa
- ▼ Fallo en las comunicaciones, que impide tanto el flujo de información entre los distintos niveles jerárquicos de la organización encargada de la explotación de la presa, como la transmisión de datos
- ▼ Falta de preparación de los encargados de operar las compuertas

3.5.2. Fallos en los equipos

La problemática de los fallos en los equipos hidromecánicos en general, y de las compuertas en particular, ha sido uno de los temas que más atención se ha prestado en las comunicaciones recibidas: nada menos que diecisiete ponencias la tienen en cuenta. De ellas se deduce que dos son las causas de la inoperancia de las compuertas cuando son necesarias:

- ▼ Defectos de proyecto
- ▼ Envejecimiento de los equipos

Por cuanto respecta al primer aspecto, los aspectos que se han resaltado se refieren a la no consideración, durante la fase del proyecto, de cargas sísmicas, los problemas de vibraciones y la no detección de eventuales problemas de corrosión en las estructuras por adoptar diseños que no facilitan su mantenimiento y conservación.

El problema del envejecimiento de los equipos está íntimamente relacionado con su mantenimiento y conservación, tal como se pone de manifiesto en cinco comunicaciones, y, consecuentemente, con el problema de la corrosión, que puede afectar tanto a las propias compuertas como a los equipos de accionamiento.

La avenida extraordinaria ocurrida en el río Saguenay, en Canadá, durante julio de 1996, que se estimó en torno a los 30 000 años de periodo de retorno, permitió a la organización Hydro Quebec sacar una serie de consecuencias importantes en relación con el comportamiento de las compuertas:

- ▼ Los cables de izado se rompieron, o no tuvieron capacidad suficiente para elevar las compuertas, debido a la enorme cantidad de troncos y demás material flotante almacenado en el entorno de las compuertas. Consecuentemente, en numerosos casos las compuertas fueron desbordadas
- ▼ Las ataguías se acodalaron y no pudieron retirarse
- ▼ Hubo fallos en el suministro de energía
- ▼ Los accesos a las cámaras de compuertas no estuvieron disponibles en muchos casos

La experiencia de Sanguenay sirvió para que la Administración de Quebec produjera una legislación específica relacionada con la seguridad de las presas, que incluye los aspectos siguientes:

- ▼ Revisión de la capacidad de desagüe de todas las presas
- ▼ Reemplazo de las ataguías de madera por metálicas
- ▼ Disponibilidad de fuentes de energía alternativas
- ▼ Consideración especial de troncos y otros elementos flotantes
- ▼ Con el fin de facilitar el paso de elementos flotantes, la anchura mínima de las compuertas se fijó en 4 m

3.6. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

El P.G. resalta la importancia que el mantenimiento y la conservación de los equipos hidromecánicos tienen en la seguridad de la presa; plantea la conveniencia de realizar labores especializadas de mantenimiento con periodicidad anual, que deben ser cumplimentadas por personal especializado en la explotación de este tipo de equipos y que sean conocedores de la problemática específica de la presa en cuestión. Adicionalmente recomienda una inspección –al menos quinquenal–, del aliviadero y sus equipos, que debe ser realizada por expertos independientes. Las conclusiones a que se lleguen, en cualquiera de las dos inspecciones aludidas, deben ser incorporadas al programa de mantenimiento y conservación respectivo.

Durante las sesiones de debate de la Q-79 se analizó, de forma detallada, la necesidad de establecer programas de mantenimiento y conservación de los equipos hidromecánicos, llegándose a la conclusión que deberían estar integrados en las respectivas normas de explotación y que, en consecuencia, son responsabilidad del titular de la presa el asegurar este extremo. Se analizó, en este sentido, la relación entre los niveles de mantenimiento que son recomendables para estos equipos y la disminución de fallos que ello implica.

3.7. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes a las que llega el P.G. se transcriben a continuación:

- ▼ 1) Los aliviaderos en lámina libre son la alternativa más segura, aunque el nivel de protección que aportan está en función de la elección de la avenida de proyecto
- ▼ 2) Los aliviaderos controlados serán de uso frecuente en el futuro por su economía y por la flexibilidad que aportan a la explotación
- ▼ 3) Las compuertas radiales son las que tienen más aceptación por la gran experiencia que se dispone de su uso, además de por su economía

▼ 4) Debe incidirse especialmente en la importancia que tienen el mantenimiento y conservación de los aliviaderos y sus equipos de control

▼ 5) Con el fin de garantizar la máxima fiabilidad de los aliviaderos, debe asegurarse un mantenimiento periódico

▼ 6) Debe preverse la inspección de los aliviaderos y sus instalaciones y equipos por un grupo de expertos independientes; la periodicidad máxima recomendada para esta actividad no debe superar los cinco años

4. CONTRIBUCIONES ESPAÑOLAS

4.1. ALIVIADEROS LATERALES.

ANÁLISIS DE VERTEDEROS EN LABERINTO

Los autores de la quinta comunicación –J. Torres Cerezo, J. Morán Cabrereros y E. Martínez Marín–, analizan los elementos a considerar en la elección de la tipología de aliviaderos independientes al cuerpo de presa, tanto para presas de materiales sueltos como en el caso en que se detectara la necesidad de aliviaderos complementarios tras una revisión hidrológica de la presa.

La elección entre aliviaderos controlados por compuertas o de labio fijo es una decisión técnico-económica que hay que considerar en cada caso a través de un análisis funcional y económico.

Los autores concluyen que en embalses con volúmenes de resguardo inferior al 5% de su capacidad, son más ventajosos los aliviaderos controlados por compuertas, mientras que para embalses con resguardos importantes –por encima del 10% de su capacidad–, pueden ser más recomendables los aliviaderos de labio fijo. Los aliviaderos de laberinto tienen un coste intermedio entre ambos tipos de aliviadero, pudiendo ser adecuados en determinadas ocasiones.

En cualquier caso, se llama la atención sobre la importancia de considerar como elementos determinantes en la elección final del tipo de aliviadero, los costes de explotación y mantenimiento, la propia facilidad de operación y los aspectos ambientales, tanto durante la construcción como en la fase de explotación de la presa.

4.2. INNOVACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS HIDROMECAÑICOS

La comunicación R-21, presentada por F. Salinas Morales, describe algunas experiencias de equipos hidromecánicos que incluyen nuevas tecnologías y que han funcionado satisfactoriamente. El primer caso descrito es el de las compuertas flotantes utilizadas como esclusas para el lago artificial de la Expo-92 de Sevilla. Este tipo de compuertas pueden deslizarse fácilmente sobre la superficie del agua para las tareas de conservación y mantenimiento, lo que permite

un importante ahorro en relación con otro tipo de mecanismos.

Se llama la atención sobre el amplio campo de utilización de este tipo de instalaciones que en la actualidad están infrautilizadas.

El segundo caso expuesto es el de una toma de agua a nivel continuo, que permite seleccionar el nivel del embalse para tomar agua. Esta innovación selecciona el estrato de agua más apropiado para los procesos de potabilización lo que permite ahorrar en los costes de explotación.

En tercer lugar, el autor propone eliminar el conducto intermedio entre válvulas dispuestas en serie, de acuerdo a la disposición clásica que se utiliza en los desagües profundos. Esta solución supone un ahorro en la fabricación e instalación de estos equipos sin restarle eficiencia en su funcionamiento.

Como cuarto caso se consideran tres nuevos detalles de diseño que mejoran el funcionamiento de las válvulas Howell-Bunger. Uno para mejorar la aireación de la vena líquida, otro para eliminar un punto de inestabilidad de la válvula, y el último referente al contacto entre el cono de desplazamiento y el cilindro exterior de la válvula, con objeto de reducir al mínimo las pérdidas.

4.3. ALIVIADERO MIXTO DE LA PRESA DE MORA DE RUBIELOS

Los ingenieros E. Cifres y R. López presentan un diseño singular de aliviadero que ha sido adoptado en la presa de Mora de Rubielos, localizada en Teruel, consistente en un amplio aliviadero lateral cuyo canal de descarga se encuentra controlado por una compuerta.

La gran anchura del vertedero lateral reduce los niveles producidos aguas arriba del embalse mientras que la compuerta, dispuesta en el canal de descarga, limita los caudales desaguados hacia aguas abajo, utilizando como *colchón laminador* el vaso del canal de descarga.

Esta disposición permite minimizar la afección hacia aguas arriba de las avenidas de hasta 5.000 años de periodo de retorno y laminar las avenidas de periodos de retorno inferiores a 100 años por debajo del umbral de daños del tramo de cauce existente de aguas abajo, consiguiendo una considerable reducción del caudal punta y un mayor tiempo de preaviso para las avenidas extremas.

Por otra parte, es posible la utilización de todo el volumen almacenado aguas arriba de la compuerta durante la temporada de riegos.

4.4. LA NUEVA PRESA DE PUENTES

En la comunicación presentada por A. Maurandis Guirado, J. Granell Vicent y J. M. Somalo Martín se hace un resumen de la experiencia adquirida en el diseño y construc-

ción de la nueva presa de Puentes en el río Guadalentín (Murcia).

Tras hacer una breve reseña histórica sobre el emplazamiento de la presa y las sucesivas construcciones realizadas en el *estrecho de Puentes* se realiza una descripción del nuevo proyecto y de sus etapas constructivas.

La nueva presa de Puentes fue diseñada con dos objetivos: I) regular los caudales asignados para riego y II) laminar las avenidas que históricamente han producido graves daños en la Vega del Guadalentín, con lo que se espera resolver los problemas de desarrollo de esta rica vega.

4.5. DESAGÜES CONTROLADOS DE GRAN CAPACIDAD. PRESA DE CONTRERAS

J. López Garaulet, J. Granell Vicent y S. Rubio Catalina, autores de la comunicación 24, pasan revista a las ventajas de carácter funcional que presentan los grandes desagües profundos frente a la alternativa de disponer solo de aliviaderos superficiales de gran capacidad, que pueden resumirse en:

- ▼ Adecuado control del embalse durante la fase de puesta en carga
- ▼ Mejora del control del embalse durante avenidas pudiendo limitar tanto los niveles alcanzados aguas arriba como los caudales desaguados.

A continuación describen el caso concreto del desagüe intermedio de la presa de Contreras situada en el río Cabriel entre las provincias de Cuenca y Valencia, proyectado tras un estudio de optimización de la gestión de recursos realizado en 1996.

En este estudio se concluyó la conveniencia de disponer un desagüe intermedio de 400 m³/s de capacidad en lugar del antiguo aliviadero tipo *Morning Glory*. Las obras se realizaron entre Junio de 1996 y Junio de 1998, habiéndose obtenido los beneficios descritos anteriormente.

4.6. ALGORITMOS DE LAMINACIÓN DE AVENIDAS BASADOS EN PREDICCIONES HIDROLÓGICAS

En la comunicación 25, redactada por F. Girón, J. Yagüe y R. Martínez, se analizan en detalle las posibilidades que ofrecen los sistemas de previsión de avenidas en tiempo real para mejorar los procedimientos de actuación en avenidas.

Frente a los sistemas empleados hasta la actualidad basado en informaciones locales, los autores proponen un nuevo procedimiento a partir de formulaciones que implican el conocimiento del hidrograma afluente desde una estación de aforos existente aguas arriba y distante de la presa un tiempo T_c de preconocimiento durante la gestión de la avenida en el embalse.

El procedimiento permite una reducción de los caudales punta laminados, que será tanto más importante cuanto mayor sea el tiempo de preconocimiento de presentación de la avenida, cosa que es factible en cuencas que disponen de instrumentación en tiempo real; además, mediante el procedimiento propuesto es posible *optimizar* el resguardo que esté fijado y, en consecuencia, el volumen destinado a servir las demandas asociadas al embalse.

4.7. NUEVO ALIVIADERO EN LA PRESA DE EL LIMONERO

El estudio redactado por los ingenieros J. A. Rodríguez Arribas, J. L. Manzanares y G. Bravo fue objeto de un animado debate en las sesiones del Congreso, toda vez que se trata de una solución original para incrementar la capacidad de desagüe del sistema hidráulico de la presa de El Limonero. Atendiendo a esta circunstancia, se ha considerado de especial interés incluir en este artículo una descripción de la solución propuesta.

La ciudad de Málaga ha estado sometida, desde tiempo inmemorial, a las inundaciones del río Guadalmedina, de forma que han sido numerosas las actuaciones, fundamentalmente de tipo estructural, que se han acometido a lo largo de la historia con el objetivo de disminuir o paliar los daños que ocasionaban. Así, se han construido dos presas aguas arriba de la ciudad destinadas a laminar las avenidas, cuales son la de El Agujero (1942) y la de El Limonero (1983); además, entre esta última y la desembocadura en el mar se dispone de un encauzamiento de unos 5,5 km de longitud y una capacidad de desagüe de 600 m³/s.

La presa de El Limonero, que es la situada más aguas abajo, inunda parcialmente el cuerpo de presa de El Agujero y domina 158 de los 182 km² de la cuenca del Guadalmedina; aunque su función principal es la de protección de avenidas, durante las últimas sequías se ha demostrado como un instrumento eficaz para garantizar el abastecimiento de agua a la ciudad de Málaga.

La presa de El Limonero se ha dimensionado para la avenida de 10.000 años de periodo de retorno; de acuerdo con los estudios hidrológicos disponibles, el caudal punta asociado a tal avenida es de 1.238 m³/s –correspondiente a un aguacero de 6 horas de duración–, mientras que su volumen máximo alcanza los 26,3 hm³, con una tormenta de 12 horas. El sistema hidráulico de la presa consta de un aliviadero en lámina libre, con una capacidad máxima de 614 m³/s, los desagües de fondo, dimensionados para evacuar, a plena carga, un máximo de 100 m³/s, y las tomas de abastecimiento, cuya capacidad no se tiene en cuenta para la gestión de avenidas.

Con el esquema anterior, se ha analizado la capacidad de laminación de esta infraestructura cuando se presenta la avenida de proyecto; los resultados a los que se ha llegado indican que, con el embalse inicialmente en el nivel máximo de explotación –correspondiente a la cota 104–, y sin contar con

los desagües de fondo, el caudal efluente alcanza los 500 m³/s, llegando el nivel del embalse a la cota 118,10, lo que supone un resguardo de 2,90 m hasta la coronación.

Como quiera que entre la presa y la desembocadura del río Guadalmedina, en pleno Málaga, hay 24 km² de cuenca vertiente que, en situación de avenidas, puede aportar caudales que llegan a tener valores significativos, y como existe la posibilidad cierta de que las avenidas afecten a toda la cuenca –se trata de una cuenca de tan solo 182 km²–, la posible coincidencia de las puntas agotaría la capacidad de desagüe del encauzamiento.

Esta situación de riesgo potencial de desbordamiento del encauzamiento –sí bien remota pero real–, exige el análisis de alternativas destinadas a resolverla; en concreto se han considerado medidas tanto estructurales como de gestión, entre las que cabe destacar:

- ▼ Reducción del nivel máximo de explotación en el embalse de El Limonero
- ▼ Nuevas obras de regulación en la cuenca
- ▼ Trasvases extraordinarios a otras cuencas
- ▼ Evacuación de los caudales de crecida del embalse directamente al mar a través de un túnel-aliviadero

La primera alternativa se desechó por las consecuencias perjudiciales que tendría para el abastecimiento a Málaga; la segunda se demostró inviable ante la falta de vasos adecuados en la cuenca. Por cuanto se refiere a los trasvases de avenidas, se demostró que, para conseguir resultados apreciable en la laminación de avenidas, es necesario realizar un esfuerzo inversor muy importante para conseguir la conexión con las cuencas vecinas –Sistemas de Viñuela por la margen izquierda y Casa-sola, por la derecha–. En consecuencia, la cuarta alternativa se demostró como la más adecuada y viable.

La primera decisión adoptada para definir la solución consistió en fijar el umbral del vertedero nuevo en la cota 104 para no modificar el nivel máximo de explotación actual en la presa de El Limonero; se trata, pues, de un aliviadero no controlado. En relación con su ubicación, se consideraron dos posibilidades distintas según que se emplace en el vaso de El Agujero o en el de El Limonero, cuestión que es relevante por la relación que existe entre ambas presas en situación de avenidas.

Con las condiciones anteriores se realizó un estudio de laminación de la avenida de proyecto –de 10.000 años de recurrencia–, que demostró, por un lado, que el emplazamiento idóneo para el nuevo aliviadero está en el vaso de El Agujero y, por otro, la gran capacidad de laminación que aporta el esquema aliviadero-túnel. Las consecuencias que, para la definición del esquema, se sacaron del estudio de laminación fueron:

- ▼ La longitud óptima del vertedero es de 10 m, lo que supone una capacidad de desagüe de 700 m³/s y una sección total del túnel de 9,5 m de diámetro y 70,8 m² de superficie



El Limonero.

▼ El Nivel de la Avenida de Proyecto de la presa de El Limonero se sitúa a la cota 113,35 , casi 5 m más bajo que el actual

▼ El resguardo de avenidas disponible en la presa de El Limonero es de 7,5 m, con el consiguiente incremento en la seguridad de la propia presa y, por ende, en la protección de Málaga

La problemática más delicada que presenta la solución adoptada para el túnel es su desagüe en el mar, en un entorno costero densamente poblado. El emplazamiento elegido, que resuelve cualquier afección no deseada, está próximo a Torre Paloma, en el paraje denominado *Peñón del Cuervo*, antes de la confluencia de la N-340 con la ronda de circunvalación E-902. El trazado del túnel entre el aliviadero y la obra de desagüe tiene una longitud de 11.177 m y, en plan-

ta, cuenta con dos alineaciones rectas, separadas por un tramo curvo de radio 5.000 m; la pendiente longitudinal disponible es constante e igual a 0,82 %, que posibilita un régimen hidráulico supercrítico que, en toda la conducción, se desarrolla en lámina libre.

La montera media del túnel es de unos 160 m, con un máximo de 430 m, en el cerro de San Antón; como en todo el tramo intermedio se presenta un mínimo de montera de 95 m, no será posible acometer la perforación del túnel por puntos de ataque intermedios. El tramo final dispone de una montera media de unos 50 m.

Los estudios realizados hasta la fecha demuestran la viabilidad de la solución descrita, a la vez que se configura como una actuación muy recomendable para aumentar la seguridad de la presa de El Limonero e incrementar la protección de la ciudad de Málaga frente a las avenidas del Guadalmedina. ■

Q-78 AUSCULTACIÓN DE PRESAS Y SUS CIMENTACIONES

Jürgen Fleitz

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ofiteco

RESUMEN

La mayoría de los artículos presentados para el XX Congreso del ICOLD se refieren a la Cuestión 78 que trata de la auscultación de presas y sus cimientos, lo que pone de manifiesto la creciente importancia de este tema para los titulares de presas en todo el mundo. Como tendencia general se puede observar que la evolución de la auscultación se caracteriza por el uso de nuevas tecnologías, especialmente en el campo de sistemas de adquisición de datos, software de presentación y análisis así como modelos de simulación y predicción. Los avances tecnológicos no reducen la importancia de las inspecciones visuales por personal cualificado, que siguen siendo fundamentales en la evaluación del comportamiento de una presa.

ABSTRACT

The majority of the articles presented at the XX Congress of the ICOLD referred to question 78 which dealt with the auscultation of dams and foundations, and goes to show the growing importance of this subject for dam owners throughout the world. The development of auscultation generally tends to be characterised by the use of new technologies, particularly in the areas of data collection systems and presentation and analysis software and in simulation and forecast models. However, these technical advances do not undermine the importance of visual inspections by qualified personnel, which continue to be fundamental in the evaluation of dam behaviour.

1. INTRODUCCIÓN

Por quinta vez en la historia de los Congresos Internacionales de Grandes Presas de ICOLD, se ha elegido el tema de la auscultación para ser tratada como "Cuestión 78" en las sesiones técnicas del XX Congreso, celebrado del 19 al 22 de septiembre de 2000 en Pekín, China. El título elegido para la Cuestión 78, en adelante Q. 78, es: "Auscultación de presas y sus cimentaciones."

En presente artículo pretende describir los principales asuntos tratados, tanto en los 85 artículos presentados y publicados en el tomo III de la documentación del Congreso como en las sesiones técnicas. El presidente de la Q. 78 fue el Dr. Jiao Yong (China), el vicepresidente D. Alejandro Pujol (Argentina) y el secretario D. Lu Zhengchao (China). El presentador (General Reporter) fue el Profesor Elmo Dibiagio (Noruega), que hizo una excelente presentación del tema

principal y los distintos aspectos tratados con detalle. A todos los ingenieros interesados en temas relacionados con la instrumentación de obras civiles en general, se recomienda la lectura del Informe General de Dibiagio, que se incluye al final del citado tomo III. En este informe no sólo se presenta un resumen general del contenido de los artículos presentados, sino también una recopilación del desarrollo de la instrumentación a lo largo del siglo XX. Se incluye un capítulo sobre el estado del arte actual y tendencias nuevas en el campo de sensores y sistemas automáticos de adquisición y proceso de datos. Como los artículos enviados contienen relativamente poca información sobre la fiabilidad del comportamiento de los sensores y componentes asociados, Dibiagio dedica un capítulo de su trabajo a este tema, analizando varios aspectos y consideraciones dirigidas a mejorar la calidad de las medidas y a optimizar el diseño de la topología de las redes de control.

El resumen recogido en el Informe General de las comunicaciones presentadas para la Q. 78, fue una ayuda importante para el presente artículo, ya que ocupan un total de 1420 páginas. Con mayor detalle se comentan los ocho artículos españoles.

2. LA IMPORTANCIA DE LA AUSCULTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS PRESAS

El correcto y seguro comportamiento de las presas es un asunto de extrema importancia para la seguridad de la población y la economía de un país. Por consiguiente resulta imprescindible disponer de medios de recogida de información que sea útil para evaluar el comportamiento y la seguridad de las presas. Para conseguir este objetivo, tradicionalmente los ingenieros de la especialidad de presas han recorrido a medidas directas en campo, es decir la técnica de monitorizar y cuantificar el comportamiento de estructuras y otras obras de ingeniería mediante medidas físicas. Programas de auscultación de presas han contribuido significativamente a los avances en el estado del arte de la ingeniería de presas del siglo XX. La siguiente lista de "Cuestiones" tratadas en anteriores congresos de ICOLD y relacionadas con instrumentación y auscultación de presas, indica claramente la importancia de esta actividad en la ingeniería de presas:

- ▼ Cuestión 9: Métodos e instrumentos para medir tensiones y deformaciones en presas de materiales sueltos y presas de hormigón, Estocolmo 1948
- ▼ Cuestión 21: Observaciones de tensiones y deformaciones en presas y sus fundamentos y estribos; comparación de estas observaciones con cálculos y ensayos de modelos reducidos, Nueva York, 1958
- ▼ Cuestión 29: Resultados e interpretación de medidas realizadas en grandes presas de todos los tipos, incluidas observaciones sísmicas, Edimburgo, 1964
- ▼ Cuestión 56: Auscultación de presas y cimientos, Lausana, 1985

De ninguna manera la importancia de la auscultación de presas está disminuyendo. La aparición de la informática en los años sesenta hacía posible realizar cada vez mejores predicciones analíticas avanzadas del comportamiento de presas. La primera sensación en aquella época era que se pudiera producir una menor atención a la instrumentación de campo, ya que la capacidad analítica había incrementada tremendamente. Sin embargo, realmente pasó lo contrario. Hoy en día la instrumentación es aún más importante como complemento para los métodos analíticos que en el pasado.

Con las medidas realizadas en campo, se puede analizar la validez de estas predicciones analíticas avanzadas, y es en este campo donde se encuentran las continuas mejoras del estado del arte de la ingeniería de presas.

3. ASPECTOS DE LA INSTRUMENTACIÓN TRATADOS EN LA Q. 78

Cuatro aspectos destacados de la auscultación de presas y sus cimientos fueron seleccionados para la Cuestión 78:

- ▼ 1. Sistemas de auscultación y tratamiento de datos con referencia especial a las instalaciones automáticas
- ▼ 2. Comparación del comportamiento observado con predicciones y simulaciones analíticas
- ▼ 3. Optimización de sistemas de auscultación, fiabilidad e incertidumbres en su explotación
- ▼ 4. La importancia de inspecciones visuales en comparación con la instrumentación

Ochenta y cinco (el 34,4%) de los 247 artículos presentados al XX Congreso del ICOLD han sido dirigidos a la Cuestión 78, por tanto ha resultado ser el tema más popular.

En la tabla 1 se presenta la distribución por países de los artículos presentados.

No era tarea fácil agrupar los artículos en los cuatro temas principales mencionados anteriormente, ya que muchos abarcan varios temas, mientras otros son difíciles de asociar con ninguno. No obstante el Informe General intenta este agrupamiento, tal como se refleja a continuación.

3.1. TEMA 1: SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS CON REFERENCIA ESPECIAL A LAS INSTALACIONES AUTOMÁTICAS

Treinta y dos artículos se refieren a sistemas automáticos de auscultación. A pesar de que estos artículos están relacionados o describen este tipo de sistemas, prácticamente

TABLA 1

Nº de artículos	País
8	España, Japón
6	Alemania
5	Brasil, Estados Unidos
4	Canadá, Francia, Marruecos, Suiza
3	Austria, Irán, Italia, Portugal, Reino Unido, Suecia
2	Australia, China, Polonia, República Checa, Venezuela, Yugoslavia
1	Bulgaria, Méjico, Nueva Zelanda, Noruega, Rumania, Rusia, Sudáfrica

ninguno da información sobre los problemas de su explotación. Implícitamente se puede sacar la conclusión –debido a las numerosas y positivas comparaciones con cálculos teóricos– que los datos suministrados por los sistemas de auscultación son de una calidad suficiente para llevar a cabo este tipo de análisis con buen éxito.

Sólo se comentan dos problemáticas de estos sistemas dignas de mención, aunque sólo sean pequeños detalles. No obstante, ponen de manifiesto dos aspectos importantes de los sistemas automáticos, y es por un lado la necesidad de “auscultar” el sistema de auscultación y por otro lado evitar que se puedan realizar modificaciones por personal no autorizado.

En el artículo R. 22, los autores Hughes y Lovenbury (Reino Unido) describen un sistema automático para controlar las obras de reforma de una presa de materiales sueltos destinada al abastecimiento de la ciudad de Manchester. Durante un mes se perdieron parte de los datos de auscultación por un fallo en el sistema automático de adquisición (datalogger). Finalmente se determinó que la causa del fallo era un fusible del circuito de alimentación. Aunque la pérdida de los datos no fue de una mayor importancia para el proyecto, la avería pone de manifiesto un importante aspecto: el intervalo de tiempo entre el momento en que se produce cualquier tipo de fallo o anomalía en un sistema automático hasta que sea detectado. Para evitar en lo posible o detectar estos problemas de funcionamiento del sistema, es imprescindible contar con el mantenimiento adecuado, tanto preventivo como correctivo. La tecnología disponible hoy en día facilita el control remoto del estado de los distintos componentes del sistema, permitiendo acortar sustancialmente el tiempo de respuesta del mantenimiento correctivo. Se puede concluir que no se trata de un problema técnico (excepto los casos de sistemas muy sofisticados con una susceptibilidad muy alta de fallar o sistemas con deficiencias en su diseño, como puede ser la falta de protecciones adecuadas contra sobretensiones), sino de un problema de organización; de prever no solamente el proyecto y la ejecución de un sistema de auscultación, sino también su correcto mantenimiento.

El segundo ejemplo se refiere a copias de seguridad de datos adquiridos por un sistema automático. En el artículo R. 56 de los autores Boncompain y Capelle (Canadá), se describe un sistema de control distribuido para auscultar a 20 presas en 10 localizaciones geográficas distintas. Se comenta que el programa de adquisición de datos fue diseñado inicialmente muy abierto, dando mucho margen de maniobra al operador a la hora de validar los datos. Este margen de maniobra creó problemas y fue necesario modificar el software para que se requiriese menos intervención de parte del operador. Este aspecto se puede convertir a menudo en un problema, pero se puede evitar con el adecuado diseño del software de adquisición y tratamiento de datos y mediante unas claramente definidas manuales de operación.

3. 2. TEMA 2: COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO OBSERVADO CON PREDICCIONES Y SIMULACIONES ANALÍTICAS

Treinta y un artículos se refieren a modelos numéricos y simulaciones matemáticas del comportamiento observado.

El tema 2 trata la comparación del comportamiento observado de una presa con las predicciones obtenidas a través de modelos numéricos. Los principales objetivos de estos estudios son la verificación del comportamiento previsto en el proyecto y el análisis de las posibles causas de anomalías detectadas durante la construcción o explotación de una presa. La combinación de medidas de auscultación y análisis matemático proporciona una herramienta potente para la evaluación de la seguridad de una presa.

La mayoría de los artículos relacionados con la simulación del comportamiento de presas tratan temas específicos de los siguientes tipos:

- ▼ Inestabilidad de taludes de presas de materiales sueltos o laderas de embalse
- ▼ Subpresiones altas
- ▼ Filtraciones
- ▼ Problemas de pantallas de impermeabilización
- ▼ Deformaciones irreversibles, desplazamientos grandes y asientos
- ▼ Fisuras
- ▼ Distribución de temperaturas en el cuerpo de presas

En líneas generales se puede deducir de los artículos presentados, que la calidad de las predicciones es suficientemente buena, es decir que hoy en día con los medios informáticos disponibles y los conocimientos sobre el comportamiento de los materiales, especialmente en el caso de materiales sueltos con un comportamiento elástico no lineal, se está en condiciones de simular satisfactoriamente el comportamiento de una presa y por tanto evaluar su seguridad.

La mayoría de los artículos españoles trata sobre este tema. A continuación se resume el contenido principal de estos cinco artículos.

3.2.1. La presa bóveda de Las Cogotas

Las tensiones deducidas de los extensómetros de hormigón de la presa bóveda de Las Cogotas es el tema del artículo R. 46, presentado por Marciano Guerreiro, Ricardo Fernández Cuevas (ambos Ingenieros Consultores), Moisés Rubín de Célix Caballero (Ministerio de Medio Ambiente) y Isidro Lázaro Martín (Confederación Hidrográfica del Duero). Se trata de un minucioso análisis de los datos de auscultación de esta presa de una altura desde cimientos de 66 m. Se estudian los datos procedentes de varios grupos de extensómetros de cuerda vibrante y termómetros. La mayoría de los extensómetros se ha-

lla en las proximidades de los paramentos (a aproximadamente un metro de la superficie) con excepción de cuatro ubicaciones cercanos a la coronación, donde se encuentran en el centro de la sección. Se describen los resultados obtenidos en distintas fases, como cuando el embalse estaba vacío y antes de inyectar las juntas (marzo –septiembre 1990), con la misma situación de embalse vacío pero después de inyectar las juntas (febrero –septiembre 1992) y finalmente la primera puesta en carga (noviembre 1993– febrero 1994). Se presentan 14 figuras con los estados tensionales, variaciones de temperatura y variaciones volumétricas del hormigón para distintas fechas.

Como se puede observar en la figura 1, para el embalse vacío se registran sorprendentemente tracciones en las zonas centrales de la coronación, tanto aguas arriba como aguas abajo, provocadas por calentamiento, lo que constituye una contradicción si se compara con el cálculo estructural. Se contrastan las diferencias térmicas producidas en dos intervalos de tiempo, el de febrero-agosto 1992 y marzo-septiembre 1992. A consecuencia de los cambios térmicos entre febrero y agosto de 1992 (y con el embalse vacío) se produce un mayor movimiento de la presa hacia aguas arriba. Según el modelo de cálculo, tal movimiento provocaría mayores tracciones subnormales y compresiones subparalelas a la cimentación. Los registros de los extensómetros confirman las mayores compresiones, pero presentan menores tracciones que en el intervalo marzo-septiembre. Los autores opinan que los mayores gradientes de temperatura producidas en el intervalo febrero-agosto, producen compresiones que se superponen a las tracciones producidas por el movimiento de la presa hacia aguas arriba. El estado más crítico para la presa es cuando se minimiza este efecto de superposición y las tracciones llegan a valores importantes. Relacionado con este hecho, los autores expresan sus críticas a los métodos habituales de cálculo: *"...los gradientes térmicos son muchas veces ignorados en ellos y resultan, sin embargo, mucho más poderosos generadores de tracciones que los simples incrementos térmicos"*.

Por consiguiente las conclusiones básicas de los autores hacen hincapié en la importancia de un correcto análisis de los datos suministrados por un sistema de auscultación de una presa, para comprender su comportamiento y opinan que los

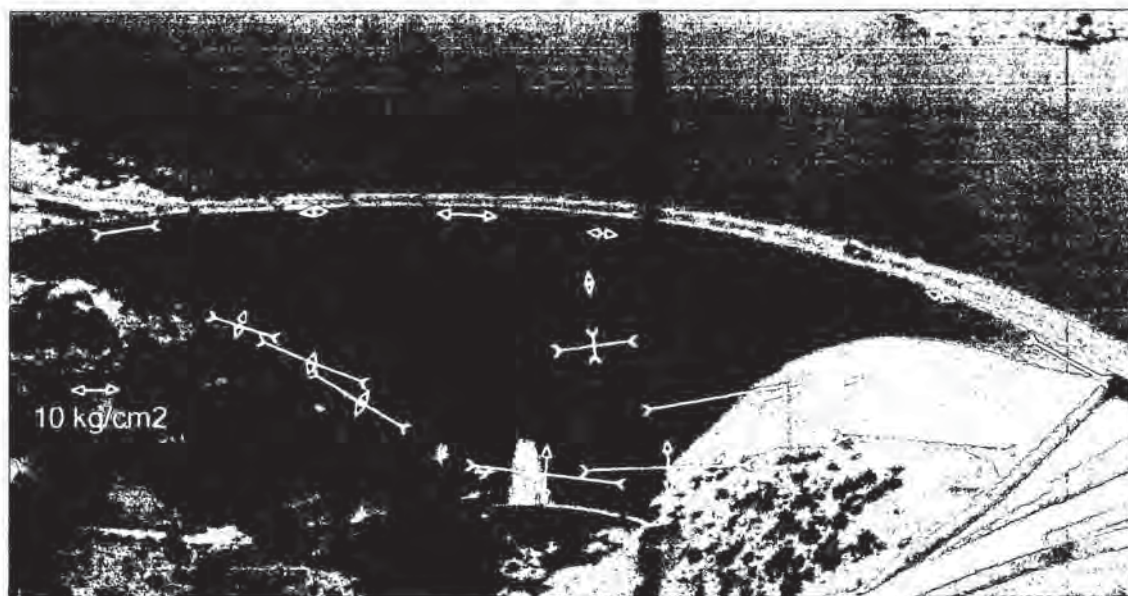


Figura 1: Tensiones aguas abajo por calentamiento con embalse vacío, febrero-agosto 1992.

modelos de cálculo "marginan, por muy complejos y completos que parezcan, importantes parcelas de comportamiento estructural, de transcendentales repercusiones para la obra".

3.2.2 Reconocimientos geológicos y geofísicos de la presa de Rules

El artículo R. 48 de Miguel Fernández-Bollo (S.R.G.) y Antonio Nevot (Confederación Hidrográfica del Sur) trata sobre los reconocimientos geológicos de la cimentación de la presa de Rules.

La presa de Rules es una presa bóveda con una altura de 140 m, situada en el río Guadalfeo en la provincia de Granada. Por su situación geográfica en una zona de sismicidad media, es especialmente importante garantizar un muy buen contacto entre la presa y la roca del cimientó. Por este motivo se realizó un reconocimiento geológico detallado de la fracturación del macizo rocoso, inmediatamente antes de colocar las primeras capas de hormigón. Además se llevó a cabo una inspección geofísica que consistió en la exploración de la microsismicidad de la zona del cimientó por medio de los registros de un total de diez sismógrafos distribuidos en aproximadamente 20 alineaciones distintas en la zona de la margen izquierda.

En el estudio geológico se llegaron a identificar las principales fracturas existentes en la roca del cimientó y con las velocidades de propagación registradas con los sismógrafos durante una serie de cinco ensayos por cada alineación, se pudo ajustar un modelo sobre la elasticidad del terreno.

La bondad del modelo se presenta gráficamente (fig. 2) en la comparación de las dromocronas (líneas continuas que representan en la abscisa la distancia y en la ordenada el tiempo

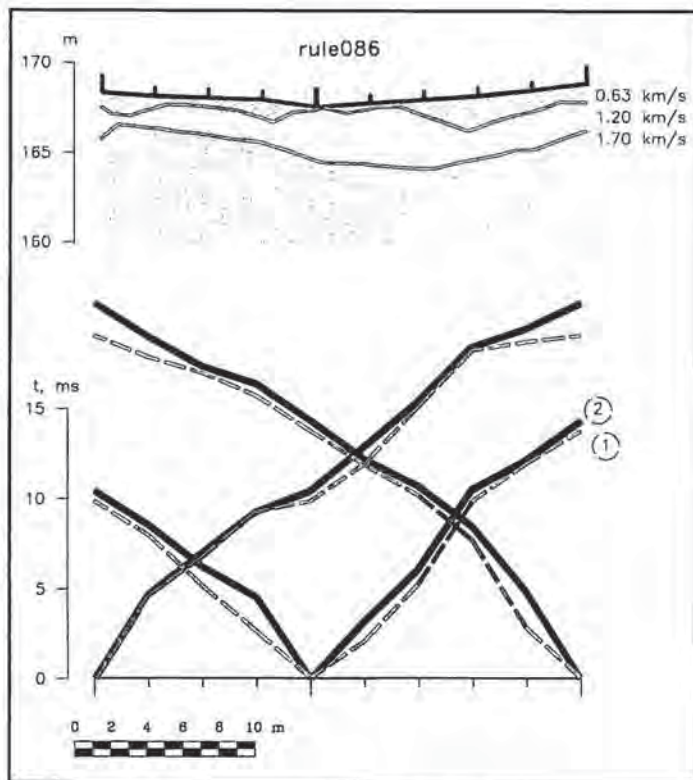
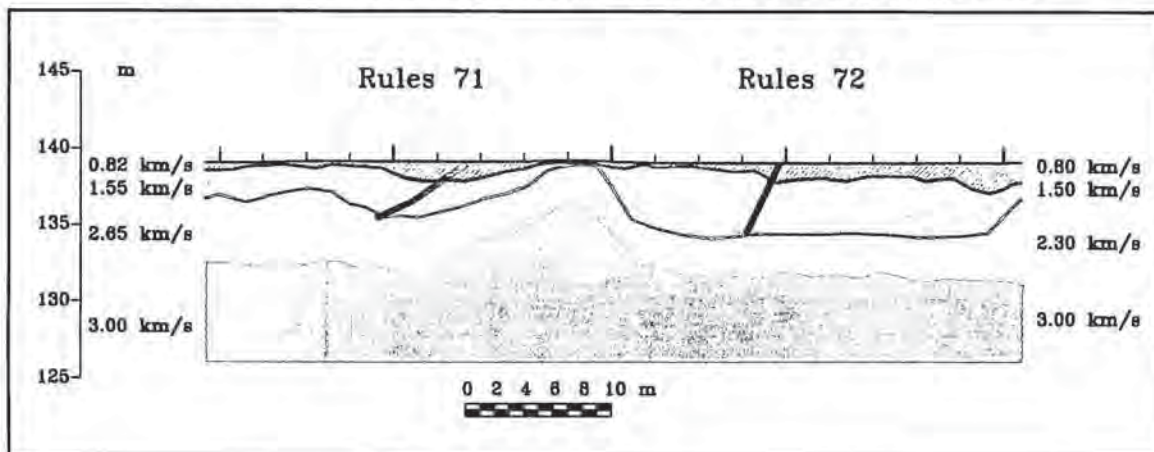


Figura 2: Comparación de los resultados de los ensayos microsísmicos (1) con el modelo elástico del terreno (2).

de recorrido de una onda elástica de compresión) generadas por el modelo que utiliza distintos módulos de elasticidad por capa y las obtenidas directamente por los ensayos microsísmicos.

El artículo concluye con la comparación de los resultados de ambos métodos, comentando que ambos son válidos como método de reconocimiento del cimiento antes de colocar el hormigón.

Figura 3: Fracturas principales detectados por el estudio geológico y relación con el modelo elástico calibrado con los resultados de los ensayos microsísmicos.



Contrastando los resultados de ambos métodos, se puede observar que las fracturas coinciden con las zonas de mayor alteración y decompresión detectadas en los ensayos geofísicos (fig. 3).

Los autores recomiendan la inspección geológica del cimiento inmediatamente antes de iniciar las obras de hormigonar, ya que aporta informaciones muy válidas sobre la estructura y configuración del macizo rocoso. Con un reconocimiento geofísico mediante refracción microsísmica y el correspondiente análisis de los datos así obtenidos por medio de un modelo elástico, se pueden obtener perfiles que coinciden muy satisfactoriamente con los resultados del reconocimiento geológico y permiten definir con detalle suficiente la campaña de inyecciones de la zona del contacto hormigón-roca.

De esta manera se puede garantizar una estructura elástica homogénea y por consiguiente un estado de tensiones favorable en el contacto presa-cimiento.

3.2.3. Los asentamientos de la presa de Yeguas

Los asentamientos de la presa de Yeguas durante y después de su construcción es el tema del artículo R. 49 presentado por José L. Justo, Agustín Pastor, Stéphanie Lemerrier, Enrique Justo y Percy Durand (Universidad de Sevilla y Confederación Hidrográfica del Guadalquivir).

Se trata de una presa de materiales sueltos de 87 m de altura con núcleo central de arcilla, que ha sufrido importantes asentamientos. Cuatro meses y medio después de terminar su construcción, los asentamientos en coronación eran superiores a un metro, obligando a realizar recrecimientos del mismo orden. Once años y medio después de aquel recrecimiento, la coronación ha asentado unos 90 cm más. En la actualidad se siguen produciendo asentamientos. El artículo describe el ajuste de un modelo tridimensional de elementos finitos para analizar el comportamiento tenso-deformacional de la presa y simular los asentamientos producidos durante y después de la construcción. También se

quiere estudiar el efecto del llenado del embalse para la estructura y la eventual posibilidad de una fisuración del núcleo impermeable.

Para la calibración del modelo se dispone de las lecturas del sistema de auscultación compuesto por células de asiento y de presión total, piezómetros e inclinómetros.

Se formulan varias leyes alternativas sobre

la disminución del módulo de elasticidad con el tiempo (fluencia de materiales) para tener en cuenta los factores reológicos o propiedades plásticas de los materiales.

El cálculo se realiza en etapas, simulando el avance del proceso constructivo. Se supone un comportamiento elástico lineal de los materiales para compresiones, la resistencia a tracción de los materiales granulares se anula según el método de Zienkiewicz.

En primer lugar se analiza el proceso constructivo. En los primeros cálculos se utilizan los valores de módulos de elasticidad procedentes de los ensayos de los distintos materiales. Para mejorar los resultados se varían los módulos con el fin de reproducir con el modelo los asientos medidos al final de la construcción de la presa. Finalmente se obtiene una muy buena modelización, como demuestran las comparaciones gráficas (fig. 4) de los asientos medidos y calculados en cuatro verticales (dos en el núcleo de arcilla, una en el espaldón de aguas arriba y una en el espaldón de aguas abajo). Cabe comentar que los módulos optimizados son del mismo orden de magnitud que los obtenidos en ensayos, en la condición saturada de humedad, salvo en el espaldón de aguas arriba, donde el del modelo es inferior. En el mismo espaldón de aguas arriba se producen los asientos absolutos más grandes, hecho que se justifica con un colapso de los materiales producido por la subida del embalse que tuvo lugar al final de la construcción.

En un paso posterior se han ajustado las leyes de fluencia de los materiales, comparando los asientos medidos 136 días después de la terminación de la presa. La mejor coincidencia de valores medidos y calculados se ha obtenido con las mismas leyes de fluencia para los materiales del núcleo y espaldones. Como para el cálculo anterior, se adjuntan gráficas de comparación de asientos medidos y calculados, que demuestran la bondad del modelo tridimensional de elementos finitos.

3.2.4. Control de deslizamientos de la presa de Giribaile

José Martín Pérez (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), Antonio Soriano Peña (Universidad Politécnica de Madrid), Manuel Valderrama Conde y Jesús González Galindo (ambos de Ingeniería del Suelo S.A.) comentan en su artículo R. 53

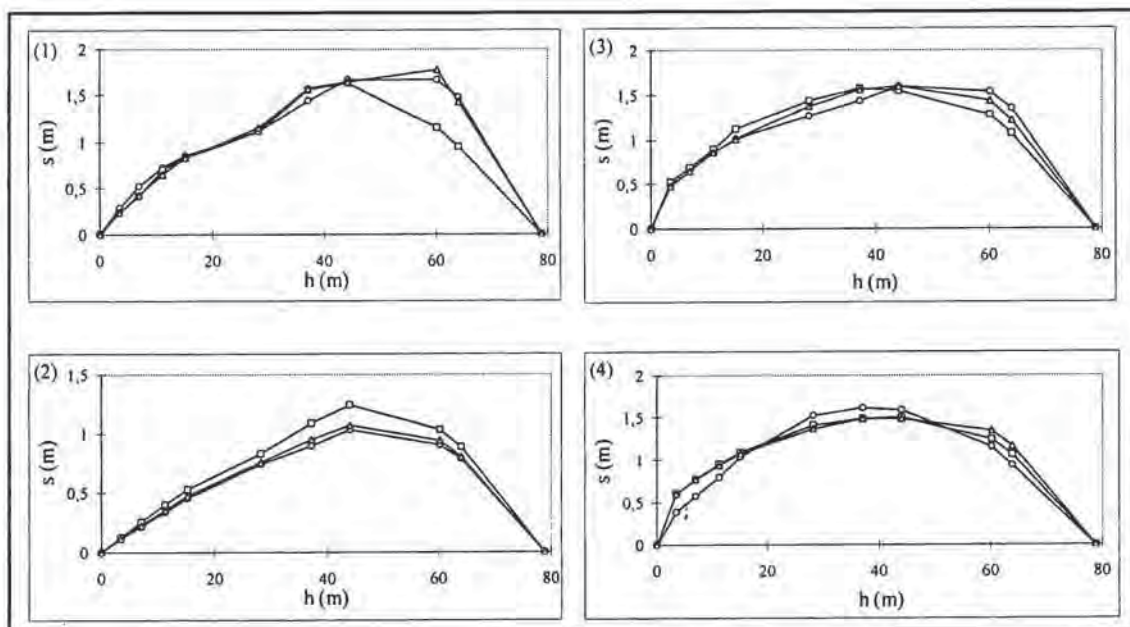


Figura 4: Comparación entre asientos medidos y calculados a final de construcción en cuatro verticales: (1) espaldón de aguas arriba, (2) espaldón de aguas abajo, (3) y (4): núcleo. El símbolo $\diamond$ se refiere a asientos medidos, los demás a asientos calculados.

el comportamiento de la presa de Giribaile durante su construcción. La presa se encuentra en el río Guadalimar, situada en la provincia de Jaén, es de materiales sueltos con una altura de 90 m desde la cimentación y crea un embalse de 475 hm³. El elemento impermeable de la presa está formado por un núcleo central de arcilla, procedente de préstamos próximos a la obra, los espaldones se componen de gravas del río y los taludes se han protegido con una capa de escollera.

Durante la construcción de la presa se produjeron varias incidencias. En muchas de ellas el extenso sistema de auscultación sirvió para interpretar y analizar la situación de la obra, lo que facilitó el proyecto de soluciones.

La sección tipo de la presa es muy particular como se puede apreciar en la figura 5

El proyecto original preveía realizar una pantalla de inyecciones para impermeabilizar el cimient. Durante el inicio de las obras, los primeros ensayos indicaron que el tipo de areniscas de la cimentación no garantizaba conseguir una impermeabilización suficiente. Por este motivo se optó por extender una capa de arcilla por debajo del espaldón de aguas arriba desde el núcleo central hasta el núcleo de la ataguía, con el fin de alargar los caminos de filtración. Esta medida conllevó modificar el talud del espaldón de aguas arriba de 2,1 H : 1 V a 2,3 H : 1 V en base a un cálculo de estabilidad, suponiendo determinadas presiones intersticiales máximas en la capa de arcilla. Las experiencias posteriores demostraron que la hipótesis sobre las presiones intersticiales fue optimista, es decir que en la realidad fueron más altas.

Durante su puesta en obra, la arcilla tenía un contenido de agua próximo al de la saturación, es decir el material resultó ser

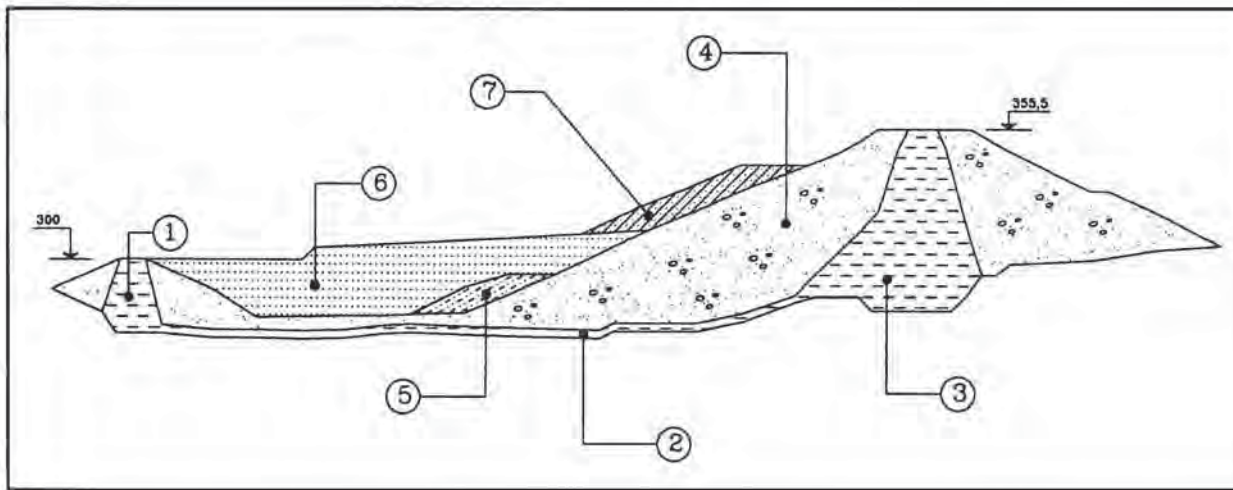


Figura 5:
Sección transversal de la presa:
(1) Atagüía,
(2) Capa de arcilla,
(3) Núcleo de arcilla,
(4) Espaldones de grava,
(5) Primer refuerzo,
(6) Segundo Refuerzo,
(7) Tercer refuerzo.

muy blando, dificultando el movimiento de vehículos durante la construcción. Como consecuencia del alto grado de humedad, se generaron unas presiones intersticiales muy altas, con niveles muy por encima de la distancia vertical entre piezómetro y superficie de construcción.

En octubre de 1993 se observaron movimientos de una magnitud desproporcionada. En este momento faltaron unos 20 m para llegar a la cota de coronación y se rompieron las conducciones de las células hidráulicas de asiento. Por levantamientos topográficos se pudieron registrar desplazamientos horizontales en el talud del espaldón de aguas arriba (en dirección hacia aguas arriba) muy grandes, del orden de 1 m por mes. Los movimientos del espaldón de aguas abajo eran mucho menores, del orden de pocos centímetros por mes. Se estima que los asentamientos máximos verticales alcanzaron hasta 4 m a finales de noviembre de 1993. Se tenía que interrumpir la construcción, ya que la colocación de las nuevas tongadas produjo asentamientos del orden de casi el espesor de la tongada.

Se revisó la estabilidad del espaldón de aguas arriba, y se optó por la construcción de una berma de apoyo, que luego se extendió entre la presa y la atagüía. Después de realizar estas medidas, se reanudaron las obras de la presa principal y en mayo de 1994 sólo faltaron 4 m hasta la cota de coronación. Por razones no técnicas se interrumpieron las obras de la presa principal hasta mayo de 1996. Mientras, se decidió construir un tercer refuerzo e iniciar una campaña de inyecciones desde la galería longitudinal de la presa, con el fin de mejorar la cimentación, considerada poco estable frente a los altos gradientes hidrostáticos que provocaría el futuro embalse lleno.

La campaña de inyecciones provocó otro incidente: la aparición de lechada de cemento procedente de las inyecciones en la coronación de la presa a través de una fisura vertical.

El artículo describe las simulaciones matemáticas del comportamiento de la presa en distintas fases de su construcción y para distintas hipótesis del estado de las presiones intersticiales en la capa de arcilla por debajo del espaldón de aguas arriba. Se incluyen gráficas con la distribución de las presiones

intersticiales, asentamientos y desplazamientos horizontales. Se observa que las deformaciones calculadas por el modelo, aumentan conforme que se incrementan las presiones intersticiales en la capa de arcilla.

Las conclusiones principales, obtenidas a partir de los datos de auscultación y la interpretación de los cálculos realizados, son las siguientes:

- ▼ La inestabilidad del espaldón de aguas arriba durante la fase de construcción se produce por el aumento temporal de las presiones intersticiales en la capa impermeable de arcilla y por las presiones intersticiales altas desarrolladas de manera más permanente en el núcleo.
- ▼ Si el ritmo de las obras hubiese sido menos rápido, no se hubiera producido esta inestabilidad. Las presiones intersticiales en la capa de arcilla prácticamente se disiparon en pocos años.
- ▼ Los refuerzos estructurales y el aplazamiento del final de la construcción, fueron medidas suficientes para conseguir un estado seguro de la presa, justo antes de iniciar su llenado.
- ▼ Las previsiones del comportamiento futuro de la presa durante el llenado del embalse e incluso en caso de desembalses rápidos, apuntan a coeficientes de seguridad aceptables.

A pesar de estas conclusiones, se recomienda un llenado lento y una continua y detallada auscultación de la presa.

3.2.5. La auscultación de la presa de Tous

José Luis Utrillas Serrano (Confederación Hidrográfica del Júcar) y José Manuel Sampedro Quijano (Ingeniería de Instrumentación y Control) escriben en el artículo R. 54 sobre la auscultación de la presa de Tous, situada en el río Júcar y construida sobre los restos de otra más antigua que fue destruida por la conocida avenida de Octubre de 1982.

Se trata de una presa de materiales sueltos con núcleo de arcilla y espaldones de escollera. La altura de la presa sobre cimientos es de 135,5 m, la cota de coronación es la 162,50 msnm y su longitud 1.024 m.

Para la construcción de la nueva presa se aprovecharon algunos elementos de la antigua presa: bloques de hormigón de las márgenes, desagüe de fondo, así como la zona inferior del núcleo de la antigua presa que no había sufrido daños por la riada y que ha pasado a formar parte del núcleo actual.

La importancia de la presa debido a su gran riesgo potencial para el valle del Bajo Júcar junto con la problemática específica de que se ha construido sobre los restos de la presa anterior, han dado lugar a un sistema de auscultación mucho más sofisticado de lo habitual para presas de dimensiones similares.

Para facilitar la explotación del complejo sistema de auscultación, que además del cuerpo de presa se extiende a estructuras anexas como el desagüe intermedio, puente del aliviadero, etc. y también incluye una red de acelerometría con siete puntos de control, ubicados alrededor del embalse para detectar la sismicidad natural y la inducida posteriormente por el llenado del embalse, se ha instalado un sistema automático de adquisición de datos.

En el artículo se describe con detalle el sistema, indicando el tipo de sensores y controles, el número de equipos y su ubicación.

Los autores mencionan las siguientes ventajas de la implantación de un sistema automático de adquisición de datos:

- ▼ Facilitar la realización de lecturas que en el caso de la presa de Tous, debido al número elevado de sensores y en algunos casos a su complejidad es especialmente laboriosa.
- ▼ Permitir la observación prácticamente en tiempo real en situaciones especiales, principalmente en caso de avenidas.
- ▼ Agilizar el proceso de elaboración y gestión de la información.
- ▼ Integrar en un único centro de control, tanto la información dada para la auscultación de la presa, y las redes de sismicidad y acelerometría como la relativa al estado de las válvulas y compuertas de los desagües y tomas de la presa y los caudales aforados.

El resultado obtenido con la instrumentación de la presa de Tous se puede considerar muy satisfactorio. Los equipos han



Figura 6: Zonas de contacto entre los bloques de hormigón de la antigua presa y el nuevo núcleo de arcilla.

funcionado en general correctamente, prueba de ello es que en la actualidad siguen en servicio un porcentaje mayor del 90% de ellos.

Las incidencias más importantes han sido la pérdida de las células de asiento instaladas en la cota 80 debido al corte por cizalla de los tubos en la zona de contacto hormigón-arcilla del núcleo y la puesta fuera de servicio de algunos extensómetros de gran base potenciométricos, atribuible a la entrada de humedad en el sensor, falseando las lecturas.

En cuanto a la pérdida de las células de asiento, no hace más que confirmar la necesidad de extremar las precauciones cuando las conducciones atraviesan la presa, pasando por zonas de diferente deformabilidad.

Se recomienda utilizar extensómetros de gran base de cuerda vibrante para evitar los problemas que la humedad puede provocar a medio y largo plazo en los extensómetros dotados de transductores potenciométricos.

Los autores opinan que los espectaculares avances de la electrónica y la informática han logrado que los sistemas de adquisición de datos sean cada vez más eficaces y de gran ayuda tanto para agilizar el proceso de ejecución de las lecturas como para facilitar su tratamiento y presentación posterior.

Como conclusión se puede apuntar, que una gran parte del éxito de la auscultación están en la planificación y coordinación de los trabajos que conlleva y que se debe tener en cuenta que la auscultación es un proceso complejo con diversas fases: proyecto, suministro de equipos, instalación, realización de lecturas y redacción de informes, que tienen que llevarse a cabo correctamente para que su resultado sea el deseado.

En su intervención durante la sesión técnica, José Luis Utrillas aprovechó para hacer un comentario crítico respecto a la red de acelerometría. Según su experiencia, el coste de los equipos y el de su mantenimiento y control es muy elevado en relación con los resultados que se pueden obtener.

3.3. TEMA 3: OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN, FIABILIDAD E INCERTIDUMBRES EN SU EXPLOTACIÓN

Veintitrés artículos tratan el diseño de sistemas y la fiabilidad de equipos de auscultación.

Sobre el primer asunto, la optimización de sistemas de auscultación sólo hay siete comunicaciones, que abarcan los siguientes aspectos tecnológicos importantes:

- ▼ Control distribuido para la adquisición de los datos
- ▼ Redes locales y remotas
- ▼ Uso de distintos medios de comunicación de datos (líneas telefónicas, GSM, radio digital y fibra óptica) entre unidades remotas y el centro de control
- ▼ Transmisión de datos por Internet
- ▼ Sistemas de software para la gestión de los datos
- ▼ Control de accesos y sistemas contra intrusismo

3.3.1. El control automatizado de la auscultación de seis presas del Guadalquivir

Entre las siete comunicaciones citadas se encuentra el artículo R. 45 de Angel Pérez Saiz, Armando Molina Pérez (ambos de OFITECO) y Agustín Argüelles Martín (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), que comentan el diseño y la imple-

mentación de un sistema de información para el control automatizado de la auscultación y la gestión del mantenimiento de seis presas situadas en la cuenca del Guadalquivir.

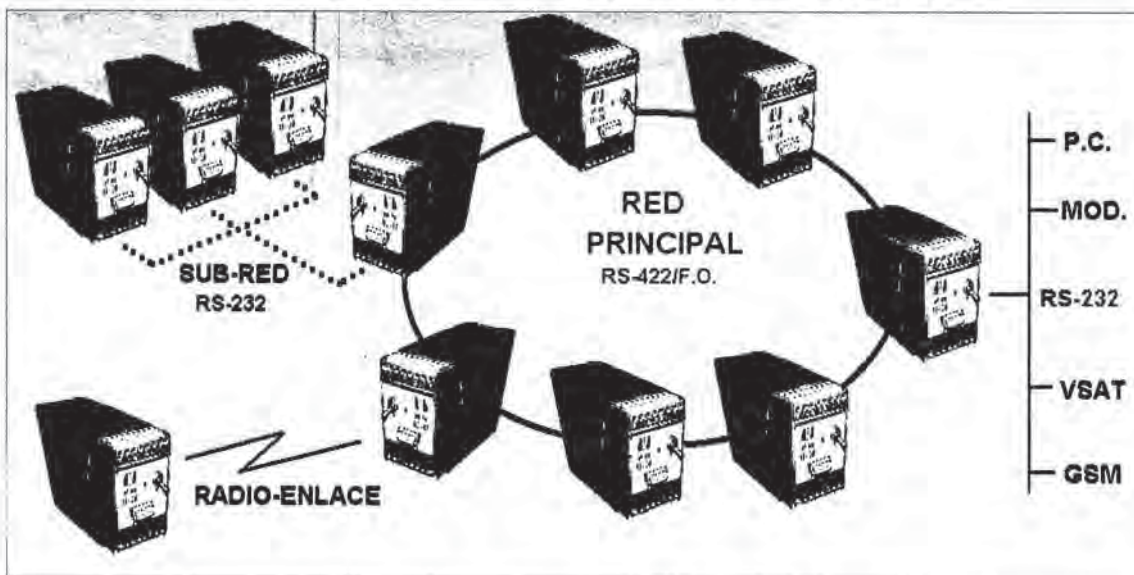
Se ha elegido un sistema de control distribuido, instalado en cada presa. Este control distribuido consiste en disponer varias unidades de adquisición de datos, denominadas Transductores Inteligentes (TI) con las siguientes características:

- ▼ Basado en un microcontrolador "monochip" que integra todas las prestaciones de un sistema independiente de adquisición de datos
- ▼ Integra todos los dispositivos de hardware necesarios para adquirir correctamente las señales eléctricas procedentes de los distintos sensores
- ▼ Convierte las señales recibidas en unidades ingenieriles, aplica fórmulas de conversión no lineales, obtiene variables calculadas en base a las medidas de uno o varios sensores, calcula medias, máximas y mínimas, almacena los datos obtenidos, genera avisos cuando se superan los valores máximos o mínimos o se pasa de determinados incrementos, varía su modo de operación en función del estado de los avisos y se comunica en red con otros equipos informáticos
- ▼ Incorpora dos puertos de comunicación (RS 422 y RS 232)
- ▼ Incluye una memoria no volátil para configuración de parámetros y almacenamiento de datos
- ▼ Incorpora reloj y calendario
- ▼ Ejecuta comandos y funciones de autochequeo

En cada presa los sensores del sistema de auscultación están conectadas a los Transductores Inteligentes, lo que

ha supuesto un importante ahorro en el coste de la instalación, no sólo por la reducción de la longitud de cableado (los TI se comunican vía protocolo RS 422 por un cable de dos pares), sino también por la optimización de la inversión en equipos, como consecuencia de un mejor ajuste del dimensionamiento del sistema implantado a las necesidades de cada presa, lo que se podía conseguir gracias al alto grado de modularidad del sistema distribuido.

Figura 7: Ejemplo de una red formado por Transductores Inteligentes TI.



Cada presa funciona como unidad independiente, dotado de un ordenador con el software necesario para realizar lecturas y tratar los datos suministrados por el sistema. Existe un total de 181 sensores, incluyendo péndulos, piezómetros, células de presión total, extensómetros de hormigón, extensómetros de suelos, extensómetros de varillas, termómetros de hormigón, medidores de juntas, aforadores, sensores meteorológicos y niveles de embalse.

Cada presa a su vez forma parte de una red controlada por un Centro de Operación, ubicado en Sevilla. Además existe la posibilidad de un acceso remoto vía módem.

Cabe destacar el software específico desarrollado para la adquisición y el tratamiento de los datos de auscultación, que se ha compatibilizado con programas comerciales de ofimática, planificación y bases de datos.

El programa GESRETI permite consultar en tiempo real los datos de la red de sensores y gestiona los volcados de la información almacenada en los TI al servidor principal. GESRETI realiza una validación de los datos que a partir de este proceso de validación se consideran históricos y pasan a tratamientos posteriores.

DAMDATA realiza un primer tratamiento de los datos, no sólo elaborando distintas listas, tablas o representaciones gráficas con la evolución de las distintas variables, sino también calculando variables derivadas y estableciendo comparaciones entre ellas.

Las variables de control más importantes reciben un tratamiento estadístico, utilizando el modelo AUSMODEL, que permite diferenciar los distintos factores de influencia que actúan sobre la variable en cuestión (factor térmico, variación del nivel de embalse, efectos irreversibles, etc. y conocer sus tendencias y sus futuros rangos de fluctuación.

El uso conjunto de estas herramientas por ingenieros experimentados permite detectar de forma rápida y sistemática anomalías en el comportamiento de la obra.

Finalmente conviene mencionar un comentario de los autores, repetido en muchas comunicaciones: la automatización completa de los sistemas de auscultación no debe eliminar las habituales y periódicas inspecciones visuales de las presas y obras auxiliares. Estas observaciones siguen siendo igual de importantes que antes, ya que ningún sensor puede sustituir los ojos de un cualificado técnico.

3.3.2. La fiabilidad de los sistemas de auscultación

16 artículos comentan las experiencias con la fiabilidad de los sistemas. El Informe General recomienda estudiar dos tablas que se presentan en los artículos R. 13 y R. 56. El artículo R. 13 de Ruiz, Bastidas y Choudry (Venezuela) incluye una tabla con las estadísticas de fallo para un total de 1942 equipos, formados por 22 tipos de sensores distintos. El artículo R. 56 incluye una tabla con una estadística sobre fallos de seis sensores distintos producidos por tormentas eléctricas.

3.4. TEMA 4: LA IMPORTANCIA DE INSPECCIONES VISUALES EN COMPARACIÓN CON LA INSTRUMENTACIÓN

Muchos artículos subrayan la importancia de las observaciones visuales de presas y se dan varios ejemplos de anomalías en el comportamiento detectadas por la inspección visual y no por el sistema de auscultación.

Tres artículos se refieren específicamente a la importancia de las inspecciones visuales, dos de ellos son comunicaciones españolas.

3.4.1. Experiencias de IBERDROLA en la inspección visual de presas

Jesús Cajete y Arturo Gil (ambos de IBERDROLA) describen en la comunicación R. 47 la experiencia en la auscultación de 70 grandes presas, la mayoría de ellas construidas con hormigón, de propiedad de IBERDROLA. Se propone una sistemática de las inspecciones visuales, no con el fin de sustituir la auscultación por equipos de instrumentación, como se podría mal entender la definición literal del tema 4 en el Informe General ("La importancia de inspecciones visuales en comparación con la instrumentación"), sino como una valiosa información complementaria.

Se parte del hecho que en todas las actividades relacionadas con una presa, desde el estudio previo pasando por el proyecto, la construcción y finalmente la explotación, se va acumulando una gran carga de información visual, que debería ser registrada y documentada sistemáticamente y acompañar para siempre al conocimiento de la obra.

Se comenta que habitualmente las visitas de los ingenieros a las presas se documentan de forma escueta, únicamente indicando la fecha y la inexistencia de variaciones significativas, sin considerar que los pequeños cambios continuos, de lento desarrollo, alteran las situaciones de forma importante a medio o largo plazo.

Se propone la adopción sistemática de una guía o cuestionario a cumplimentar en cada una de las visitas de inspección. El artículo incluye una amplia lista de elementos y fenómenos a inspeccionar, que abarca datos generales, fisuras, filtraciones, juntas, discontinuidades geométricas, aliviaderos, desagües y tomas, dispositivos y equipos electromecánicos, paramentos, inspecciones subacuáticas, galerías y pozos, embalse, deslizamientos, línea del perímetro del embalse, taludes, cauce de aguas abajo, obras de fábrica, obras y servicios auxiliares. Para cada punto se pide una determinada información detallada, que ayuda a definir las observaciones de una manera precisa.

En el artículo se mencionan algunos ejemplos de presas, donde a través de la inspección visual se han detectado ciertos defectos. Se comentan daños por cavitación en el revestimiento del túnel de descarga del aliviadero de la presa

de Aldeadávila, donde se alcanzan en los meses húmedos de invierno caudales de hasta 10.000 m³/s con velocidades de 20 m/s. En la presa de San Esteban se detectó un fenómeno expansivo del hormigón de un bloque, que se manifestó por una discontinuidad en una barandilla justo a la altura de una junta entre dos bloques. Esta observación visual originó varios estudios de detalle, que determinaron la causa y definieron una serie de medidas a realizar, entre ellas una campaña de inyecciones.

El estado del paramento de aguas abajo de una presa no es solamente una cuestión de estética. Especialmente en las presas situadas en Galicia, la mezcla de excrementos de pájaros, polvo y humedad favorece el crecimiento de vegetación, especialmente musgo, que dificulta la inspección visual de la superficie de hormigón. Se recomienda proceder a una limpieza periódica y en caso de presas nuevas incluso sellar las porosidades de la superficie con productos epoxídicos o lechada de cemento.

Otro aspecto importante para los responsables de la explotación de una presa es la inspección periódica del cauce de aguas abajo, comprobando que no existan obstrucciones para la evacuación de caudales elevados, invasiones por construcciones, actividades agrícolas o de ocio (campamentos) o un exceso en vegetación riparia que en caso de avenidas podría ser arrastrado, acumulándose en puentes y estrechamientos y provocando puntos de riesgo.

En general se recomienda recurrir para las tareas de inspección a la utilización de fotografías y videos o al levantamiento de croquis representativos de las fisuras, filtraciones, humedades, etc., que permitiría juzgar la evolución de un fenómeno a medio y largo plazo.

También se hace mención de la posibilidad de utilizar tecnologías modernas, como es la cartografía numérica apoyada por ordenador, que permite un registro detallado de los accidentes detectados.

3.4.2. La inspección visual y extensómetros de cuerda vibrante

Rodrigo del Hoyo Fernández Gago de UNIÓN FENOSA aporta también una comunicación (R. 50) referente al tema 4, titulada "La inspección visual y los extensómetros eléctricos en la auscultación y control de la seguridad de las presas."

Igual que Cajete y Gil hace hincapié en la importancia de las inspecciones visuales, que permite interpretar una serie de características que no son fácilmente traducibles en magnitudes medibles. También incluye una lista de elementos a inspeccionar y la recomendación de documentar las observaciones visuales de forma sistemática con fotografías periódicas, tomadas siempre desde el mismo punto de vista.

Se comentan tres ejemplos, en los que la inspección visual llamó la atención de un problema en sus comienzos, per-

mitiendo realizar los pertinentes estudios de detalle y medidas correctoras. Entre ellos figura el caso de una presa de contra-fuerzas en la que se apreciaron unas fisuras subhorizontales en algunas zonas de aguas abajo, no detectándose ninguna anomalía por el sistema de auscultación. Finalmente se determinó que todas las fisuras pertenecían a una misma tongada determinada de hormigón, que presentaba fenómenos de expansión. Otro problema de expansión del hormigón se empezó a detectar en el aliviadero lateral de una presa de materiales sueltos, manifestándose por fisuras en la galería y un incremento del caudal de las filtraciones por la subida del embalse. El tercer ejemplo trata de una presa de gravedad en la que se observó un gran aporte de carbonato cálcico en galerías y drenes del cuerpo de presa, consecuencia de la lixiviación de agua a través de determinadas zonas de la presa.

Un segundo aspecto del artículo de Rodrigo del Hoyo es la extensometría para la medición de las deformaciones, explicando la disposición habitual y el tipo de sensores (tipo Carlson basado en la variación de la resistencia de un hilo conductor al ser sometido a deformaciones y extensómetros de cuerda vibrante, que miden frecuencias, cuyo cuadrado es proporcional a la tensión).

Se comenta la gran robustez de los extensómetros, sobre todo del tipo Carlson, inventado en los años cuarenta y con experiencias de un funcionamiento correcto durante más de cuarenta años. Adicionalmente se recomienda el uso de modelos de elementos finitos, que permiten realizar un análisis de sensibilidad de módulos de elasticidad, variable en función de la edad del hormigón, la historia de ponerse en carga, velocidad de aplicación de cargas, etc. ya que hay que tener en cuenta que las medidas extensométricas sólo aportan el conocimiento de la variación de las deformaciones entre una lectura y otra. Es decir sin el conocimiento del módulo de elasticidad no se pueden obtener las tensiones.

Finalmente se menciona el fenómeno expansivo del hormigón, sus causas y posibles consecuencias para las presas, como es la aparición de fisuras y un posible aumento en las filtraciones. La existencia de problemas expansivos se puede comprobar por elementos de auscultación, como la nivelación (manifestándose en una elevación de bases), péndulos (desplazamientos hacia aguas arriba) y medidas de extensómetros.

Conviene citar literalmente una de las conclusiones del autor: "Lo mismo que decía un político francés de finales del siglo XIX o principios del XX, que la guerra es un asunto muy serio para dejarlo en manos de los militares, también se puede decir que la seguridad de una presa es un asunto demasiado serio para dejarlo a merced únicamente del análisis por medio de un modelo matemático, de las medidas de unas cuantas magnitudes." Con esto no se pretende menospreciar los modelos teóricos pero sí hacer hincapié en la necesaria y complementaria inspección visual y en el buen criterio y juicio de un ingeniero experimentado.

3. 5. OBSERVACIONES GENERALES SOBRE EL CONTENIDO DE LOS ARTÍCULOS**3.5.1. Software**

Es de destacar que el software de adquisición, tratamiento y presentación de datos es un elemento clave en la auscultación de presas. Seis artículos describen con detalle este tipo de software y se puede observar que existe una gran variedad desde el uso de software comercial estándar (bases de datos y hojas de cálculo) hasta aplicaciones específicas hechas a medida para el control de la adquisición de datos, gestión de bases de datos, validación y análisis, toma de decisiones y generación automática de informes. En seis artículos se pueden encontrar ejemplos: R. 30 (Lancini, Masera, Piccinelli y Farina; Italia), R. 31 (Boutayeb, Lamrini y Bayoumi; Marruecos), R. 33 (Otto, Moor y Lutz; Suiza), R. 35 (Leroy y Hagin; Suiza), R. 45 (Pérez Saiz; Molina Pérez y Argüelles Martín; España) y R. 73 (Zeilinger, Urban y Neuschitzer; Austria).

3.5.2. Número de equipos utilizados en la auscultación de presas

No existen reglas fijas para determinar el número necesario para la auscultación adecuada de una presa. Siempre dependerá del criterio del ingeniero, basado en la experiencia, conceptos teóricos y el margen de presupuesto. Obviamente varía en función de las condiciones específicas de la obra, su tamaño, si se trata de una presa nueva o no, los métodos de construcción y las normas de seguridad y prescripciones vigentes.

3.5.3. Nuevas tecnologías

La mayoría de las novedades tecnológicas se refieren al tratamiento de datos, los sistemas de adquisición y los métodos de comunicación. En los artículos se encuentra muy poca información sobre innovaciones de sensores y equipos de medida. La única tecnología relativamente nueva es el empleo de fibra óptica para la medición distribuida de presiones y deformaciones. El uso de la fibra óptica para la medición distribuida de temperaturas puede completar a los piezómetros para detectar daños en impermeabilizaciones e interpretar las filtraciones a través de filtros y núcleos de presas de materiales sueltos. Tres artículos tratan sobre este tema (R. 1 de Aufleger, Strobl y Dornstädter; Alemania, R. 15 de Bettzieche; Alemania y R. 69 de Johansson, Farhadiroushan y Parker; Suecia).

3.5.4. El coste de la instrumentación

Sólo en tres artículos se mencionan datos concretos sobre el coste del sistema de auscultación. El artículo R. 56 (Boncompain y Capelle; Canadá) describe un sistema distribuido

de control para la auscultación de 20 presas. El número medio de sensores instalados en cada presa es de 70. El coste medio de los equipos y cableado asciende a 85.000 \$ por presa, a esta cantidad hay que sumar el coste de instalación, que es del mismo orden (90.000 \$) para obtener un coste total de 175.000 \$.

En la comunicación R. 21 (Antoniou, Brown y Bruggemann; Reino Unido) se comenta que el coste de la instrumentación de la presa de Arminou, de materiales sueltos con una altura de 45 m, fue del 1,5% del coste total de la presa. El sistema se compone por unos 70 equipos repartidos en el cuerpo de presa y la cimentación, 3 inclinómetros, 2 sismógrafos y un sistema de adquisición de datos.

En el artículo R. 15 (Bettzieche; Alemania) se compara el coste de una instalación de cables de fibra óptica para la medición distribuida de temperaturas con una solución convencional utilizando termómetros de resistencia (PT100). En el caso concreto analizado, el coste de 434 puntos de medida a lo largo de una única fibra fue inferior que el coste de 40 termómetros PT100, sin contar con el coste de los equipos de lectura para los cables de fibra óptica, que al ser aún relativamente altos, conviertan la solución con fibra óptica en la más cara.

4. LAS SESIONES TÉCNICAS CELEBRADAS DURANTE EL CONGRESO

La sesión técnica con una duración total de ocho horas se celebró los días 21 y 22 de septiembre. En total se trataron cuatro temas y para cada tema se habían seleccionado una serie de autores que hicieron unas presentaciones con una duración media de aproximadamente diez minutos.

Los temas tratados eran los siguientes:

- ▼ Tema 1: ¿Los programas de auscultación para presas se diseñan e instalan por razones válidas o simplemente porque es habitual hacerlo así?
- ▼ Tema 2: ¿Cuáles son los eslabones más débiles en la cadena de medidas? ¿Cómo mejorar la fiabilidad y características de los sistemas de auscultación? ¿Cuáles son las vías a seguir en un futuro en la investigación y el desarrollo?
- ▼ Tema 3: Frecuentemente los datos de auscultación no son completamente analizados y aprovechados por el usuario. A menudo no se extrae ni se explora la valiosa información que contienen estas mediciones. Para mejorar esta situación se podría establecer un procedimiento standard de explotación de datos. ¿Debería ICOLD tomar la iniciativa de desarrollar unos módulos de software standards para el tratamiento, comunicación e interpretación de datos?
- ▼ La inspección visual jugará siempre un papel irremplazable en los programas de vigilancia para evaluar el compor-

tamiento y la seguridad de las presas. ¿Pueden las nuevas tecnologías mejorar las características de este tipo de inspección?

A continuación se resumen muy brevemente algunas intervenciones y comentarios de los asistentes.

—B. Myers (USA) destacó en su presentación con el título "Optimización de sistemas de auscultación: Resumen de la tecnología disponible y casos prácticos", la importancia del diseño y proyecto para el buen funcionamiento de un sistema de auscultación. Myers expuso criterios para el diseño y la optimización de sistemas de auscultación y propuso la creación de un memorándum del diseño que debe reflejar claramente el propósito de cada elemento del sistema.

—C. B. Abadjiev (Bulgaria) planteó reflexiones interesantes en una presentación titulada "Optimización de sistemas de auscultación en presas de materiales sueltos". Abadjiev aboga por una auscultación sencilla, ya que en su opinión muchos aparatos están ubicados en sitios donde no aportan información importante. Menciona ejemplos de piezómetros en el contacto espaldón de aguas arriba con un núcleo central y mantos filtrantes. Su conclusión principal es que la seguridad de una presa no se mejora por instalar

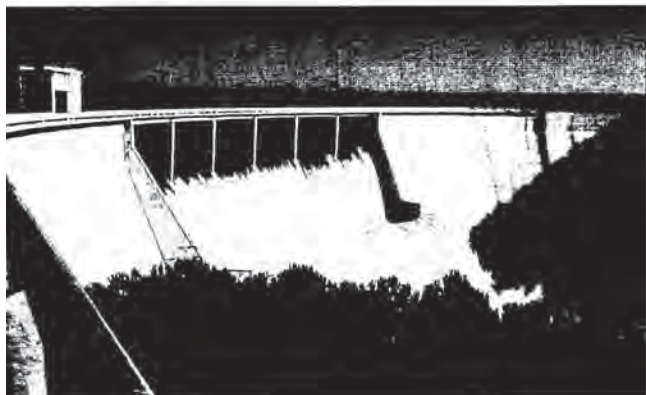
más equipos de auscultación, sino depende de la calidad de su construcción.

—Chen Jin (China) presenta un trabajo relacionado con modelos de comportamiento de presas y calibrados con datos de auscultación (modelos determinísticos (FE modelos), estadísticos, híbridos). Comenta el caso de una presa de hormigón en un afluente del río Yangtze, donde debido a la buena confianza en el modelo matemático, durante la avenida de 1998 se tomó la decisión de agotar resguardos y optimizar la laminación del hidrograma con el fin de minimizar los daños aguas abajo.

El comentario más llamativo de los asistentes lo hizo Karre Höeg, el presidente saliente de ICOLD, sobre las células de presión total. En su opinión se emplea demasiado tiempo en la colocación de las células durante la construcción y se pierde demasiado tiempo intentando analizar datos erróneos suministrados por estos equipos.

Finalmente comentar que el Comité Técnico de ICOLD enfocado a la auscultación, ha dado por finalizado su trabajo y plasmado su labor en unas guías técnicas para sistemas automáticos de auscultación de presas. Estas guías se publicarán próximamente como boletín de ICOLD. ■

INITEC ha proyectado y/o dirigido más de 140 presas de todo tipo a lo largo de casi 40 años de historia:



▷ Presas de hormigón (bóveda, arco-gravedad, gravedad convencional, aligerada, hormigón compactado con rodillo (CCR).

▷ Presas de materiales sueltos (homogéneas, heterogéneas, con núcleo arcilloso o asfáltico, de escollera con pantalla de hormigón, asfáltica o con láminas impermeables).

Principales proyectos en España:

▷ Presas de fábrica: Santa Liestra (120 m.), Rules (120 m.), Llauset (82 m.), Montearagón (78 m.), La Barca (75 m.).

▷ Presas de materiales sueltos: Canales (158 m.), Almanzora (112 m.), Benírar (87 m.), Vadojón (80 m.), Gayá (79 m.), Otívar (76 m.).

En el mercado exterior:

▷ Perú: Libertadores (110 m.) y Caballo Pampa (62 m.). ▷ República Dominicana: Jigüey (115 m.) y Aguacate (50 m.).

▷ Argentina: Los Caracoles (143 m.), Punta Negra (120 m.) y Agua del Toro (120 m.)

Otras actividades de INITEC en el campo hidráulico:

▷ Planificación hidráulica ▷ Centrales hidroeléctricas ▷ Abastecimiento y saneamiento de poblaciones

▷ Canales y conducciones de transporte ▷ Hidráulica fluvial y encauzamientos

▷ Agronomía: regadíos, catastros, desarrollo rural integrado, etc.



INFRAESTRUCTURAS Y MEDIOAMBIENTE

Valores, 1. 28007 Madrid. Telef.: 91 587 13 00 Fax. 91 573 13 67. e-mail: sancho.j@initec.es



Q-77

BENEFICIOS Y AFECCIONES ASOCIADAS A LAS PRESAS

Luis Berga Casafont

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Vice-Presidente de la Comisión Internacional de Grandes Presas. ICOLD

RESUMEN

La gestión de los recursos hidráulicos y la resolución de las problemáticas de las sequías e inundaciones debe enmarcarse dentro de una visión integral, en la que se analicen todas las alternativas posibles y viables. En numerosas ocasiones las presas y los embalses constituyen la alternativa más eficaz social y económicamente. En este artículo se describe el desarrollo de la Q-77 del XX Congreso Internacional de Grandes Presas sobre "Los beneficios y afecciones asociadas a las presas", analizando los informes presentados, el trabajo del Ponente General, y las comunicaciones seleccionadas para su presentación, dedicando una especial atención a los informes y comunicaciones españolas. Finalmente se sintetizan las conclusiones obtenidas de la presentación de los informes y de su discusión.

ABSTRACT

The administration of water resources and answers to the problems of droughts and flooding should be placed within one integral framework which analyses all possible and viable alternatives. On many occasions dams and reservoirs have served as the most efficient social and economic alternative. This article refers to the question Q-77 of the XX International Congress on Large Dams regarding "The benefits and problems of dams", analysing the papers submitted, the General Report on the same and the communications selected for presentation, and placing special emphasis on the Spanish papers and communications. The article concludes with a summary of the findings obtained from the reports and the debate on the same.

1. INTRODUCCIÓN

En la reunión Ejecutiva de **ICOLD** celebrada en New Delhi en el mes de Noviembre de 1998 se decidió, después de un intenso debate, que en los Congresos Internacionales de ICOLD, se deberían analizar y discutir los aspectos más actuales y problemáticos relacionados con las presas, como son sus beneficios, y sus afecciones socioeconómicas y medioambientales. Por ello se aprobó que en el 20 Congreso Internacional de Grandes Presas que se iba a celebrar en Beijing en Septiembre de 2000, la Cuestión 77 (Q.77) se refiriera a los "Beneficios y afecciones asociadas a las presas" ("Benefits of and concerns about dams").

En esta Q.77 se iban a desarrollar los siguientes aspectos: Estudios de casos reales de presas, y en particular los que incluyan datos cuantitativos y numéricos que resulten de los análisis, medidas o supervisiones, en los temas siguientes:

- ▼ Beneficios de las presas, incluyendo los relativos a laminación de avenidas, producción hidroeléctrica, producción de alimentos, regadíos, abastecimiento de poblaciones, navegación, aspectos recreativos y mejoras medioambientales.
- ▼ Gestión de las afecciones y consecuencias, incluyendo los efectos sociales y medioambientales.
- ▼ Evaluación de los procesos de toma de decisiones, incluyendo los análisis de coste/beneficio, métodos y cálculos.

los de amortización, factibilidad de soluciones a pequeña escala o de otras alternativas a las presas.

▼ Métodos para obtener el consenso, incluyendo la participación pública en los procesos de implementación, definición de objetivos, evaluación del papel de los grupos de interés, y papel de las agencias financieras.

En esta Reunión Ejecutiva de New Delhi también se decidió que en la próxima Reunión Ejecutiva del año 1999 que se iba a celebrar en Antalya (Turquía), se celebrara un Simposio sobre "Beneficios y consecuencias asociadas a las presas: Estudio de casos reales". Este Simposio tenía como objetivo la preparación de la Q.77 para Beijing, y así poder seleccionar de manera más adecuada los informes que se iban a presentar en el Congreso. Constituye pues, un interesante antecedente a la Q.77, y en él se reúnen 39 trabajos procedentes de 24 países (1).

El objetivo de esta comunicación es el de analizar y sintetizar el desarrollo de la Q.77 del 20 Congreso Internacional de ICOLD. Para ello me voy a referir a los Informes presentados a esta Cuestión, destacando los Informes Españoles, al trabajo del Ponente General, al desarrollo de las sesiones, y a las comunicaciones seleccionadas para ser presentadas en las sesiones.

2. INFORMES PRESENTADOS A LA Q.77

Se presentaron un total de 71 Informes de 32 países. En la Tabla nº 1 se detallan los países que presentaron más de dos informes.

Estos 71 informes cubren numerosos aspectos relativos a demostrar y cuantificar los beneficios producidos por las presas y sus embalses en abastecimientos urbanos, regadíos, producción hidroeléctrica, laminación de avenidas, control de caudales, recarga de acuíferos por embalses, control de la sedimentación, navegación, beneficios sociales, turismo y actividades recreativas, y beneficios en presas de objetivos múltiples. Tratan también de las afecciones sociales y medioambientales que producen las presas, y en numerosos casos se describe el proceso seguido para alcanzar un balance entre beneficios e impactos ecológicos, económicos y sociales. Estos informes están publicados en el Volumen II de las "Transactions" del 20 Congreso (2).

3. INFORMES ESPAÑOLES PRESENTADOS A LA Q.77

Se presentaron 6 informes por parte de autores españoles, que se detallan en la Tabla nº 2.

El R-34 de **J.A. GARCÍA PÉREZ** sobre "A la búsqueda de una playa en Madrid: El uso de embalses de regulación para actividades recreativas" describe las 15 presas de que dispo-

TABLA Nº 1
PAISES QUE PRESENTARON
MÁS DE DOS INFORMES A LA Q.77.

PAIS	NÚMERO DE INFORMES
USA	7
TURQUÍA	7
ESPAÑA	6
ALEMANIA	4
CHINA	4
FRANCIA	4
JAPÓN	4
MARRUECOS	3
REINO UNIDO	3

ne el Canal de Isabel II, que con una capacidad de unos 950 Hm³ garantizan el suministro de agua a Madrid y a la mayor parte de las poblaciones de su Comunidad, con un total de unos cinco millones de habitantes. Estos embalses están situados a poca distancia de la capital, y suponen una gran atracción turística para la población, que las utiliza para diversas actividades náuticas y recreativas. Ello supone una presión humana sobre estos embalses y su zona de influencia, que puede incidir negativamente en la calidad del agua y en el medioambiente fluvial. El informe presenta las realizaciones desarrolladas con el fin de armonizar las actividades recreativas con la preservación de los recursos naturales, entre los que cabe citar las estaciones de depuración de las aguas afluentes al embalse, acondicionamiento de cuencas y riberas, medidas restrictivas de utilización y principalmente la construcción planificada y diversificada geográficamente de instalaciones recreativas. El informe finaliza señalando la necesidad de tener disposiciones legales para la protección de los embalses y especialmente de disponer de Planes de Acondicionamiento de los embalses.

El R-35 de **L. BERGA** sobre "Beneficios de las presas en la laminación de avenidas" describe que las avenidas constituyen uno de los desastres naturales de mayor impacto en la población, produciendo cada año miles de víctimas y enormes pérdidas económicas. A pesar de los avances en el conocimiento de las avenidas y la implantación de medidas de prevención y protección, los daños producidos por las avenidas continúan creciendo año tras año.

Entre las diversas medidas para la lucha contra las avenidas, las presas de laminación de avenidas constituyen una solución estructural muy eficiente, ya que son la única actuación estructural que puede almacenar agua de manera significativa, y por lo tanto reducir la punta de la avenida. Sin embargo, para obtener una mayor efectividad es necesario su consideración en el conjunto de la cuenca hidrográfica y la consideración de otras medidas estructurales y no estructu-

TABLA N° 2
INFORMES ESPAÑOLES PRESENTADOS A LA Q.77

INFORME NÚMERO	TÍTULO	AUTORES
R-34	A LA BÚSQUEDA DE UNA PLAYA EN MADRID: EL USO DE EMBALSES DE REGULACIÓN PARA ACTIVIDADES RECREATIVAS	J.A. GARCÍA PÉREZ
R-35	BENEFICIOS DE LAS PRESAS EN LA LAMINACIÓN DE AVENIDAS	L. BERGA
R-36	BENEFICIOS Y AFECCIONES DE LAS PRESAS EN ESPAÑA	L. BERGA J. YAGÜE J. CAJETE F. GIRÓN J.M. MENDILUCE
R-37	OPERACIÓN DE LAS PRESAS DE LA CUENCA MEDIA DEL TAJO DURANTE LAS AVENIDAS DE DICIEMBRE 1995-ENERO 1996	J. TORRES CEREZO L. PÉREZ SANCHEZ G. MARÍN PACHECO
R-38	FUNCIÓN DE LOS EMBALSES EN LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS: LOS EMBALSES DEL ALGAR Y BELCAIRE COMO CASOS CON UNA FUNCIÓN ESPECIFICA DE RECARGA.	E. CIFRES
R-39	EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE ITOIZ	R.J. LAFUENTE M. ZUECO

rales. También las presas de laminación de avenidas deben integrarse en el entorno y pueden usarse como parques o áreas recreativas.

En el informe se describen los trabajos desarrollados por el ICOLD "Committee on Dams and Floods" (3) en relación con el papel de las presas en el control de avenidas y en la reducción de los daños producidos por las inundaciones. Se analizan los diversos efectos que pueden producir las presas en la mitigación de las inundaciones según sea su objetivo: 1) Embalses cuyo único objetivo es la regulación, 2) Embalses con objetivos múltiples, en los que la laminación de avenidas representa un papel importante, y 3) Embalses cuyo único objetivo es el control de avenidas, presentándose diversos casos reales de embalses en explotación y sus efectos en la reducción de daños aguas abajo. También se refieren varias presas en construcción en las que el control de avenidas tiene un papel muy importante, así como varios proyectos futuros de presas de laminación de avenidas, junto con el papel que pueden desempeñar estas presas en los planes de control de avenidas en varios países.

El R.36 de **L. BERGA, J. YAGÜE, J. CAJETE, F. GIRÓN, J.M. MENDILUCE** sobre "Los beneficios y afecciones de las presas en España" describe la peculiar situación de la Península Ibérica, al Sur-oeste de Europa y al Norte de África que

hace que la climatología en España presente unas características muy específicas y variada con influencias de los frentes atlánticos, las tormentas mediterráneas, las masas de aire cálido del Norte de África, o las de aire frío procedentes del Norte y Centro de Europa. Todo ello da lugar a un régimen de precipitaciones y de caudales en los ríos muy irregular en el tiempo y en el espacio. Irregularidad temporal, con variaciones interanuales muy acusadas que pueden dar lugar a largos periodos de sequía, y también importantes variaciones estacionales con profundos estiajes durante los meses de verano. Irregularidad espacial que da lugar a que la mitad norte del país disponga de abundantes recursos de agua, frente a la escasez de la mayor parte de las cuencas de la vertiente mediterránea.

Debido a estas circunstancias y para poder atender las demandas de agua ha sido necesario la realización de importantes obras hidráulicas y la construcción de numerosas presas. La construcción de presas en España se inicia en la época romana, de la que quedan actualmente todavía en explotación las presas de Cornalvo y Proserpina. En la actualidad hay en España 1.187 grandes presas de las que 37 están en fase de construcción, con lo que se dispone de una capacidad total de embalse de unos 56.500 Hm³, que han permitido pasar de una regulación en estado natural de sólo el 9%, a unos valores de regulación real de más de un 40% de los

recursos totales, situando así al país en el entorno de la regulación natural media de los países europeos.

En el informe se describen los diversos objetivos de las presas en España, y se hace una evaluación cuantitativa de los beneficios que representan las presas en el regadío, abastecimientos urbanos e industriales, producción hidroeléctrica y otras aplicaciones, que en total suponen alrededor del 7% del Producto Interior Bruto. Igualmente se describen los beneficios de las presas en la laminación de avenidas, que son muy relevantes, ya que en España las inundaciones constituyen el riesgo natural más importante, produciendo unas pérdidas medias de vidas de 50 personas por año, junto con unos daños materiales de unos 600 M\$ por año.

Por otro lado se analizan diversas afecciones asociadas a las presas, siendo las más significativas la seguridad y los aspectos medioambientales. Se describen las nuevas legislaciones, guías técnicas y programas de seguridad de presas, que están siendo complementados por actuaciones de tipo no-estructural, como la clasificación de las presas según su riesgo potencial aguas abajo, y los planes de emergencia de presas.

También se analizan las experiencias de los estudios de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) y las medidas correctivas contempladas.

Finalmente se describen las perspectivas futuras de la construcción de nuevas presas en España.

El R-37 de **J. TORRES CEREZO, L. PÉREZ SÁNCHEZ Y G. MARÍN PACHECO** sobre la "Operación de las presas de la cuenca media del Tajo durante las avenidas de Diciembre 1995-Enero 1996" describe las avenidas que se produjeron en la cuenca media y baja del Tajo a finales del año 1995, que afectaron a España y Portugal.

Estas importantes avenidas se produjeron después de un prolongado período de sequía, que se había iniciado al comienzo de los años 90, por lo que los embalses estaban únicamente al 46% de su capacidad, y por lo tanto existía un gran resguardo para gestionar los embalses durante la avenida.

El informe presenta los criterios de gestión de los embalses en los que se han tenido en cuenta principalmente la seguridad de las presas y la reducción de daños aguas abajo. La gestión de la avenida se realizó en estrecha colaboración entre las autoridades españolas y portuguesas, y consiguió reducir los caudales punta entre un 70% y un 80%, lo que dio lugar a una eficaz protección de las poblaciones aguas abajo. También más de la mitad del volumen de la avenida fue retenida por los embalses españoles.

El R-38 de **E. CIFRES** sobre la "Función de los embalses en la recarga artificial de los acuíferos subterráneos: los embalses del Algar y Belcaire como casos con una función específica de recarga" expone la problemática de sobreexplotación de los acuíferos costeros de la plana de Castellón, en la cuenca del Júcar, y describe el efecto beneficioso que se ha observado en la recarga producida por algunos embalses. En base a ello propone que en determinadas circunstancias se pueda hacer una

nueva utilización de los embalses: la recarga de los acuíferos subterráneos como medida correctora medioambiental.

El informe describe y analiza los casos de las presas del Algar, actualmente en construcción, y de la presa de Belcaire, en fase de proyecto. Se muestra como la regulación producida por el embalse permite una mejor utilización de los recursos superficiales junto con un mejor aprovechamiento de los acuíferos subterráneos dentro de una concepción medioambiental más favorable.

El R-39 de **R.J. LAFUENTE Y M. ZUECO** sobre "El impacto medioambiental de Itoiz", describe la presa de Itoiz y sus principales impactos, inundación del terreno del embalse, traslado de población, canteras, efecto barrera, fauna y flora, así como los beneficios que van a producir las aguas reguladas en el regadío, abastecimientos urbanos, producción hidroeléctrica y protección frente a las avenidas. Igualmente detalla las regulaciones legales de protección medioambiental que se han desarrollado en Itoiz: Estudio de Impacto medioambiental, Declaración de Impacto, Programa de Vigilancia Medioambiental, Comisión de Vigilancia y Seguimiento Medioambiental, y aplicación y resultados de las medidas correctoras de los impactos.

El informe finaliza con una serie de reflexiones que resumen las experiencias obtenidas: necesidad de educación ambiental, importancia de los análisis medioambientales, y rentabilidades financieras y ambientales de diversas medidas de corrección.

4. INFORME DEL PONENTE GENERAL

El Ponente General fue el Ingeniero **HERMAN E. ROO**, Presidente del Comité Venezolano de Grandes Presas.

En su introducción señala que en "la actualidad las presas están siendo criticadas y son objetivo de ataques por personas y organizaciones que piensan que tienen el derecho a expresar sus opiniones, pero no la obligación de soportarlas como evidencias; grupos y organizaciones que rehúsan aceptar hechos y explicaciones que puedan modificar su manera de pensar, y que a efectos prácticos rehúsan la discusión". Por ello considera que es muy importante explicar con base científica y técnica los beneficios y afecciones de las presas y embalses, y lo que significan y van a significar para el desarrollo de los pueblos.

A continuación presenta los Informes agrupados en los temas siguientes:

- ▼ Abastecimientos urbanos.
- ▼ Regadíos
- ▼ Laminación de avenidas.
- ▼ Recarga de acuíferos subterráneos.
- ▼ Producción hidroeléctrica.
- ▼ Presas con objetivos múltiples.
- ▼ Control de la sedimentación.
- ▼ Aspectos medioambientales.

No es el momento de hacer aquí una descripción amplia del informe del Ponente General, por lo que me voy a limitar a sintetizar y presentar los puntos más importantes. El lector interesado puede consultar para más detalle la Ponencia General (4)

4.1. ABASTECIMIENTOS URBANOS

Numerosos informes se refieren a los abastecimientos a poblaciones, una de las razones más importantes por las que desde siglos se han construido las presas y regulado las aguas en los embalses.

Estos informes se refieren a casos de presas para abastecimientos en el Noroeste de México (Estados de Sinaloa y Sonora), a las zonas áridas de Marruecos, a la República Checa, a África del Sur y a Lesotho, a Alemania (donde en la zona de Sajonia se abastece al 40% de la población), y a USA en la que la prosperidad de las poblaciones del Oeste Americano no hubiera sido posible sin el agua regulada por los embalses. Un caso interesante son las presas del U.S. Bureau of Reclamation que con más de 300 Km³ de capacidad, abastecen a más de 30 millones de personas. En todos estos casos se demuestra que, en muchas zonas del mundo debido a la alta irregularidad del régimen de los ríos, es necesario regular las aguas en los embalses, por lo que muchas ciudades del mundo no hubieran existido sin estas posibilidades de abastecimiento dadas por las presas.

4.2. REGADÍOS

Se describen numerosos casos relativos a regulación de embalses para regadíos en diversas partes del mundo (Irán, antigua Unión Soviética, China, USA, España, Egipto, Turquía, Chile, Croacia, Rumania, etc.) analizando el papel esencial de las presas en la producción de alimentos, en la consolidación del bienestar en los países desarrollados, y en las esperanzas de un desarrollo sostenible en los países en vías de desarrollo. Basta citar a título de ejemplo que las ya mencionadas presas del U.S. Bureau of Reclamation dan agua para regar 4.200.000 Ha, que producen el 60% de los vegetales de USA y un 25% de los frutos.

4.3. LAMINACIÓN DE AVENIDAS

En este apartado el Ponente General describe los informes que se refieren a los beneficios de las presas en la laminación de avenidas, con datos de casos reales en China, Túnez, Alemania, España, etc. En algunos casos, y en avenidas significativas, se han llegado a poder reducir hasta un 80% los caudales punta de avenida, mitigando en gran parte los daños que las inundaciones hubieran producido en el caso de no haber existido las presas. Es de destacar el hecho de que se está incrementando la construcción de presas cuyo objetivo principal o único es la laminación de las avenidas, por lo que actúan como

embalses de retención únicamente en situación de avenidas, estando prácticamente vacíos en situaciones normales, en las que pueden usarse con fines recreativos. También cabe señalar la ampliación y mejora de las estrategias de explotación de embalses hidroeléctricos con el objetivo de maximizar la reducción de daños de las inundaciones.

Un caso interesante se refiere a la presa de las Tres Gargantas y el control de avenidas en el río Yangtze, que estacionalmente va a tener una capacidad de unos 22 Hm³ para el control de avenidas, lo que va a suponer un incremento de la protección aguas debajo de 10 años a 100 años de período de retorno, con unos beneficios medios anuales próximos a los 50.000 Mpts.

4.4. RECARGA DE ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS

Uno de los beneficios de las presas es el de su posibilidad de recarga de acuíferos, y este aspecto se menciona en diversos Informes relativos a presas que tienen otros objetivos principales. Sin embargo en el informe de las presas del Algar y Belcaire, en la cuenca del Júcar, que anteriormente hemos descrito, el objetivo de recarga artificial de los acuíferos es el principal, lo que supone una corrección de la sobreexplotación actual que produce importantes impactos medioambientales.

4.5. PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA

El Ponente General refiere que la potencia hidroeléctrica instalada actualmente en el mundo es de unos 670 GW, lo que da lugar a una producción hidroeléctrica de un 20% de la producción eléctrica total, equivalente a unos 4.5 millones de barriles de petróleo por día. En el futuro esta cantidad puede llegar a duplicarse lo que supondrá un enorme impulso al desarrollo de los países pobres. Cita los beneficios de la energía hidroeléctrica: limpia, no contribuye al efecto invernadero, renovable y basada en una buena y conocida tecnología, por lo que contribuye muy significativamente al desarrollo sostenible.

Los Informes en este apartado tratan del desarrollo del potencial hidroeléctrico en China, con importantes presas hidroeléctricas que, por ejemplo, van a suponer la instalación de 12.5 GW en el río Yalong, y de 18.2 GW en las Tres Gargantas.

Un Informe interesante se refiere a las experiencias en Noruega, país en el que el 99.7% de la producción eléctrica es de origen hidráulico, y en el que se han ido desarrollando planes de protección para compatibilizar el desarrollo hidroeléctrico y los intereses medioambientales.

4.6. PRESAS CON OBJETIVOS MÚLTIPLES

Diversos informes tratan sobre los beneficios y afecciones de las presas a nivel global de un país, y son muy interesantes para conocer los beneficios que las presas suponen en las distintas economías nacionales, así como los diversos

procesos, regulaciones y leyes que existen para salvaguardar el medioambiente y mitigar las afecciones sociales y ambientales. Así, se presentan las experiencias de Suiza, España, Italia, Turquía, Marruecos, Chile e Irán.

En otros Informes se detallan los múltiples beneficios que presas muy significativas han proporcionado para el desarrollo de un país, como es el caso de la presa de Aswan en Egipto, en el que se detallan también los impactos sociales y medioambientales, y su seguimiento y evolución temporal. Finalmente hay un grupo de Informes que aparte de mencionar los beneficios de las presas y otras obras hidráulicas, dedican una mayor atención a las afecciones medioambientales y a su evaluación, así como a los procesos metodológicos integrados en los proyectos hidráulicos y de recursos de agua. Tales son los casos del Proyecto Delta en Holanda, o las metodologías usadas por el U.S. Bureau of Reclamation en USA.

4.7. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Tal y como se ha mencionado en esta descripción de la Ponencia General numerosos Informes tratan de los aspectos medioambientales en conjunción con los beneficios que producen las presas, por lo que en este apartado el Ponente General presenta únicamente los informes que se refieren exclusivamente a las afecciones sociales y medioambientales.

Se describen los Informes sobre las restauraciones ambientales en Venezuela, con la aportación de agua regulada a zonas de interés turístico y la creación de parques medioambientales en el entorno de las presas. Se describe la evaluación ambiental de las presas de Melbourne (Australia) y la importancia de la participación pública, así como de la implicación de las poblaciones afectadas desde el inicio de los procesos de decisión.

Un Informe interesante se refiere a los impactos ecológicos de la presa de las Tres Gargantas en el que se analizan las afecciones de la presa y su embalse, siendo las más importantes las debidas a la sedimentación en el embalse y su cola, el desplazamiento de alrededor de 1.2 millones de personas, y la inundación de 230 Km² de tierra, concluyéndose, que aparte de los beneficios de regulación del río y la producción hidroeléctrica, la presa da protección frente a las inundaciones a 25 millones de personas y a 15.000 Km² de tierras productivas. Otros tres Informes japoneses se refieren al control de la calidad del agua en embalses eutrofizados, a nuevas tipologías de escaleras de peces, y a la ecología en las márgenes de los embalses. Finalmente se refiere el Informe sobre el impacto medioambiental de la presa de Itoiz que ya se ha descrito anteriormente.

4.8. CONCLUSIÓN

El Ponente General concluye brevemente señalando que los informes suponen una aportación importante al conoci-

miento de los beneficios y las afecciones asociadas a las presas, algunas de las cuales pueden a ser atribuidas algunas veces a la falta de investigaciones, ignorancia e intereses creados. Finaliza indicando que ICOLD debe continuar en el análisis sobre los beneficios y afecciones de las presas, y demostrarlos mediante trabajos e investigaciones.

5. DESARROLLO DE LAS SESIONES

Las sesiones sobre la Q.77 se celebraron el miércoles día 20 de Septiembre de las 14:00 h a las 18:00 h, y el jueves 21 de Septiembre de las 08:30 h a las 12:00 h.

La mesa de las sesiones estaba formada por:

PRESIDENTE:	H.L. BLOHM. Vicepresidente de la Montgomery Watson. San Diego, USA.
VICE-PRESIDENTE:	C.V.J. VARMA. Presidente del Comité Indio de Grandes Presas. Actual Presidente de ICOLD. New Delhi. India.
PONENTE GENERAL:	H: ROO GOMEZ. Vicepresidente de ICOLD. Presidente del Comité Venezolano de Grandes Presas. Ingeniero Consultor de Electrificación del Caroni. Caracas, Venezuela.
SECRETARIO	LI YUANYUAN. Instituto de Planeamiento y Diseño de Recursos de Agua y Producción Hidroeléctrica. Beijing. China.

Los temas propuestos para discusión en estas sesiones fueron los siguientes:

- ▼ TEMA 1. Estudio de casos relativos al papel de las presas en la laminación de las avenidas y control del caudal de los ríos.
- ▼ TEMA 2. Nuevas ideas sobre el papel de las presas en abastecimientos y regadíos: recarga de acuíferos y garantía de caudales en sequías.
- ▼ TEMA 3. Gestión de las afecciones sociales y medioambientales asociadas a las presas.
- ▼ TEMA 4. Las presas y el desarrollo sostenible: gestión de la sedimentación y otros factores.

Se inició la sesión con una presentación del Presidente, a la que siguió la exposición del Ponente General, que ya hemos descrito.

A continuación se presentaron las COMUNICACIONES SELECCIONADAS, que fueron las siguientes:

▼ TEMA 1.

J. GIESECKE (Germany) R.8

"Presas y sistemas de control de avenidas de los embalses de retención en el Sudoeste de Alemania".

E.E. EIKER, D.W. DAVIS, D. GOLDMAR (USA) R.32

"Aplicación del análisis de riesgo a la planificación de sistemas de embalses y diques para la reducción de daños producidos por las inundaciones".

C. GUILLAUD, T. ABDELHELI (Canadá) R.41

"Protección por presas de las zonas de inundación en Túnez".

J. TORRES, L. PÉREZ, G. MARÍN (España). R.37

"Operación de las presas de la cuenca media del Tajo durante las avenidas de Diciembre 1995 – Enero 1996".

L. BERGA (España) R.35

"Beneficios de las presas en la laminación de avenidas".

▼ TEMA 2.

D. MAJORS, J. RAGAN (USA) R.29

"Beneficios de la mayor presa de materiales sueltos en la historia de U.S.A.".

J.A. MASA, P.A. ORTEGA (Méjico) R.5

"La necesidad de construir presas".

E. CIFRES (España) R.38

"Función de los embalses en la recarga artificial de acuíferos subterráneos: Los embalses del Algar y Belcaire como casos con una función específica de recarga".

W.K. SHENOUDA (Egipto) R.50

"Beneficios y afecciones asociadas a la presa de Aswan".

K.A. STEELE, T.O. KELLER, J. ZHOU (USA) R.28

"Proyecto de embalses de regularización de agua para emergencias: un éxito en planeamiento, financiación y ejecución de grandes proyectos de presas".

▼ TEMA 3.

F. POWER, T. CHOUDRY (Venezuela) R.7

"Beneficios sociales y medioambientales obtenidos en el proyecto Macagua II".

R. FLATBY, T. KONOW (Noruega) R.59

"Evaluaciones de impacto ambiental, procedimientos y términos de las concesiones. Una revisión de la experiencia noruega".

F.M. DE MELLO (Brasil)

"Centrales mini-hidráulicas y grandes beneficios medioambientales".

R. CASINADER, C. MAYFIELD, C. HILL (Australia) R.24

"La gestión de las afecciones sociales y medioambientales en el embalse de Sugarloaf y en la presa de Thomson en Melbourne".

R. ALBERT, J.P. CHABAL, B. TARDIEU (France)

"Proyecto hidroeléctrico de Ban Mai en Vietnan. Estudio de viabilidad. Aspectos sociales y medioambientales".

▼ TEMA 4.

M. HARADA, H. MORIMOTO, T. KOKUBO, K. KATAOKA (Japón) R. 62

"Resultados y efectos de la operación de un sistema de derivación de sedimentos".

T. COULTER, D. LARSEN, P. MANGAN (USA) R.33

"Como cumplir las necesidades, definir los objetivos, gestionar las afecciones, e implementar con éxito los proyectos".

K. STORM, L. SANTBERGEN (Holanda) R.47

"Una visión en la gestión integrada del agua en Holanda: el caso de la barrera sobre el Escut oriental".

D. KIDD, P. MANGAN (USA) R.31

"Aplicación de una metodología para la participación pública en un proyecto de recursos de agua".

R. BISCHOF, R. HAGIN, W. HAUENSTEIN, R. LAFITTE, L. MOUVET (Suiza) R.64

"205 presas en suiza para el bienestar de la población".

En la presentación de estas Comunicaciones Seleccionadas se desarrollaron los aspectos ya descritos en este trabajo, ya sea en la Ponencia General o en el detalle de los Informes presentados por España. Además en estas sesiones las comunicaciones coinciden con Informes presentados al Congreso, por lo que pueden consultarse para más detalle en los "Proceedings" del mismo (2).

Del análisis de las Comunicaciones seleccionadas y de las intervenciones y discusiones de las sesiones, se puede sintetizar los siguientes puntos principales:

▼ Los informes presentados demuestran los importantes beneficios que han producido las presas y los embalses en el abastecimiento de agua a las poblaciones e industrias, en el regadío y producción de alimentos y en la producción de una energía hidroeléctrica limpia y renovable. Ello ha contribuido de manera muy significativa al desarrollo de las naciones y al bienestar de la población.

▼ Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales de mayor impacto socioeconómico. Los daños producidos por las inundaciones se están incrementando de forma exponencial desde la última década. Una de las medidas más efectivas para la lucha contra las avenidas es la construcción de presas y en particular la de presas en las que la laminación es su único objetivo, o su objetivo principal. Los datos que se han presentado en los informes indican una reducción muy significativa en los caudales punta que puede llegar a ser del 80%. En numerosas situaciones de avenida se han superado reducciones del 50%.

▼ Las presas y embalses deben enmarcarse en un enfoque integral dentro de la problemática de los recursos hídricos y de las inundaciones, analizando sus ventajas e inconvenientes frente a otras alternativas. En numerosas ocasiones las presas constituyen la alternativa más eficaz social y económicamente.

▼ En los países en vías de desarrollo, donde todavía gran parte de la población no dispone de agua potable, lo que da lugar a graves problemas de salud, la construcción de pre-

Las represas pueden representar la única salida para el despeje de la situación actual. Igualmente la regulación de los ríos mediante embalses es indispensable en muchos casos para cubrir las necesidades de alimentos y la producción de energía.

▼ Las afecciones e impactos medioambientales de las presas puede ser importantes en algunos casos. En general hay que prestar a los aspectos ambientales igual o más atención que a los temas relativos a la propia presa. Al final la decisión consistirá en lograr un balance sostenible entre los beneficios, los costes y las afecciones sociales y medioambientales. El proceso de decisión debe ser global, abierto y amplio.

▼ Las consideraciones medioambientales y sociales deben considerarse desde el inicio del proceso de planificación, y ponderarse adecuadamente en los estudios de viabilidad

▼ Los procesos de decisión deben estar abiertos a la participación pública, y en ellos deben considerarse los intereses de las personas afectadas.

▼ En la mayoría de los países del mundo existen standards, regulaciones, leyes y procesos de evaluación de las afeccio-

nes sociales y medioambientales que aseguran que la construcción de presas y su operación se lleve a cabo dentro del marco del desarrollo sostenible.

▼ En la explotación de las presas existentes se puede producir un cambio en el entorno técnico, económico, social y medioambiental en el que fueron construidas, por lo que en estos casos es necesario adaptar su explotación a las nuevas circunstancias, modificando en su caso las estrategias de operación.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. ICOLD (1999). "Workshop on Benefits and Concerns about dams. Case studies" Antalya.Turquia.
- 2. ICOLD (2000). "Transactions del 20 Congreso Internacional de Grandes Presas". Vol. II. Beijing
- 3. ICOLD (2000). "Bulletin on Dams and Floods". Draft. Paris.
- 4. ROO, H. (2000). "Benefits of and concerns about dams". GR Q.77. Transactions del 20 Congreso Internacional de Grandes Presas. Vol. II Pág. 1123 – 1186. ■

PRECIOS SUSCRIPCIÓN

AÑO 2001

España y Portugal.....	8.000	☐
Otros países.....	11.500	☐
Alumnos E.T.S.I.C.C. y P....	3.700	☐
Ejemplares sueltos	1.500	☐

El importe de las suscripciones para extranjero podrá hacerse efectivo mediante talón bancario por su equivalente en pesetas.

ORDEN DE SUSCRIPCIÓN

Nombre:

Nº Colegiado:NIF:

Empresa:.....CIF:.....

Dirección:.....

Ciudad: CP:

Teléfono: Fax:

La suscripción se renueva todos los años automáticamente salvo aviso contrario antes del 31 de diciembre de cada año

FÓRMULAS DE PAGO

☐ CHEQUE A FAVOR DE REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

□ POR TRANSFERENCIA [Caja Caminos, Ent. 3172; O.P. 0001, Almagro 42-28010 Madrid; D.C. 72. C.G. 9800030328]

☐ DOMICILIACIÓN BANCARIA: Entidad:

Dirección :

Sucursal n° : Población: CP:

C.C.C. |

ENTIDAD

OFICINA

D.C.

NÚMERO DE CUENTA

FIRMA

OFERTA ESPECIAL

**PARA NUEVOS
COLEGIADOS
DURANTE 2 AÑOS
A 3.700 ptas**

rop@caminos.recol.es

www.ciccp.es/rop/index.htm



PRESA DE ITOIZ

Raimundo José Lafuente Dios

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Confederación Hidrográfica del Ebro

Miguel Zueco Ruiz

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Confederación Hidrográfica del Ebro

RESUMEN

El embalse de Itoiz, contará con una capacidad de 418 hm³, con los que, en combinación con el canal de Navarra, satisfará una serie de demandas, el riego de 57.713 ha y el abastecimiento de agua de 354.500 habitantes y de 650 ha de suelo industrial. También permitirá la laminación de las avenidas del río Urrobi y producirá un 6,54% de las necesidades de energía de Navarra. La presa de Itoiz, localizada en el río Iratí, es una presa de gravedad de hormigón, tiene 122 m de altura sobre cimientos y 525 m de longitud de coronación. Las obras están constituidas por la presa principal, una presa auxiliar en un collado lateral, la toma del canal de Navarra, incluyendo un tramo a cielo abierto, y el resto de las obras auxiliares.

ABSTRACT

The Itoiz reservoir will have a capacity of 418 Hm³ which together with the Navarra channel will serve to irrigate 57,713 hectares, provide a water supply to 354,500 inhabitants and supply 650 Ha of industrial land. It will also allow the splitting of the river Urrobi freshets and cover 6.54% of the energy requirements of Navarra. The Itoiz dam, set on the Irati river, is a 122m high concrete gravity dam with a 525 m long topping. The work will be formed by a main dam, an auxiliary dam set in a lateral pass, the intake from the Navarra channel, including a open cut section, and the remainder of the auxiliary works.

INTRODUCCIÓN

El canal de Navarra y la presa de Itoiz, unidos en un binomio inseparable, constituyen una pieza fundamental en el sistema de regulación de Navarra. En este artículo se van a describir exclusivamente las obras correspondientes a la presa de Itoiz y su embalse pero, en la justificación de la obra, hay que tener presente en todo momento el proyecto del canal de Navarra cuya materialización como arteria esencial de la infraestructura hidrológica navarra se va a comenzar en muy breve plazo.

El contratista principal de las obras de la presa de Itoiz es una UTE compuesta por NECSO, OHL y SACYR, la asistencia técnica es otra UTE formada por INITEC e INTECSA y el servicio de seguridad corre a cargo de PROSEGUR.

MARCO GEOGRÁFICO. EL RIO IRATI Y SU CUENCA Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La presa de Itoiz se encuentra en el río Iratí, aguas abajo de la confluencia con el río Urrobi, en el término municipal del Valle de Lónguida.

El río Iratí nace en Francia y penetra en territorio español después de un recorrido de unos 15 km. Muy poco después de la frontera, se le une un afluente de nombre Urchuría, que aporta las aguas de los neveros y manantiales del pico de Ori (2 015 m) y juntos alimentan el embalse de Irabia, de 13,6 hm³ de capacidad. Sigue su curso por el valle encajonado que recibe el nombre de valle de Aézcoa y es objeto de numerosos aprovechamientos hidroeléctricos en sucesivos saltos, tales como el de Arive, Oroz-Betelu, Artozqui, Usoz,

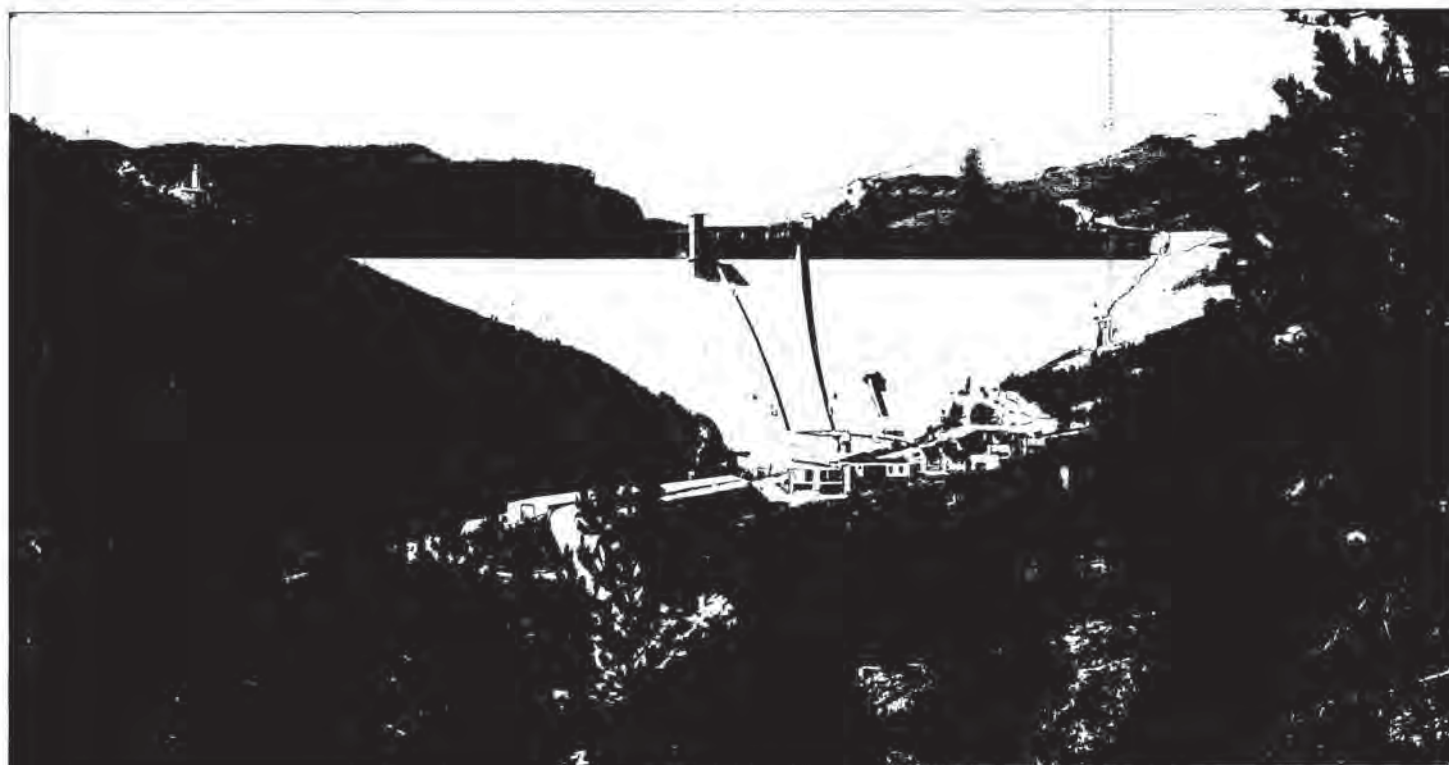


Figura 1. Presa de Itoiz. Vista desde aguas abajo.

Aoiz, etc, todos ellos como el de Irabia de la sociedad Fuerzas Eléctricas de Navarra.

A partir de la confluencia con el Erro, la cuenca cambia de aspecto, tornándose más llana para pasar al pie de Lumbier, donde se le une el Salazar y corta, a continuación, el macizo calcáreo de la sierra de Leyre por medio de un cañón denominado la foz de Lumbier. A la salida del cañón, contournea el cerro donde se alza Liédena y une sus aguas a las del Aragón. Sólo tiene cuatro afluentes dignos de mención: el Urrobi y el Erro por la derecha y el Areta y el Salazar por la izquierda.

El Urrobi nace en Roncesvalles y forma en su recorrido el pintoresco valle de Arce, hoy casi totalmente despoblado.

El Erro nace cerca de los Alduiles (frontera francesa) y por la val de Erro desciende a la tierra llana, describiendo en Urroz un brusco codo hacia la izquierda para desembocar, poco después, en el Irati.

El río Areta es de poco caudal y su cuenca no está muy arbolada, a diferencia de las partes altas de los tres ríos antes referidos donde abundan las hayas y abetos primero y robles y pinos después.

El Salazar, de caudal abundante, nace en dos brazos, llamados Anduña y Zatoya, que se juntan en Ochagavía, donde empieza el valle de Salazar. Su cuenca superior está muy arbolada y después de pasar por Navascués y atravesar el imponente cañón de Arbayún (foz de Arbayún), se mezcla con el Irati aguas abajo de Lumbier.

El embalse de Itoiz, a unos 2 km aguas arriba del pueblo de Aoiz, embalsará las aguas procedentes del Irati y del Urrobi, dejando aguas abajo los ríos Erro y Areta. La presa se sitúa aproximadamente a 1 km aguas abajo de la confluencia del río Irati con su afluente el Urrobi.

Las coordenadas UTM de la intersección del eje de la presa principal con el eje del cauce del río Irati, son aproximadamente $X = 634.000$; $Y = 4.740.400$.

ANTECEDENTES

En abril de 1974, la Confederación Hidrográfica del Ebro redactó el anteproyecto de embalse de la foz de Lumbier, situado aguas abajo de la confluencia de los ríos Aragón e Irati (aguas abajo, por tanto, de la confluencia del Salazar con el Irati), con el objetivo de obtener la máxima regulación del río Irati. Las afecciones a las que daba origen la creación del embalse, especialmente la anegación del pueblo de Lumbier, motivaron la intervención de la Diputación Foral de Navarra en el sentido de que se estudiaran otras alternativas que, cumpliendo el mismo objetivo de regulación, minorasen el impacto social de las obras. Como consecuencia de ello, se redactó, por el Centro de estudios Hidrográficos, en 1975, el denominado Estudio de Regulación de los Ríos Aragón e Irati en el que se recomendaba, aparte de otros embalses en los ríos Aragón y Salazar, el embalse de Aoiz en el río Irati.



Figura 2. Geología de la cerrada.

En diciembre de 1975 fue redactado el anteproyecto de los embalses de Aoiz(Navarra), Aspurz (Navarra) y Berdún (Zaragoza y Huesca).

Por resolución de la Dirección General de Obras Hidráulicas de 23 de junio de 1977, fue incoado el expediente de información pública del referido anteproyecto.

El 9 de marzo de 1988, la Dirección General de Obras Hidráulicas declaró concluido, y sin más efectos posteriores, el expediente de información pública mencionado anteriormente, al mismo tiempo que ordenaba: desechar la solución alternativa de regulación del río Irati mediante el embalse de la foz de Lumbier y el embalse de Berdún como obra de regulación del sistema Aragón-Irati. También ordenaba someter a información pública, una vez redactado, el proyecto de Itoiz (Aoiz en anteproyecto).

En febrero de 1989, la Confederación Hidrográfica del Ebro finalizó la redacción del proyecto de la presa de Itoiz.

USOS DEL EMBALSE DE ITOIZ

Los objetivos que se persiguen con la construcción de la presa de Itoiz y el llenado de su embalse son los siguientes:

- ▼ Transformación en regadío, a través del Canal de Navarra de 57.713 ha brutas (340 hm³/año).
- ▼ Abastecimiento de agua potable a 354.500 habitantes (70% de la población navarra) (50 hm³/año).

▼ Implantación de 650 ha de suelo industrial (10 hm³/año).

▼ Control de las avenidas del río Irati, se reducirá el caudal punta de la avenida de 1000 años de período de retorno de 776 m³/s a 410 m³/s.

▼ Producción de energía eléctrica mediante la instalación de dos centrales (6,54% de las necesidades de Navarra):

–La central de pie de presa estará equipada con dos turbinas Francis de eje vertical con una capacidad instalada de 26,2 MW. La producción media de esta central será de 145,2 GWh cuando no haya regadío y de 52,3 GWh cuando se haya puesto en riego toda la superficie

–La central de cabecera del canal de Navarra estará equipada con dos turbinas Kaplan de doble regulación y eje vertical, con una capacidad instalada de 13,1 MW. La producción anual de esta central se elevará desde 13,6 GWh cuando haya 20 000 ha puestas en riego hasta 29,3 GWh cuando se rieguen las 57.713 ha.

ENTORNO GEOLÓGICO

El sustrato geológico sobre el que se apoya la cerrada, de edad Eocena (Cuisiense y Luteciense Medio), constituido por margo-calizas, niveles turbidíticos, calizas grises y calizas



Figura 3. Embalse de la presa de Itoiz.

brechoides, es una base competente de cimentación, aunque con un cierto comportamiento diferencial en cuanto a alterabilidad y módulo de deformación. Los niveles turbidíticos son más alterables y tienen un módulo de deformación relativamente bajo mientras que los niveles de calizas son poco alterables y tienen un módulo de deformación relativamente alto.

La estructura del sustrato litológico es favorable a la estabilidad de la ladera derecha, con buzamiento de 15 a 20° hacia la ladera y desfavorable en la ladera izquierda, aunque algo oblicua a la misma, con valores de buzamiento similares.

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y EL EMBALSE

La cuenca tiene una superficie de 510 km² y la aportación media del río en el punto de cierre es de 675 hm³/año.

El embalse tiene una capacidad total de 418 hm³ de los cuales 8,5 hm³ corresponden al embalse muerto, se ha estimado una sedimentación de materiales sólidos de 8 hm³ durante los primeros 100 años de explotación del embalse, y una superficie inundada, a nivel máximo normal, de 1 100 ha. El volumen anual regulado se ha cifrado en 630 hm³/año.

El embalse tiene dos brazos diferenciados uno sobre el río Irati, de unos 12 km de longitud, que se extiende hasta Oroz-Betelu y el otro, de unos 6 km de longitud, sigue el río Urrobi hasta el pueblo de Nagore.

La descomposición del volumen de embalse en función de los diferentes conductos que desaguan las obras es el siguiente:

Elemento	Cota	Volumen	
		Parcial	Acumulado
Desagüe de fondo	506,58	8,50	8,50
Central hidroeléctrica	521,00	18,50	27,00
Canal de Navarra	534,00	35,00	62,00
Máximo nivel normal	588,00	356,00	418,00

DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Las obras de la presa de Itoiz se pueden descomponer en los cuatro apartados principales siguientes:

- ▼ Presa principal. Se ubica en el río Irati.
- ▼ Presa auxiliar. Situada en un collado lateral impide la salida del agua del embalse por el mismo.
- ▼ Canal de enlace. Denominado también tramo cero del canal de Navarra.
- ▼ Obras auxiliares.

PRESA PRINCIPAL

Para la descripción de los trabajos se va a considerar constituida por las siguientes partes:

- ▼ Cuerpo de presa.
- ▼ Desagües de fondo.
- ▼ Toma hidroeléctrica.
- ▼ Aliviadero.
- ▼ Auscultación.

Cuerpo de presa

La Presa de Itoiz es de gravedad, de hormigón convencional y planta recta. Tiene 122 metros de altura sobre cimientos, alcanzando la cota 592,00 metros sobre el nivel del mar. Esta altura viene limitada por la altitud topográfica del pueblo de Oroz-Betelu. La longitud de coronación es de 525 metros y su anchura es de 10,00 metros. El talud de aguas arriba es de 0,05 H/1,00 V, entre la cota máxima y la cota 515,00, y de 0,40 H/1,00 V entre esta última cota y la de cimentación. El talud de aguas abajo es de 0,75 H/1,00 V en toda su altura con la excepción de la estructura de coronación. Al fondo de la cimentación se le ha dado una pendiente mínima del 5% desde aguas abajo hacia aguas arriba.



Figura 4. Planta general de las obras. A la derecha, Figura 5. Planta de la presa principal y su entorno.

El volumen de hormigón del cuerpo de presa es de 1,34 millones de m³. Los trabajos de hormigonado de la presa principal concluyeron el 21 de septiembre de 1998.

Durante la ejecución de la presa sus juntas transversales la han dividido en 29 bloques de 18 m de longitud. La impermeabilidad de estas discontinuidades se ha confiado a una doble banda de neopreno ubicada en las proximidades del paramento de aguas arriba en cuyo interior se ha dispuesto un taladro encofrado (mediante un cilindro de poriespán). También se ha dispuesto una junta longitudinal a la presa con el objeto de disminuir las dimensiones de los bloques mayores en su parte inferior reduciendo el volumen de hormigón de las tongadas e incrementando su superficie con lo que se favorecía la disipación del calor generado en el fraguado del hormigón.

Con el objeto de facilitar su control y mantenimiento en explotación y la ejecución de determinados trabajos durante su construcción la presa de Itoiz cuenta con un sistema de galerías en su interior. Las galerías rectangulares rematadas en clave por un arco de medio punto tienen una anchura de 2,00 m y una altura de 2,50 m. Se han dispuesto cinco cercanas al paramento de aguas arriba, a las cotas 488, 510, 530, 552 y 574; tres, próximas al paramento de aguas abajo para permitir la inyección de la junta longitudinal, a las cotas 482, 500 y 518 y, por último, una galería perimetral. A estas galerías se les ha dado acceso desde ambos estribos y las de aguas arriba se comunican entre sí mediante la perimetral y por medio de un ascensor que tiene también una entrada en la coronación de la presa. Las dimensiones expresadas para las galerías son válidas con la excepción de la situada a la cota 510 cuyas carac-



terísticas se detallan más adelante cuando se trata de los desagües de fondo. En las cámaras de válvulas, una por cada desagüe de fondo, se ha instalado un puente grúa para el más fácil entretenimiento de aquéllas.

A las cotas 488 y 530 en estribo izquierdo y a las 488 y 532 en el derecho se han prolongado las galerías de la presa 100 m en cada estribo con el objeto de investigar las laderas y poder proceder a la inyección de las mismas.

El tratamiento de la cimentación, aparte de la imprescindible limpieza del terreno natural y el vertido de un mortero de regularización y adherencia, ha consistido en dos actuaciones. La primera ha estado constituida por un tratamiento no sistemático de las singularidades de la cimentación, con limpieza manual y mediante agua inyectada a presión de las fisuras y la posterior inyección con una lechada de cemento. La segunda ha sido una inyección de consolidación también realizada con una lechada de cemento.

La pantalla de impermeabilización la ha conformado también un tratamiento no sistemático de las zonas que en los reconocimientos se habían detectado como especialmente problemáticas y otro sistemático en dos fases. La primera con taladros distanciados 6 m entre los que, posteriormente, se perforaron los taladros de segunda fase. La presión de inyección de la primera fase osciló entre 5 y 17 kg/cm² y en la segunda fase se llegó hasta los 22 kg/cm². Se comenzó, en la primera fase, con una dosificación con una relación cemento agua de 1,5 a 1 que, cuando las admisiones eran muy altas, se aumentó hasta 2 a 1. En la segunda fase, tras una dosificación inicial 1,5 a 1, se pasó, debido a las pequeñas admisiones obtenidas,

a otra 1 a 1, con incrementos ocasionales cuando las admisiones aumentaban hasta 1,5 a 1 ó incluso 2 a 1. Todo el proceso se ha controlado mediante la ejecución de ensayos Lugeon. Se ejecutó una tercera fase en aquellos taladros que habían tenido mayores admisiones.

La pantalla de drenaje se ha ejecutado a continuación de la pantalla de impermeabilización y ha consistido en una serie de taladros perforados verticalmente desde la clave de cada galería hasta la situada inmediatamente encima pero cortándolos un metro antes de alcanzarla. En cimentación se han perforado los taladros aguas abajo de la pantalla de impermeabilización para disminuir las subpresiones bajo la presa.

Los órganos de desagüe de la presa, exceptuando la Toma del Canal de Navarra que se ubica fuera del cuerpo de presa, están constituidos por los desagües de fondo, una toma intermedia y el aliviadero de superficie.

Desaques de fondo

Los desagües de fondo están compuestos por dos conductos rectangulares que atraviesan el cuerpo de presa. La cota del umbral de la embocadura es la 506,575. La salida de los dos conductos está en el mismo cuenco amortiguador en el que se produce la pérdida de carga del vertedero de superficie. El caudal máximo a embalse lleno de cada uno de los dos desagües es de 141 m³/s.

Cada conducto tiene dos partes, la primera, hasta las compuertas Taintor de 1.750 x 2.100 mm² estará en carga y, a continuación de éstas y hasta la salida, el agua circulará en lámina

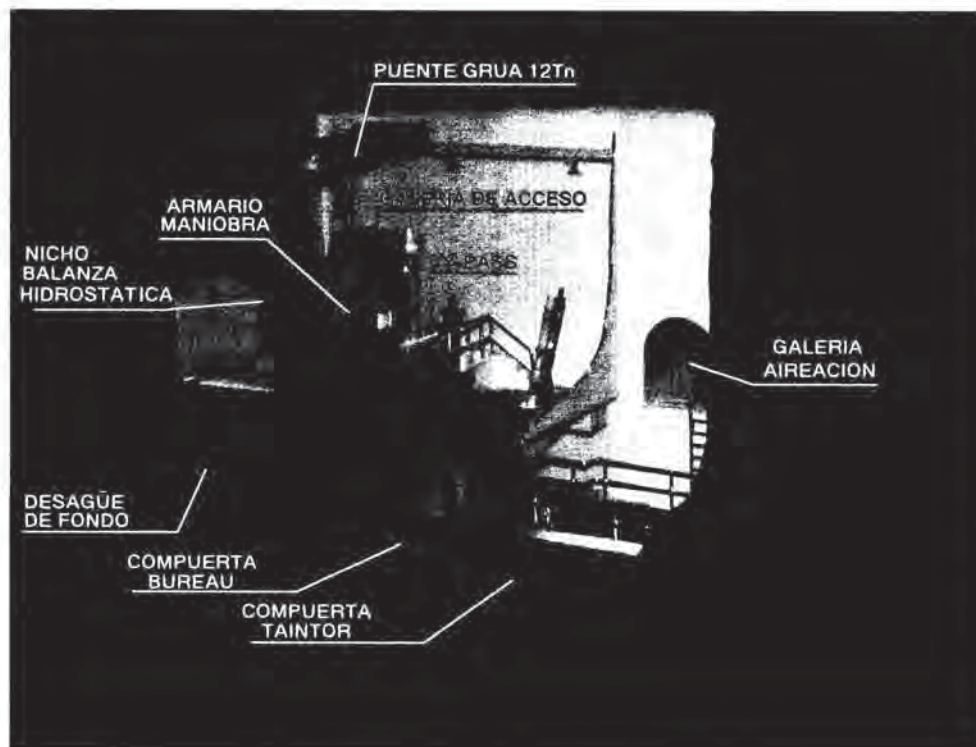


Figura 7. Corte, en maqueta, de la cámara de válvulas.

arco de medio punto y comunicadas con el exterior. La aireación de las válvulas Bureau se obtiene mediante sendas tuberías de hormigón de 70 cm de diámetro, que actúan como encofrado perdido, cuya salida está en la coronación de presa, en las pilas del puente sobre el vertedero. En el cambio de pendiente de la clave de la conducción, allí donde pasa a ser horizontal, se han construido sendos pozos que sirven para la aducción de aire e impedir que la lámina de agua choque con el techo y se produzcan golpes pulsatorios por el arrastre del aire.

Las válvulas Bureau tienen un bypass para permitir su maniobra con presiones equilibradas en toda ocasión salvo, naturalmente, en casos de emergencia. No obstante, las prescripciones exigen

la posibilidad de que funcionen con la compuerta de maniobra (la Taintor) completamente abierta y el embalse en su nivel máximo normal, condiciones en las que se deberá probar. Disponen estos mecanismos de una varilla de indicación de nivel de apertura y de un dispositivo de trincaje para mantener

la compuerta abierta durante largos períodos de tiempo aunque se produzcan pequeñas fugas en el circuito oleo-hidráulico. El cierre de la válvula es metal-metal y se encuentra duplicado mediante juntas de neopreno cuya sustitución se podrá efectuar sin necesidad de disminuir la cota de agua en el embalse.

Las válvulas de regulación (Taintor) se podrán desmontar al igual que las Bureau de forma tal que se podrán sacarse al exterior de la presa para su reparación. Para facilitar el movimiento de materiales dentro y fuera de la presa, la galería de acceso a las cámaras de válvulas, situada a la cota 510,00, se proyecta de 3,00 x 3,00 m², con clave curva y trazado en planta con acuerdos circulares en los cambios de sentido para permitir el paso de vehículos ligeros.

La aireación de las válvulas sectoriales se produce mediante galerías rectangulares de 2,00 x 2,50 m² con las claves en



Figura 8. Compuerta Bureau en obra.

La salida de los dos conductos de desagüe de fondo se produce en los laterales del mismo cuenco amortiguador en que descarga el vertedero de superficie y que se describirá en un apartado posterior.

Toma hidroeléctrica

Un conducto metálico de 3,10 m de diámetro interior, cerrado por una compuerta vagón y una ataguía, atraviesa la presa y tras un codo, convexo hacia arriba, desciende sobre el paramento de la presa y con otro codo, cóncavo hacia arriba, consigue la horizontalidad, se cierra con una brida ciega que, posteriormente, será eliminada para conducir el agua a la futura central hidroeléctrica de pie de presa.

Se ha dispuesto una acometida en la conducción con un diámetro interior de 750 mm que permitirá aportar al río los caudales necesarios para atender a los riegos actuales del río Aragón que se abastecen del río Irati y el caudal de compensación. La tubería arrojará, mediante una válvula Howell-Bunger, el chorro de agua al cuenco amortiguador. La válvula de seguridad de este sistema será una Ring-Follower.

También se dispone en la conducción de 750 mm una toma para el abastecimiento de agua a la población de Aoiz.

Aliviadero

El aliviadero tiene su labio a la cota 588,00 y se sitúa entre los bloques 3 a 4, ambos inclusive. Los bloques centrales de la presa son el 1, situado a la izquierda y el 2, a su derecha, a continuación, el bloque 3 se localiza a la izquierda del 1, el 4 a la derecha del 2 y así sucesivamente.

El vertedero es de labio fijo, con un perfil Creager, con cuatro vanos de 12,50 m de longitud libre separados por pilas de 1,25 m totalizando 53,75 m a la salida del vertedero. El canal de descarga, apoyado sobre el paramento de aguas abajo de la presa, se estrecha desde su anchura superior hasta 22,70 m a 46,60 m medidos en horizontal del punto de salida del vertedero y continúa con esa dimensión hasta su llegada al cuenco.

Inmediatamente aguas abajo de la presa, el río Irati tiene un brusco cambio de dirección hacia la derecha. En la zona cóncava de la ladera se da una disposición de los estratos altamente inestable habiéndose producido deslizamientos durante la ejecución de la excavación que han obligado a su tratamiento mediante limpieza y retirada de los materiales movidos, tratamiento de diaclasas y fallas, cosido mediante bulones, muros anclados, plantaciones, etc.

Por otra parte, está prevista la construcción de una central hi-

droeléctrica al pie de la presa y, en concreto, en la margen izquierda del río. La margen derecha está ocupada por el canal de desvío.

Los dos condicionantes mencionados condujeron al proyecto de un dispositivo de amortiguamiento de energía tipo resalto en lugar de tipo trampolín que es más barato habitualmente. El cuenco, por sus menores dimensiones, producirá un menor impacto ambiental, dejará más espacio disponible en la margen izquierda del río para la central hidroeléctrica y eliminará el choque con los estratos inestables de la ladera izquierda.

El cuenco amortiguador tiene dos partes diferenciadas: el cuenco principal y un subcuenco secundario.

El cuenco principal tiene un primer tramo, de 26,00 m de longitud, en la zona inmediata a la salida del canal de descarga del vertedero y con el que tiene un acuerdo vertical circular de 10,00 m de radio. El segundo tramo está constituido por una elipse de 51,144 m de longitud en su eje que tiene por objeto adaptarse a la geometría del cauce. La tercera de las alineaciones vuelve a ser recta y de una longitud también de 26,00 m incluyendo el vertedero de salida del cuenco (Tabla 1).

En esta tabla se puede comprobar el importante efecto de laminación que supone la existencia del embalse que permite reducir la avenida de 500 años de periodo de retorno en un 46% y la de 1000 años de periodo de retorno en un 47%.

Auscultación

Se han instrumentado nueve secciones de la presa principal. El número de sensores instalados es el siguiente:

- ▼ 120 termómetros, 70 de los cuales se han centralizado,
- ▼ 13 medidores de juntas,
- ▼ 14 extensómetros de varillas,
- ▼ 22 extensómetros en el hormigón más 23 en cada una de las secciones del desvío del río,
- ▼ 26 piezómetros,
- ▼ 130 ternas de base,
- ▼ 10 piezómetros abiertos,
- ▼ 3 sismógrafos y
- ▼ 2 secciones instrumentadas con péndulos tanto directos como inversos.

TABLA 1				
Período retorno Años	Entrada punta	Salida punta m³/s	Máximo Nivel m³/s	Laminación m.s.n.m.
500	650	350	590,201	46%
1000	776	410	590,427	47%
10000	963	565	590,968	41%



Figura 9. Presa auxiliar y pozo de compuertas de la toma del canal de enlace.

Además se ha instalado, en las proximidades de la presa, una estación meteorológica y se ha construido una estación de aforos en el río Irati, aguas abajo de la presa, que permite la medida de los caudales circulantes por el río. Durante toda la construcción de la presa, desde que se habilitó el desvío del río en particular, se han medido los caudales diariamente que han tenido paso por este último.

PRESA AUXILIAR

La presa auxiliar tiene una altura de 24 metros sobre cimientos con la misma cota de coronación que la presa principal. Tiene como finalidad impedir la salida del agua por un collado lateral cuya vertiente sur confluye con el río Irati en un punto localizado aguas arriba de la localidad de Aoiz.

Actualmente, y tras concluir la variante provisional de la NA-172, se ha comenzado el hormigonado del bloque 0. Restan únicamente por concluir este bloque 0 y los adyacentes, 1 y 2, que no se coronaron en su día con el objeto de disminuir el desnivel entre unos bloques y otros.

TOMA DEL CANAL DE NAVARRA Y CANAL DE ENLACE

La toma del futuro Canal de Navarra, incluida dentro del Proyecto de la Presa de Itoiz, consta de una conducción de aproximadamente 3 km de longitud. Tras la embocadura, que

se ubica en una vaguada en la ladera izquierda del embalse, a la altura de la presa auxiliar, hay un primer tramo en túnel de aproximadamente 1.200 m y otro segundo a cielo abierto de aproximadamente 1.800 m. Entre ambos está intercalada la caseta de válvulas.

El túnel tiene una sección circular de 4,50 m de diámetro interior resultado del revestimiento de una excavación de



Figura 10. Toma del canal de Navarra. Caseta de válvulas e inicio del mismo.

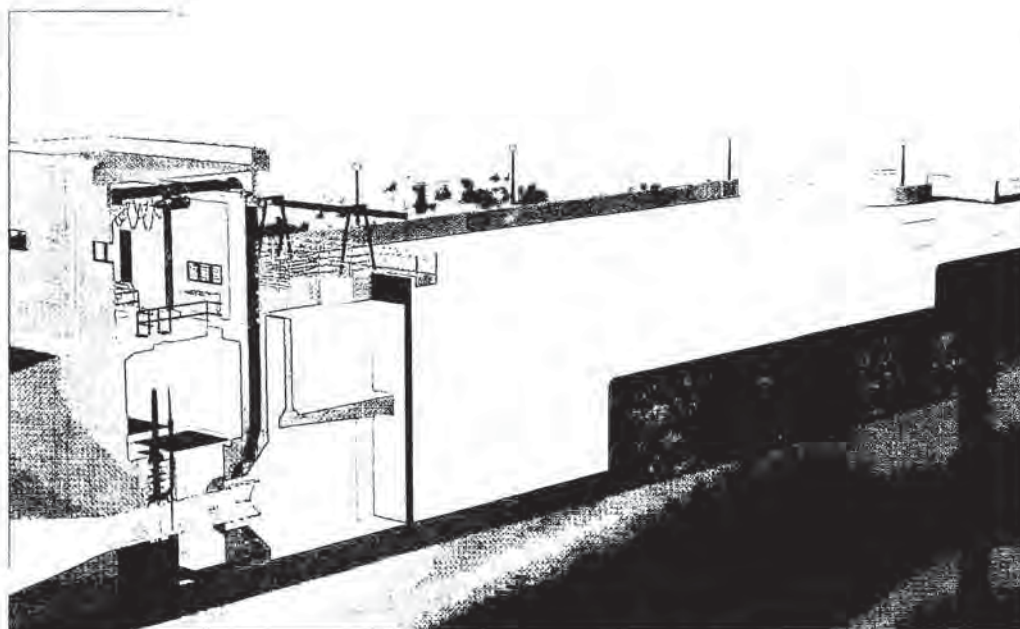


Figura 11. Sección de la caseta de válvulas.

5,30 m de diámetro. A la altura del paso del túnel por la presa auxiliar, coincidente con la salida del embalse, se ha dispuesto un pozo vertical con una torre de compuertas (ubicada en el estribo derecho de la presa auxiliar) donde se ha

instalado una compuerta vagón, que permitirá el cierre de la sección total del túnel y la puesta en seco de la mayor parte de la longitud del mismo. Aguas arriba de la mencionada compuerta se ha dispuesto una ataguía de seguridad. Dado que la explotación del túnel se realizará con el mismo en carga se ha debido blindar el tramo final del mismo, en una longitud de 55 m, con el objeto de impedir la hidrofracturación del revestimiento de hormigón al haber poca altura de revestimiento de tierras. En el final del túnel mediante una transición cónica se reduce el diámetro del conducto hasta los 4,00 m.

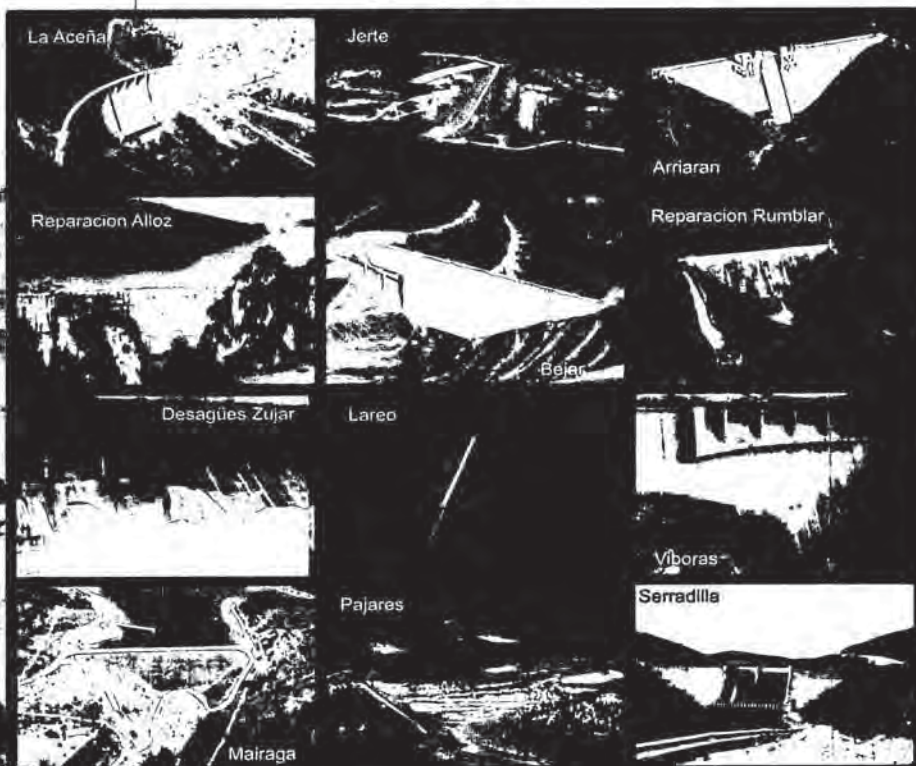
Inmediatamente después de la salida del túnel y antes de la caseta de válvulas, se ha dispuesto una bifurcación, uno de cuyos ramales se ha cerrado con una brida ciega hasta que se construya la futura central del canal. Cuando ésta se encuentre terminada se podrán turbinar las aportaciones al canal.

AGUA Y MEDIO AMBIENTE


euroestudios, s.a.
Ingenieros de consulta



- * Planificación Hidrológica
- * Presas
- * Abastecimiento
- * Saneamiento
- * Hidráulica
- * Canales
- * Obras Marítimas
- * Obras de Mantenimiento



OFICINAS CENTRALES: C/ CASTELLO, 128 - 28006 MADRID
TELF.: 915 903 546 www.euroestudios.es
DELEGACIONES: BARCELONA, SAN SEBASTIAN, VITORIA, ZARAGOZA



Figura 12. Contraatagüa y canal del desvío.

Debajo de la caseta de válvulas, que supone el paso de la conducción en carga al canal con lámina libre, se ha instalado una trifurcación con tres salidas de 1,50 m de diámetro. Cada una de las salidas dispone de una válvula Howell-Bunger con salida sumergida en sendos recintos individuales y una válvula, aguas arriba de la anterior, tipo Ring-Follower. Para prevenir el caso de avería de una de las tres válvulas de chorro hueco se ha dispuesto una atagüa. Si es preciso el mantenimiento o la reparación de una de las tres válvulas de maniobra se pueden cerrar la correspondiente válvula de seguridad, la Ring-Follower cuyo funcionamiento es únicamente de apertura o cierre total, y la atagüa con lo que es posible continuar el servicio con las otras dos válvulas útiles.

Los tres compartimentos de desagüe de las Howell-Bunger tienen la salida en una piscina, común a las tres, dispuesta, a su vez, en el interior de otra de mayores dimensiones. Se asegura con estas disposiciones la sumergencia de la salida de las válvulas. En el frente opuesto a las válvulas la piscina de mayores dimensiones tiene una apertura rectangular coincidente con el comienzo del canal de enlace.

El tramo a cielo abierto tiene una sección rectangular de 10,50 m de anchura y 4,15 m de altura sobre solera. Pasa por debajo de la nueva variante a Nagore, motivada por la futura inundación de la antigua carretera por el embalse. El punto final del canal de enlace construido se continuará, con la misma sección, hasta la balsa de Villaveta.

El caudal máximo del conjunto de toma es de 112 m³/s, equivalente a la capacidad del sistema a embalse lleno y con la máxima apertura de sus elementos de maniobra.

OBRAS ACCESORIAS

Las conforman el conjunto de todas las obras necesarias para la construcción y explotación del embalse y las constituyen los caminos de acceso, edificios de administración y explotación, almacenes, laboratorio, plantas depuradoras, obras de urbanización, tratamientos de estabilización de laderas, tratamientos de vertederos, reforestaciones y demás obras de corrección de impactos ambientales, así como la reposición de servidumbres, etc.

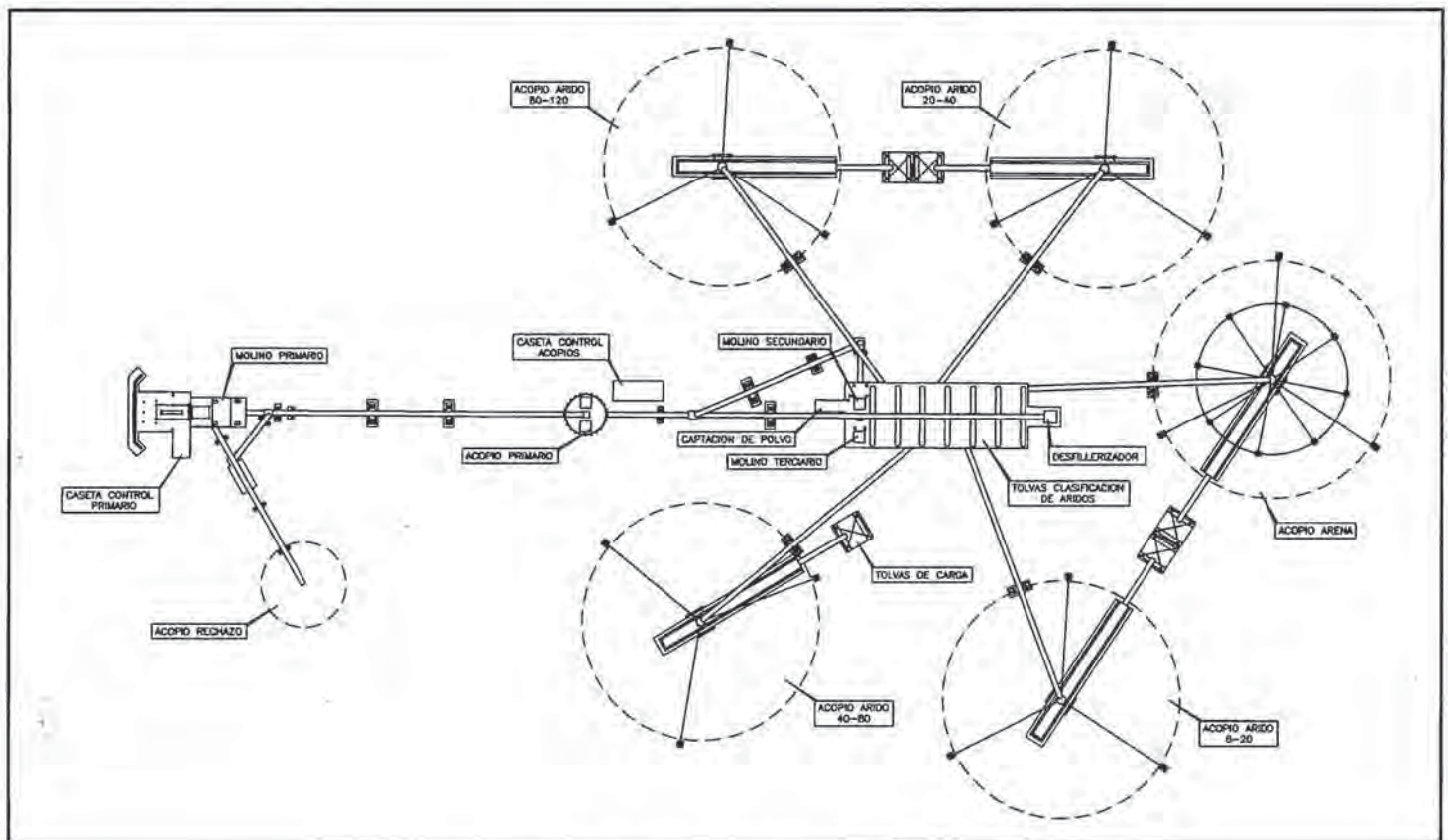


Figura 13. Disposición de la planta de machaqueo.

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

DESVÍO DEL RÍO

Para poder ejecutar las obras ha sido preciso proceder a la construcción de un desvío del río compuesto por una ataguía, una contraataguía y un canal de desvío.

La ataguía es también una gran presa heterogénea de materiales sueltos de 25 m de altura, con un núcleo de arcillas procedentes del mismo vaso del embalse, espaldones de material granular, un filtro-dren y una protección de escollera en los paramentos de aguas arriba y aguas abajo.

La contraataguía, presa de mucha menor altura que la anterior, cuenta también con una protección de escollera.

El desvío del río se ha dividido, a su paso bajo la presa, en dos conductos con el objeto de disminuir la sobrelevación de la lámina en la curva existente bajo la presa. La capacidad del desvío es de 500 m³/s, próximo a los 100 años de período de retorno.

CANTERA EXPLOTADA

La cantera explotada para la presa de Itoiz se encuentra en las cercanías de la reserva natural del Poche de Chinchurre-

nea. Ello ha obligado a una explotación acorde con las exigencias de la protección a las rapaces, principalmente buitre leonado, en particular durante su período de nidificación.

Se trata de unas calizas micríticas de una calidad muy buena, pertenecientes al mismo nivel que también se explota en las canteras de la sierra de Alaiz. Los condicionantes de la Declaración de Impacto Ambiental, que prohíben la extracción por encima del nivel de máximo embalse, han supuesto la insuficiencia de la cantera prevista en el proyecto para el abastecimiento completo de la obra. Ha sido preciso, por tanto, aportar áridos, del orden de una tercera parte de las necesidades totales de la obra, de las canteras comerciales de la mencionada sierra de Alaiz.

Para el transporte de la piedra desde la cantera hasta la planta de machaqueo se ha abierto un camino independiente de la NA-172 que no entra en el núcleo urbano de Orbaiz. El transporte por este camino se ha realizado con dumpers extraviales de 50 toneladas.

PLANTA DE MACHAQUEO

La planta de machaqueo se encuentra situada entre la cantera y la planta de hormigón. En el hormigón de la presa principal se han utilizado un tamaño de arena, de 0 a 6 mm, y

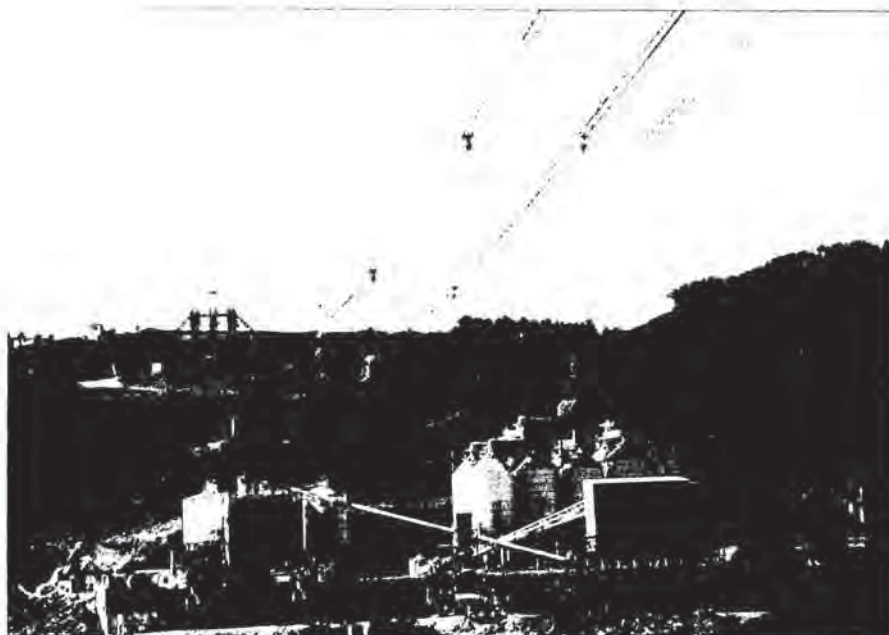


Figura 14. Planta de hormigón.

cuatro tamaños de árido grueso: 6 a 20 mm; 20 a 40 mm; 40 a 80 mm y 80 a 120 mm.

En la planta de machaqueo, que ya se ha desmontado, se encontraba, en primer lugar, la tolva de recepción de áridos donde descargaban los dumperes procedentes de la cantera. A continuación, se cribaba el material de forma que se eliminaba todo el material de tamaño inferior a 4 cm. Este rechazo, procedente de cantera, ha sido utilizado en muchos rellenos drenantes y explanadas, sustituyendo a zahorras artificiales con excelentes resultados.

El material de tamaño superior a los 4 cm se machacaba en el molino primario. Se trataba de un molino de impactos, con una producción de 700 t/h y 600 CV de potencia. El tamaño máximo de entrada en el molino era 1 m y el máximo de salida 200 mm. El material de tamaño superior a 120 mm que salía del molino se devolvía a la entrada al mismo para volver a machacarlo.

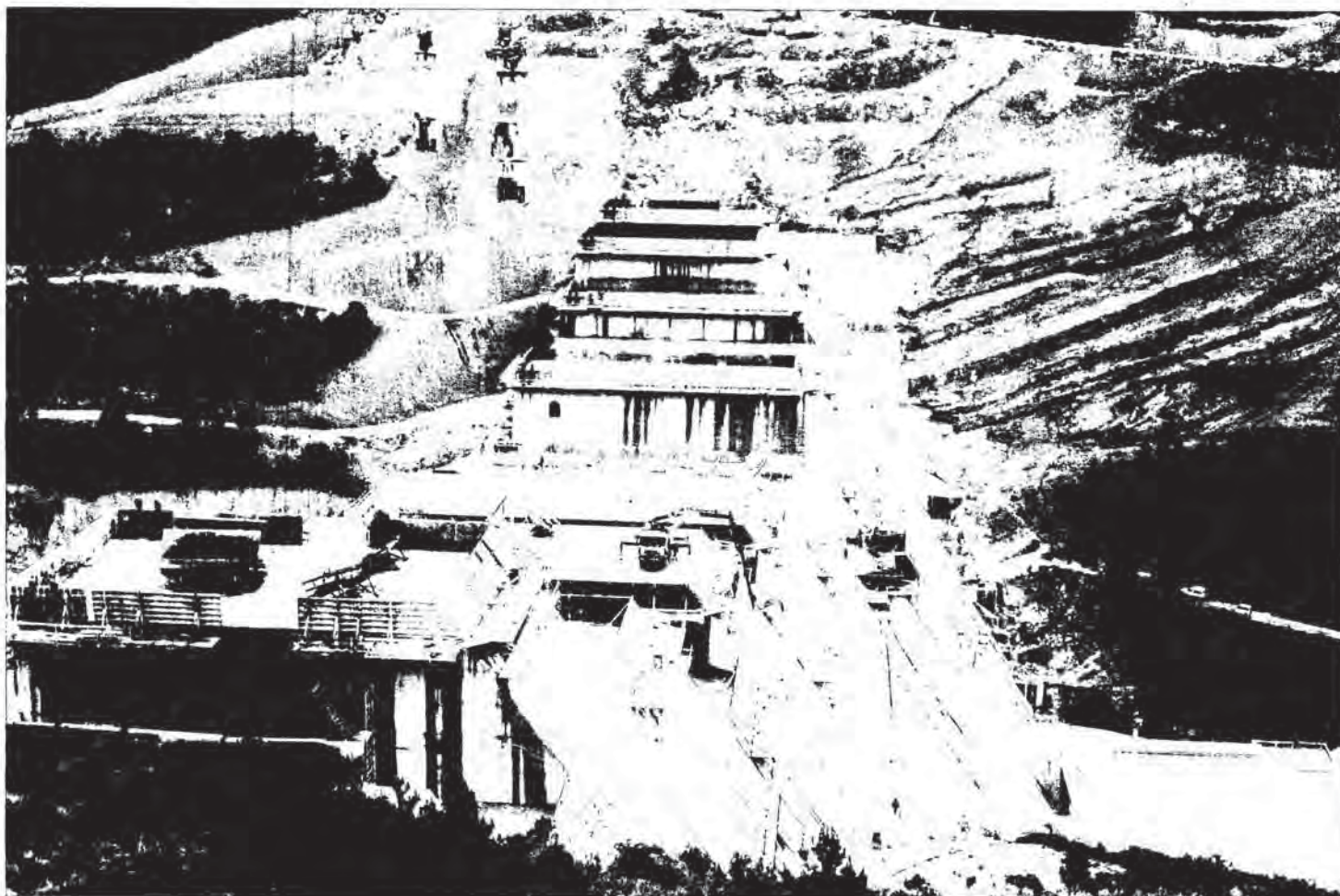


Figura 15. Transporte de hormigón con los blondines.

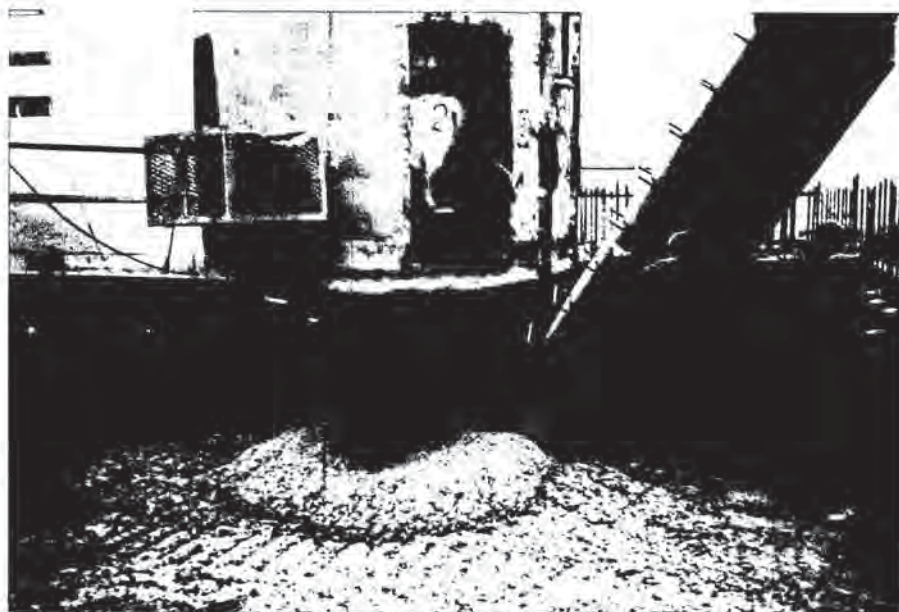


Figura 16. Puesta en obra del hormigón.

El material se pasaba, mediante una cinta transportadora, por encima de la carretera Na-172 hasta el acopio primario, un silo con una capacidad de 1.000 t, que servía para «laminar» el exceso de producción de la instalación del primario sobre el resto de la planta.

El molino secundario, también de impactos, tenía una producción de 120 t/h y una potencia de 125 CV. Los tamaños máximos de entrada y salida eran 200 y 40 mm respectivamente.

La producción del molino de impactos terciario era de 90 t/h, con una potencia de 125 CV y un tamaño máximo de entrada de 80 mm.

En el mismo edificio donde se ubicaban los molinos secundario y terciario se encontraban las cribas que separaban los cinco tamaños ya mencionados y que llenaban las tolvas desde las que se cargaban los camiones. La carga de los vehículos de transporte se realizaba preferentemente desde las tolvas y, únicamente cuando éstas se encontraban llenas, unas cintas transportadoras conducían los áridos hasta cinco acopios dispuestos en forma de estrella con una capacidad unitaria de 10.000 t. El acopio de arena estaba cubierto para impedir un exceso de humedad en caso de lluvia.

Unas cintas, que tenían su entrada bajo el centro de los acopios, cargaban los camiones (bañeras) cuando las tolvas estaban vacías. Todo el movimiento de material en la planta se realizó, con la excepción de la carga del material último que quedó en los acopios, sin la necesidad de utilizar retroexcavadoras o cargadoras frontales.

Como instalación accesoria había un desfillerizador que eliminaba finos del árido. Durante toda la obra se ha controlado la cantidad de finos en el hormigón y su calidad por el

procedimiento del azul de metileno. Otros equipamientos complementarios, con el objeto de proteger el medio ambiente, han sido un captador de polvo, el carenado de las cintas de transporte y una balsa de decantación. Si bien todo el proceso se realizó por la vía húmeda el motivo de la balsa ha sido la eliminación de los finos arrastrados en el agua de limpieza de la planta evitándose así la contaminación de los cauces fluviales.

INSTALACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

Las instalaciones para la fabricación de hormigón se ubicaron en el estribo derecho de la presa contemplando varios aspectos simultáneamente, tales como la ubicación de la planta de machaqueo y el recorrido de transporte de los áridos, la disposición del sistema de puesta en obra del hormigón (andariveles o blondines), la existencia de espacio para las instalaciones, etc.

Debido a la poca superficie disponible en el estribo derecho, fue preciso realizar una importante excavación para la creación de la plataforma donde se ubicó la planta.

Para la fabricación del hormigón se ha trabajado con una dosificación por metro cúbico que contaba con 584 kg de arena 0/6 mm (se ha utilizado arena fabricada en la propia planta de machaqueo y arena comprada en plantas comerciales), 382 kg de árido 6/20, 415 kg de árido 20/40, 516 kg de árido 40/80 y 348 kg de árido 80/120. Se han utilizado 180 kg de un conglomerante compuesto por cemento y cenizas por cada metro cúbico de hormigón. La cantidad de agua fue de 115 kg/m³.

La entrada de los áridos a la planta se realizaba mediante dos tolvas, una para la arena y otra para los áridos gruesos. Desde las tolvas, mediante dos cintas transportadoras, se llevaba el material hasta la parte superior de los ocho silos que, con una capacidad unitaria de 1.000 t, se cargaban por la parte superior.

Los silos se descargaban por debajo y mediante cintas transportadoras se conducían a los sistemas de dosificación de áridos que eran dobles. La dosificadora disponía de seis tolvas dobles, dos para las arenas y cuatro para los otros tipos de áridos. Se realizaba un premezclado en la propia dosificadora al verterse los áridos en cada una de las dos cintas que transportaba el material hacia las amasadoras.

Al lado de la planta de hormigón había cuatro silos de 500 t de capacidad, dos para el cemento y dos para las cenizas y un depósito para el agua de 650 m³.

Las amasadoras fueron dos dobles de eje horizontal que, con una potencia total instalada de 650 CV, eran capaces de fabricar 380 m³/h de hormigón. El tiempo de amasado fue de 20 s y la duración total del ciclo de 72 s.

INSTALACIONES PARA EL TRANSPORTE Y LA PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

Para el transporte en general de la obra (maquinaria y encofrados, nunca personal) y para la puesta en obra del hormigón se instaló un sistema de tres andariveles (blondines) con una capacidad unitaria de 20 t. Los cubilotes de hormigón podían transportar 6,5 m³.

Cada uno de los tres blondines contaba con dos cables carriles que, con un diámetro de 62,5 mm, salvaban un vano de 801 m; un cable de traslación que formaba un bucle y un cuarto cable de elevación. La velocidad de traslación que se podía obtener con esta instalación era de 7,0 m/s en traslación y 2,5 m/s en elevación. La potencia total instalada fue de 6.350 kVA.

Como ya se ha dicho, los blondines instalados fueron tres (con colores diferentes: blanco, verde y naranja), cada uno contaba con un equipo distinto compuesto por un maquinista y un señalista, conectados mediante una frecuencia exclusiva de radio.

Tres cintas transportaban el hormigón desde la planta hasta los silobuses de carga de los cubilotes de los blondines. Cada una de las dos amasadoras descargaba en una de las cintas extremas y la intermedia era alimentada por una u otra de las amasadoras obedeciendo las instrucciones de un ordenador.

Los cables carriles se apoyaban, por un lado, en las «torres fijas» de la margen derecha, y por el otro, mediante unos carretones, que discurrían sobre el «camino de rodadura» de la margen izquierda.

Los cubilotes se descargaban por el fondo en la zona de colocación del hormigón, a continuación, éste se extendía con un bulldozer y se vibraba con un pulpo, dotado de seis vibradores, montado en una retroexcavadora.

El hormigón de presa, de 120 mm de tamaño máximo, tenía una consistencia seca, cono de Abrams cero. En los casos en que el hormigón procedía de plantas ajenas a las obras el tamaño máximo de árido fue 80 mm.

El espesor de tongada fue de 2,00 m en la presa principal y está siendo de 1,50 m en la auxiliar. La tongada de 2,00 m se extendía en tres subtongadas, o cuatro cuando el tiempo era muy caluroso. La máxima temperatura absoluta admitida ha sido de 40° y el máximo incremento de temperatura, medido como la diferencia entre la máxima alcanzada y la obtenida en el momento de la puesta en obra, ha sido de 22°. Entre cada dos tongadas se extendía un «mortero de retoma» constituido por un hormigón más rico en conglomerante y con un tamaño máximo de árido de 40 mm. Todos los paramentos verticales o pseudovericales se han realizado con hormigón de tamaño máximo 120 mm salvo el paramento de aguas abajo (0,75H/1,00V) y el de aguas arriba correspondiente al tacón japonés (0,40H/1,00V) que se ejecutaron con un tamaño máximo de árido de 40 mm y una consistencia más húmeda.

El encofrado de ambas presas ha sido trepante con unas dimensiones de tablero de 6,00 m de anchura por 2,00 m de altura (espesor de tongada) en la presa principal y 1,50 m en la auxiliar.

Se ha realizado un cuidadoso curado del hormigón manteniéndolo, después de su puesta en obra, húmedo, más bien mojado, bajo una lámina de agua, mediante el empleo de aspersores, «pajaritos», que se abastecían desde el mismo depósito que, a una cota superior a la de la planta de hormigón, suministraba a ésta el agua. Estas reservas se rellenaban mediante una bomba cuya toma se encontraba inmediatamente aguas abajo del final del canal de hormigón del desvío del río.

CONTROL DE LAS OBRAS

Durante la ejecución de las obras se ha mantenido un laboratorio en obra en el que se ha realizado el control de los materiales y una asistencia técnica para la vigilancia de aquéllas.

Para la determinación de las características del hormigón se han fabricado dos tipos de probetas: las convencionales cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura y otras cúbicas de 300 mm de lado. De las cilíndricas se han hecho 25.129 hasta el momento (está prevista la ejecución de 200 más) y de las cúbicas 198. La resistencia característica exigida ha sido de 20 MPa a 90 días. Se han roto probetas a 1 y 3 días (para decidir el momento en que se podía proceder al desencofrado), 7 y 28 días (para extrapolar resultados y tomar medidas correctoras sin necesidad de esperar a los 90 días), 90 días (edad de la resistencia característica) y a 180 y 360 días (para determinar la evolución futura del hormigón).

También se han probado (mediante ensayos físicos, químicos y mecánicos) las calidades de los componentes del hormigón: cemento, ceniza, mezcla de ambos, áridos (tanto los gruesos como las arenas) y el agua.

MEDIDAS CORRECTORAS DE IMPACTO AMBIENTAL

Durante toda la ejecución de las obras se han cumplido todos los condicionantes de la Declaración de Impacto Ambiental. Se ha constituido una Comisión de Seguimiento Ambiental que ha integrado miembros de la Dirección de Obra, del Contratista principal de las obras, de la Asistencia Técnica y del Gobierno de Navarra, del que han acudido representantes de las direcciones generales de Obras Públicas, Medio Ambiente, Agricultura y Cultura.

En las proximidades del embalse hay tres reservas naturales a ninguna de las cuales les afecta el llenado del embalse. Una de las tres reservas, concretamente la el Poche de Chinchurrenea, se ubica en las proximidades de la cantera que se ha utilizado para la extracción de los áridos que se han utiliza-



Figuras 17 y 18. Vertedero de Aoiz antes y después de las obras.



do en la fabricación del hormigón. El objetivo de la mencionada reserva es la protección del buitre leonado. Por ello, se ha debido tener una exquisita precaución con esta especie. En todas las voladuras durante el período de nidificación de las rapaces se ha realizado un exhaustivo seguimiento de las reacciones de estas aves por un ornitólogo especialista que ha estado presente en la práctica totalidad de aquéllas.

Otras especies a las que, entre otras, se ha dedicado una especial atención han sido la trucha, la nutria, cuya subida por el río, atravesando la cerrada, parece haberse confirmado, y el desmán del Pirineo, especie no incluida en la Declaración de Impacto Ambiental.

Se han realizado variantes en los principales núcleos urbanos, Aoiz y Orbaiz, con el objeto de aménorar las molestias que el tráfico, principalmente de transporte de áridos, pudiera producir en los habitantes.

Se ha buscado, en todo lo factible, que el impacto de las obras sea el menor posible, hasta el punto de que en algún caso se ha podido producir un efecto positivo. Por ejemplo, con los materiales procedentes de la excavación se ha recuperado un antiguo vertedero de residuos sólidos de Aoiz.

En las fotografías se puede comprobar el estado del vertedero antes y después del vertido de los estériles de la obra. ■

Q-76

LA UTILIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGOS EN LOS PROCESOS DE DECISIÓN RELATIVOS A LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS Y A SU GESTIÓN

Jesús Cajete Baltar

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Vocal Titular del Comité Nacional Español de Grandes Presas

RESUMEN

Se recoge en el presente artículo el Informe del Ponente General de la Cuestión 76: "La utilización del análisis de riesgos en los procesos de decisión relativos a la seguridad de las presas y a su gestión" que, por su extensión, se limita a su parte conceptual, la más importante, omitiendo deliberadamente los comentarios a cada una de las colaboraciones presentadas en el Congreso de Grandes Presas de Beijing (China) en septiembre de 2000.

ABSTRACT

The present article examines the General Report on Q-76: "The use of risk analysis to support dam safety decisions and management", taken from the Congress on Large Dams held in Beijing in September 2000, and which due to the sheer scale of the response is purely limited to the conceptual elements contained in the same.

1. TEMARIO DE LA CUESTIÓN

Como figura en el encabezamiento, la Cuestión 76 se refiere a la "Utilización del análisis de riesgos en los procesos de decisión relativos a la seguridad de las presas y a su gestión", habiéndose propuesto para su desarrollo los cuatro apartados siguientes:

- ▼ a) Conceptos de peligro y riesgo. Utilización de métodos probabilistas en la evaluación de riesgos y función de las bases de datos en la reducción de incertidumbres.
- ▼ b) Aplicación del análisis de riesgos en el diseño de obras nuevas y en la rehabilitación de presas en servicio.
- ▼ c) Gestión del riesgo utilizando planes de emergencia y otras medidas durante la explotación.
- ▼ d) Aceptación pública de los criterios de riesgo afectando a vidas humanas y su entorno.

Antes de describir abreviadamente el informe del Ponente General, el suizo Harald Kreuzer, señalamos que a esta cuestión se presentaron 48 informes procedentes de 22 países, 4 de los cuales tienen autores españoles. En las páginas siguientes se relacionan los títulos y autores de todas las comunicaciones que han servido de base para el trabajo que nos ocupa, como una guía para su posible consulta en las publicaciones del Congreso. Por el contrario, dada la extensión del tema y el gran número de colaboraciones se omiten deliberadamente los comentarios particulares de cada una de ellas.

2. INFORME DEL RELATOR GENERAL

El autor resalta que es la primera vez que un Congreso de ICOLD trata el riesgo como tema único de una cuestión. Y aunque anteriormente se hayan abordado ciertos aspectos de

esta noción es relativamente reciente la utilización del análisis de riesgo como un útil completamente desarrollado y reconocido para su aplicación al dominio de las presas.

Ciertos métodos científicos, tales como los análisis de fiabilidad y la teoría de la decisión encuentran ahora su aplicación en las presas, habiéndose celebrado recientemente diversas conferencias consagradas a este tema, una de las cuales tuvo lugar en Barcelona en el año 1998.

El ICOLD, por su parte, está preparando un Boletín titulado "Evaluación del riesgo como ayuda a la gestión de la seguridad de las presas".

Entre las razones que motivan este interés creciente están :

- ▼ El envejecimiento progresivo de las presas.
- ▼ La opinión cada día más frecuente de que el análisis del riesgo permite evaluar los márgenes de seguridad de forma más realista que los criterios tradicionales (deterministas).
- ▼ El deseo público de que los riesgos catastróficos sean cuantificados.
- ▼ La apreciación de la seguridad frente a la problemática de los cambios climáticos.
- ▼ La posibilidad de obtener ventajas económicas.

La justificación del recurso al análisis de riesgo (abreviadamente AR) proviene de la existencia de condiciones e incertidumbres y pretende estimar la probabilidad de un resultado (económico o en términos de seguridad) como una función de las mismas y, lo que puede ser más importante, evaluar el cambio de este resultado cuando dichas incertidumbres se reducen, lo que permite la comparación entre diferentes opciones en términos de fiabilidad. Los valores absolutos obtenidos, muchas veces criticados, tienen una significación menor.

La gestión del riesgo implica un cambio fundamental, partiendo de un razonamiento unidimensional basado en un conocimiento cierto hacia un razonamiento en varias dimensiones que tiene en cuenta convicciones e incertidumbres como elementos centrales de la gestión. No obstante, la aceptación de incertidumbres añade una dimensión suplementaria de diagnóstico que va más allá de lo que pertenece típicamente a las ciencias del ingeniero. La aceptación del análisis de riesgo, que está todavía en el comienzo de su desarrollo, es más difícil por este motivo.

3. ESTADÍSTICA DE ARTÍCULOS PRESENTADOS

La mayor parte de las ponencias se refiere a la evaluación de la seguridad de las presas existentes más que a los riesgos de diseño y construcción. Los aspectos institucionales, la clasificación de los riesgos y la organización de los planes de emergencia son escasamente abordados, en contraste con el buen número de ejemplos de las aplicaciones a presas en servicio. El error humano y el tema de los seguros tampoco son tratados con la profusión deseable.

4. ESTADO DE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO

4.1. ASPECTOS GENERALES

El AR es relativamente reciente en el dominio de las presas, en contraste con su aplicación, ya antigua, a la aviación y a la industria nuclear. Varias razones justifican esta situación:

- ▼ En primer lugar estamos ante un número relativamente escaso de presas y el carácter particular de cada una de ellas. Estas obras, un buen número de las cuales están desatendidas en cuanto a la observación de su comportamiento, presentan características individuales, están fundadas sobre terrenos poco conocidos y expuestas a grandes incertidumbres de una multitud de cargas variables provenientes de su entorno natural. Si se comparan con la aviación o la industria nuclear se constata que el número de componentes estructurales es muy reducido y que no todos sus elementos están contruidos por el hombre.
- ▼ Otra razón reside en la complejidad del proceso probabilista, que exige más datos que el análisis tradicional, determinista, de la seguridad.
- ▼ Una tercera razón es la connotación negativa del término "riesgo" y la reticencia que induce en la opinión pública.
- ▼ Por otra parte, los conceptos deterministas de proyecto se han revelado eficaces y los pocos fallos habidos han podido ser atribuidos a errores humanos, sin poner en tela de juicio la concepción de la obra.

Estos argumentos no deben ocultar las ventajas del análisis de riesgo con relación a las aproximaciones deterministas clásicas. La fuerza del AR se encuentra en el acoplamiento de la definición de un suceso con su cuantificación; tiene en cuenta los factores físicos y humanos así como su contribución a la probabilidad de que un evento se produzca. Es un proceso lógico e inductivo. A pesar de las incertidumbres, que muchas veces son elevadas, el AR es un útil refinado a disposición del ingeniero para la evaluación de sucesos poco probables y de sus consecuencias. Cuando es aplicado con buen criterio constituye un progreso importante para la comprensión de lo desconocido.

4.2. PRÁCTICAS BASADAS SOBRE EL RIESGO EN DIFERENTES PAISES

La conferencia sobre la evaluación de la seguridad de las presas basada en el riesgo que tuvo lugar en Trondheim en 1998 puso en evidencia la gran diversidad de aplicaciones y de manera de percibir la puesta en práctica del AR, lo que puede ser atribuido a las disposiciones institucionales, culturales, sociales e históricas propias de cada país.

COMUNICACIONES PRESENTADAS

- R. 1. XIAO, H., CHEN, X., CHEN, J., SHI, Q., SUN, Z., LI, Z. (China). *Risk analysis of construction diversion for hydro project*
- R. 2. OPYRCHAL, L., HRABOWSKI, W., JANKOWSKI, W. (Polonia). *The hazard index of the Polish hydro-technical structures*
- R. 3. OPYRCHAL, L. (Polonia). *The risk of dam stability loss*
- R. 4. GUZINA, B. (Yugoslavia). *Hydraulic loading of fissured porous rock*
- R. 5. De MELLO, V.F.B. (Brasil). *Some illusions, pitfalls and inconsequential initiatives in risk assessment quantifications*
- R. 6. PETKOV, Z.B., KISLIAKOV, D.S. (Bulgaria). *Seismic risk assessment of concrete gravity dams using energy approach*
- R. 7. MAHDAVIAN, A. (Iran). *Design response spectra for large dams in Iran*
- R. 8. PENMAN, A.D.M., CHARLES, J.A., MCLEOD, H.N. (Reino Unido). *Risk assessment and the safety of tailings dams and waste impoundments*
- R. 9. ROWLAND, A., TARRANT, F. R. (Reino Unido). *Prediction of the extent of destruction downstream following the breach of a major dam*
- R.10. SANDILANDS, N. M., FINDLAY, J. W. (Reino Unido). *Development of a risk based approach to dam safety management*
- R.11. De ALMEIDA, A.B., FRANCO, A.B., RAMOS C.M., SANTOS, M.A., VISEU, T. SILVA, D. (Portugal). *Dam-valley risk management. First results of a case study in Portugal-Arade valley*
- R.12. STEMATI, D., HULEA, D. (Rumanía). *Selection strategies for monitoring improvement of existing dams*
- R.13. DARBRE, G.R. (Suiza). *Probabilistic safety assessment of dams*
- R.14. MOUVET, L.C., DARBRE, G.R. (Suiza). *Probabilistic treatment of uncertainties: malfunctioning of discharge works and sliding of concrete dam under earthquake*
- R.15. FELL, R., BOWLES, D. S. ANDERSON, L. R. BELL, G. (Australia). *The status of methods for estimation of the probability of failure of dams for use in quantitative risk assessment*
- R. 16. FOSTER, M., FELL, R. (Australia). *Use of event trees to estimate the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping*
- R. 17. HOWLEY, I., McGRATH, S., STEWART, D. (Australia). *A business risk approach to prioritising dam safety upgrading decisions*
- R. 18. McDONALD, L., COOPER, B., WAN, C-F (Australia). *Some lessons from use of risk assessment to aid dam safety evaluation*
- R. 19. POLGLASE, L. (Australia). *Meadowbank dam early evacuation plan - Interim non-structural solution to low spillway capacity*
- R. 20. WATSON, D. PERERA, S. (Australia). *Risk assessment issues for dam safety management*
- R. 21. VICK, S.G. (Estados Unidos). *Engineering application of dam safety risk analysis*
- R. 22. DISE, K. M., VICK, S.G. (Estados Unidos). *Dam safety risk analysis for Navajo dam*
- R. 23. CYGANIEWICZ, J.M., SMART, J.D. (Estados Unidos). *U. S. Bureau of Reclamation's use of risk analysis and risk assessment in dam safety decision making*
- R. 24. Del HOYO, R. (España). *The assumable risk*
- R. 25. DE CEA AZAÑEDO, J.C. (España). *The Spanish experience in drafting emergency plans for the risk management of dams*
- R. 26. ANDRÉS, M. de (España). *Design flood definition and reservoir characteristics. Seasonal flood storage influence*
- R. 27. PENAS, J. (España). *Risk assessment in Spanish dam safety legislation*
- R. 28. BEKKOUCHE, A., BENGUEDDACH, B. (Argelia). *Introduction à l'analyse décisionnelle appliquée à la sécurité des grands barrages*
- R. 29. FU, X., SHEN, T., CHEN, J., HUANG, W. (China). *Failure probability of gravity dam on rock foundation*
- R. 30. GUILLAUD, C., MAILHOT, J. DESJARDINS, M. (Canadá). *Analyse de risque des ouvrages du complexe de la Rivière Shipshaw*
- R. 31. GAUDETTE, M. (Canadá). *Hydro-Québec integrated approach to ensure the adequacy of the capacity of the existing discharge facilities*
- R. 32. QUACH, T. T., GAGNON, J. ROBERT, B., MARCHE, C. (Canadá). *Upper Ottawa river : a four-step risk assessment*
- R. 33. PEYRAS, L., BONELLI, S., ROYET, P. (Francia). *Formulation des actions de l'eau dans une méthode semi-probabiliste aux états-limites pour la justification des barrages-poids*
- R. 34. De LALEU, V., REVERCHON, B., CAULT, J.-B., LEFRANC, M. (France). *La politique de maintenance des ouvrages et matériels de production hydroélectrique d'Électricité de France. Une expérience d'analyse de risque simplifiée, appliquée à l'optimisation de la maintenance d'un grand canal*
- R. 35. FRY, J.-J., PEYRAS, L., CATHALA, F., MÉRIAUX, P., RIESTERER, J.-M. (Francia). *Exemples de l'intérêt de bases de données relatives au vieillissement des ouvrages hydrauliques*
- R. 36. BISTER, D., LE DELLIOU, P. (France). *Analyse de risque et crue de danger*
- R. 37. ROYET, P., CHAUVET, R. (France). *Établissement du plan particulier d'intervention (PPI) du barrage de Bimont et information de la population/Preparation of a specific emergency plan (SEP) for Bimont dam and information to the public*
- R. 38. AMDAL, T., RIISE, D. (Noruega). *Possibility of failure for Veneno dam, Norway - An analysis with focus on the reliability of the flood diversion works*
- R. 39. FUNNEMARK, E., ODGAARD, E., EKKJE, S.A. (Noruega). *Risk analysis of the Valdalen dam*
- R. 40. BARTSCH, M., GUSTAFSSON, A., (Suecia). *Risk analysis of the Steitvare rockfill dam*
- R. 41. RETTEMEIER, K., FALKENHAGEN, B., KÖNGETER, J. (Alemania). *Risk assessment - New trends in Germany*
- R. 42. MGALOBELOV, Y.B., NOVOZHENIN, V.D. BELLENDIR, E.N. IVASHINTSEV, D.A. KLIMOVITCH V.I., KUZNETSOV, V.S. PROKOFJEV, V.A. STEFANISHIN, D.V. VEKSLER, A.B., LASCHENOV, S.I. (Rusia). *Reliability assessment of hydraulic structures in their designing and operation in Russia*
- R. 43. SIEBER, H.U. (Alemania). *Hazard and risk assessment considerations in German standards for dams - Present situation and suggestions*
- R. 44. KOPUSTINSKAS, V., THEDÉEN, T., YANG, J. (Suecia). *Safety study of the Kaunas dam in Lithuania*
- R. 45. ANDRIOLO, F.R., MAIONCHI, A., RICARDINO, R. (Brasil). *Uncertainty evaluation - Risk management : accidents, incidents, failures, responsibilities, and cost*
- R. 46. MEDEIROS, C.H. de A.C. (Brasil). *Probabilistic risk assessment technique as an approach to study hydraulic fracturing mechanism in embankment dams*
- R. 47. KRAUCH H. W., VIANNA de ANDRADE, R. PIASENTIN, C., SARKARIA, G. S. (Brasil). *Effective risk analyses and management during desing and construction of Itaipu hydroelectric projet*
- R. 48. TSCHERNUTTER, P., AIGNER, E., SCHARLER, (Austria). *Risk analyses performed for the foundation of the fill dams at Birecik dam and hydropowerplant*

Las condiciones para la aceptación del AR son, según Vick (1997):

- ▼ La voluntad social y política de admitir un riesgo residual.
- ▼ La información transparente del público sobre el riesgo y sobre los elementos técnicos relacionados con él.
- ▼ La iniciativa de algunas personas en la aplicación de esta técnica a la evaluación de la seguridad de las presas en algunos países (Canadá, R.S.A., Rumania).
- ▼ La actitud de consultores a propósito de la recomendación de su aplicación.
- ▼ El tipo de presas prevalente en cada país. Los modos de fallo de una presa de hormigón se adaptan mejor a un análisis cuantitativo que los de presas de materiales sueltos. Las causas ocultas, como la erosión interna, raramente permiten reconstruir el fenómeno y, en consecuencia, su probabilidad de ocurrencia estará basada más sobre un juicio y opinión que sobre el análisis.

Otros países, reticentes a usar el AR, exponen sus métodos para evaluar la seguridad de las presas, como ocurre con Suiza. Su situación particular muestra un nivel de seguridad elevado por lo que la probabilidad de fallo calculada por aplicación del AR sería débil y el beneficio de esta práctica discutible. También se argumenta la existencia de una vigilancia meticulosa, la profesionalidad de sus ingenieros, y un sistema de prealerta como medio para reducir el riesgo.

En otras naciones como Francia, el Reino Unido, Rumanía y en ciertos organismos de los Estados Unidos, se preparan actualmente recomendaciones en función del riesgo. Pero los países más avanzados son Canadá y Australia; en particular BC-Hydro realiza un gran esfuerzo en este sentido (Hartford, Salmon y otros).

En la República Sudafricana una evaluación abreviada del riesgo ya se ha realizado sobre 320, de las 770 presas existentes.

4.3. DOMINIOS DE APLICACIÓN

Aunque la incertidumbre es un factor clave para la conceptualización de la seguridad y para la evaluación de las decisiones financieras, el AR es una aproximación razonable. Se exponen seis dominios de aplicación del estudio con los siguientes títulos :

- ▼ 1) evaluación de la seguridad
- ▼ 2) toma de decisiones
- ▼ 3) recomendaciones y legislación
- ▼ 4) clasificación de los niveles de riesgo
- ▼ 5) planes de alerta y emergencia
- ▼ 6) criterios de aceptación del riesgo

4.3.1. Evaluación de la seguridad

Aproximaciones deterministas y probabilistas

Se suscita la relación con las aproximaciones deterministas utilizadas hasta ahora concluyendo que ambos métodos son complementarios. El AR tiene el mérito de reconocer la subjetividad inherente al proceso de toma de decisiones. Los coeficientes de seguridad no aportan ninguna protección contra el carácter subjetivo de la toma de decisiones ni contra el error humano, en tanto que el AR complementa a las normas y permite una mejor aproximación a la realidad.

Por el contrario, un argumento a favor del mantenimiento de los coeficientes de seguridad es que aportan un nivel de confianza aceptado durante muchos años.

El Bureau of Reclamation así como el US Corps of Engineers continúan usando los coeficientes de seguridad para el cálculo de la estabilidad estructural en sus nuevos programas basados en la noción de riesgo. Sin embargo, la incertidumbre inherente a los propios coeficientes es un anacronismo, y un "coeficiente de seguridad flotante" (Kreuzer 1996) podría constituir una solución de compromiso. Según este concepto el coeficiente de seguridad variaría con la fiabilidad de los datos disponibles.

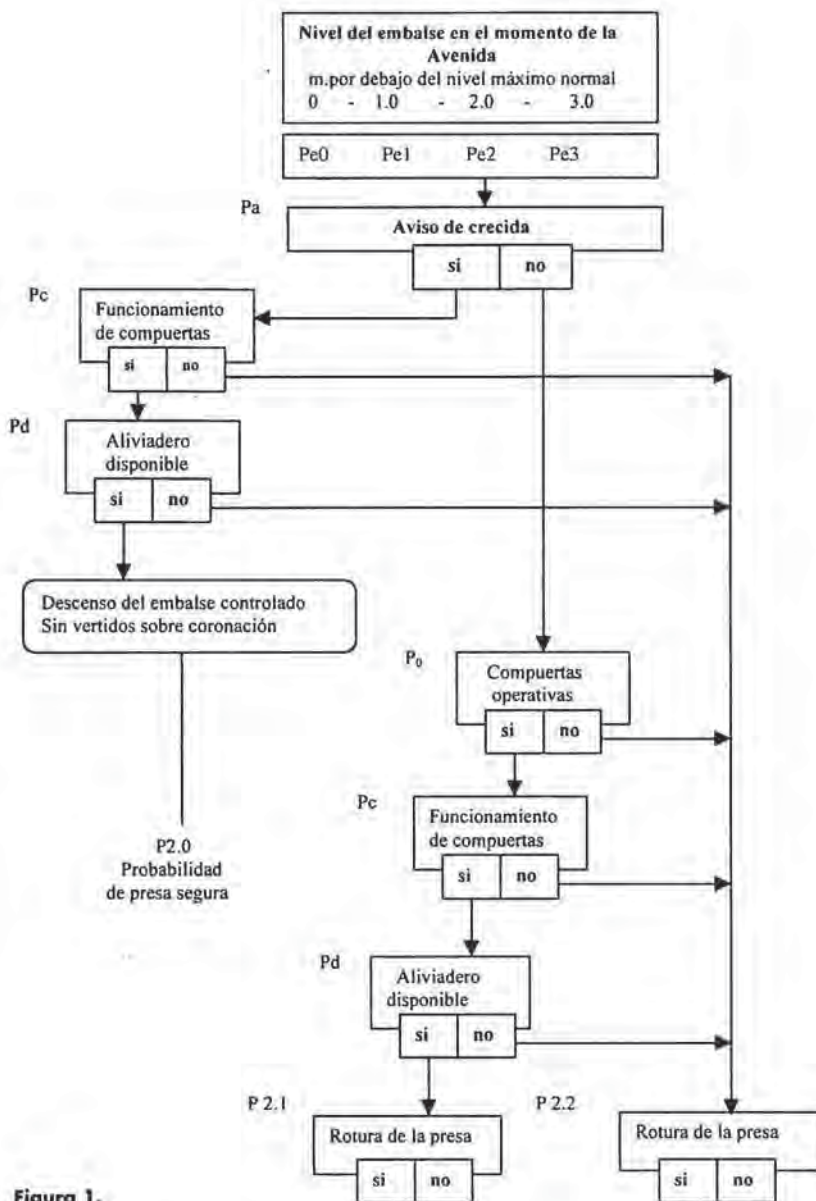
Se puede concluir que la utilización conjunta de los puntos fuertes de las normas de seguridad y del AR constituye un objetivo razonable.

Sobre la cuestión de la seguridad de las presas el AR se separa fundamentalmente de las aproximaciones deterministas por las razones siguientes :

- ▼ El análisis determinista es un proceso deductivo a partir de un modelo analítico mientras que la evaluación de riesgo conduce a conclusiones inductivas dentro de una perspectiva de conjunto.
- ▼ El AR maneja variables e incertidumbres molestas pero omnipresentes en la vida de las presas, frente a las evaluaciones deterministas que se limitan al análisis de sensibilidad a distintos parámetros.
- ▼ En su aplicación el AR reemplaza un análisis de estados límites por otro, paso a paso, de los procesos que conducen a los fallos, pensado en términos de probabilidad.
- ▼ En sus resultados el AR sustituye los valores únicos y fijos por probabilidades acumuladas.

El AR como aproximación causa-efecto

Contrariamente a la evaluación determinista los conceptos probabilistas tienen una escala de tiempos a lo largo de todo el recorrido. Es esencial tener en cuenta todas las causas de fallos, incluyendo las que resulten de inspecciones recientes, que pueden poner en evidencia puntos débiles. Las causas de

**Figura 1.**

fallo "apocalípticas" (avenidas extremas, o el seísmo máximo posible) no constituyen siempre el mayor riesgo.

Considerado el riesgo como el producto de una débil probabilidad por un valor elevado de las consecuencias, se pueden citar como ejemplos característicos la obstrucción de un aliviadero con avenidas medias o toda clase de errores humanos como la inobservancia del aumento de fugas controladas.

La etapa siguiente es el análisis de la respuesta de la prensa, para el que se utilizan normalmente los árboles de fallo, representación secuencial de sucesos externos y actuaciones humanas, como puede verse en el ejemplo de la fig. 1.

Las probabilidades pueden estar definidas por un juicio experto subjetivo, por un análisis objetivo, o por una combinación

de los dos criterios. La credibilidad de un árbol de fallos depende mucho de la justificación de los valores numéricos, esencial para la aceptación del AR cuyo objetivo es señalar la reducción selectiva de las incertidumbres en la medida de lo posible.

El resultado del cálculo se expresa a la vez en pérdida de vidas humanas y en términos económicos pero para las evaluaciones preliminares esta última etapa es frecuentemente abandonada, limitando la utilización de las probabilidades de fallo a la determinación de los esfuerzos necesarios para mejorar la seguridad.

La evaluación de las consecuencias es, sin embargo, necesaria para la preparación de los planes de alerta y emergencia, así como para la clasificación de los riesgos.

4.3.2. La toma de decisiones. Consideraciones sobre la relación coste/beneficio y los seguros

El AR ha demostrado su utilidad para los cálculos coste/beneficio poniendo en evidencia la relación existente entre la reducción de los riesgos y los costes que esta reducción genera.

Más corrientemente el AR es utilizado por los ingenieros para:

- ▼ Comparar soluciones de nuevas presas o para la restauración de las antiguas.
- ▼ Evaluar el riesgo durante la construcción o el primer llenado del embalse.
- ▼ Evaluar el impacto económico de la vigilancia y del sistema de alerta.
- ▼ Evaluar las primas de seguros y servir de base para las negociaciones.

Los principales riesgos que se analizan son el hidrológico, el geológico y en menor medida el de origen sísmico.

El análisis de riesgo está de actualidad en proyectos financiados por el sector privado, con mayor conciencia de su importancia. También puede ser utilizado para maximizar el rendimiento de las inversiones durante la fase de proyecto, lo que será de gran utilidad en la fase de explotación.

Una ventaja de poner en práctica un AR se deriva de que los valores extremos no son los más importantes para las cuestiones de seguridad. La mayor parte de los datos empleados se obtienen de series tangibles, como es el caso de la función de probabilidad para una crecida durante la construcción, que puede ser estimada con mucha más seguridad que la crecida de proyecto. Del mismo modo, los ingenieros experimentados estiman los costes y duraciones basados en valores medios. Las incertidumbres provienen más frecuentemente de

"errores flagrantes", como la retirada de la financiación, o de un incumplimiento de las normas exigibles.

Es necesario indicar que el AR aplicado al aseguramiento de las presas existentes solo es aceptado en ciertas condiciones:

- ▼ Si el propietario está obligado a asegurarse por ley y es más aconsejable referirse a un AR antes que adoptar un parámetro simplificado como puede ser el volumen del embalse.
- ▼ El reagrupamiento en un pool es un medio de reducir las primas para asegurar el riesgo catastrófico.
- ▼ Si los esfuerzos son recompensados e interesa demostrarlo con un AR.
- ▼ Si las compañías de seguros lo exigen.
- ▼ Si existen los suficientes datos para realizar el estudio.
- ▼ Si el ejercicio del AR no es reducido a un ejercicio académico porque la seguridad de la presa sea manifiestamente elevada.
- ▼ Si la evaluación de las primas es una función de las consecuencias esperadas.

Las compañías de seguros suelen distinguir entre los "casos de pérdidas probables" y los "casos de pérdidas máximas pre-visibles".

Algunos proponen como único parámetro, para determinar las primas, el volumen del embalse, en tanto que en Suecia y Noruega las primas percibidas por un pool de seguros son idénticas para las 1.300 presas existentes.

4.3.3. Recomendaciones y legislación

Generalmente, los países que reglamentan sus presas en materia de seguridad son favorables a la noción del riesgo. El Corps of Engineers y el Bureau of Reclamation están desarrollando programas en este sentido.

En la clasificación de presas se nota una fuerte tendencia a utilizar criterios de riesgo en lugar de criterios geométricos. Tal es el caso de varios países entre los que se encuentra España. Las ventajas son la racionalidad en relación a los valores sociales comúnmente aceptados y la flexibilidad que permite la adaptación a las condiciones cambiantes tanto de la presa como de su entorno.

Un interés añadido es el potencial didáctico del AR como ayuda para establecer medidas correctoras de todo tipo.

A pesar de estas ventajas es difícil concluir el "nivel de seguridad suficiente". Las administraciones deben utilizar la legislación en vigor en cada país, tratando de mejorar la seguridad de forma objetiva.

4.3.4. Clasificación de los niveles de riesgo

La clasificación de las presas en función del riesgo ha de tener en cuenta su propio estado y los daños que se pudieran

producir aguas abajo. El AR es un elemento útil para la resolución del problema.

En esta clasificación se tienen en cuenta:

- ▼ Los elementos resistentes (presa, cimiento, etc.)
- ▼ Los elementos de reducción de las solicitaciones (aliviaderos y desagües, etc.)
- ▼ El entorno, envejecimiento y eventos poco habituales
- ▼ Factores humanos (explotación y mantenimiento, sabotajes, etc.)

Se trata de evaluar tres tipos de probabilidades: las de las causas, la de rotura y la del número de víctimas eventuales. Las pérdidas económicas son valores deterministas.

Es habitual la clasificación de los diferentes niveles de riesgo con apelativos genéricos (débil, significativo, elevado) refiriéndose a los diferentes escenarios (hidrológico, sísmico, etc.). En algunos países se eleva este número a 4 o 5. Otras veces se calculan las pérdidas incrementales en la hipótesis de existencia o no de la presa con los escenarios más pesimistas.

En Canadá y USA la clasificación de los peligros se basa únicamente en las consecuencias, sin tener en cuenta el estado de la presa, con el término "clasificación de las consecuencias". Del mismo modo se emplea el término "población en riesgo" al objeto de obviar el problema de cuantificar las vidas humanas.

El USBR distingue tres categorías según la "pérdida de vidas (PDV) anual media estimada", con valores $PDV > 0,01$ $0,01 > PDV > 0,001$ $PDV < 0,001$. El término PDV es el producto de la probabilidad por la pérdida de vidas humanas, es decir 0,001 indica un periodo de retorno de 1.000 años para una víctima o de 10.000 años para 10 víctimas. La confianza pública se considera crucial y en lugar de usar el término "riesgo aceptable" se utiliza el de "protección pública", al objeto de atenuar las controversias de origen emocional.

Las recomendaciones canadienses distinguen cuatro categorías de consecuencias incrementales, haciendo la distinción entre las pérdidas de vidas humanas, las económicas y las medioambientales; las pérdidas más severas de uno u otro grupo determinan la clasificación de las presas.

La legislación sudafricana afecta a todas las presas de altura superior a 5 m o con un embalse superior a 50.000 m³ y distingue tres tipos de eventos: sumersión sin roturas, rotura con buen tiempo y rotura durante una crecida. Solo el tercero sirve para la clasificación de los riesgos en débil, significativo y elevado. No se tiene en cuenta el estado de la estructura que se controla ulteriormente por la aplicación del AR.

Los propietarios de un conjunto de presas tienden a establecer un orden de prioridades en materia de seguridad que habrán de ser afrontadas con presupuestos limitados, para lo que utilizan técnicas simples. Por su propia naturaleza estas investigaciones preliminares comportan una alta subjetividad y excesivo peso de las bases de datos históricas. La utilización de estas

bases de datos exige que cada tipo de fallo sea considerado en el contexto específico de cada una de las presas, lo que es raramente posible. Estas técnicas se deben reservar a una etapa de selección preliminar y se deben completar siempre con un estudio más detallado de las presas que tengan una tasa elevada de defectos y que requieran, normalmente, investigaciones complementarias.

Una clasificación basada en índices de las presas suizas ha sido presentada por Lafitte (1996) y actuaciones análogas han sido realizadas en Brasil y Sudáfrica.

La evaluación de las consecuencias es necesaria, al menos cualitativamente. De nuevo las incertidumbres se multiplican según el modo e importancia del fallo, adelanto de la alarma sobre la llegada de la onda de avenida, infraestructuras existentes, etc. Las pérdidas de vidas humanas y las económicas están afectadas por diversos factores de forma diferente. En estas condiciones es útil empezar por definir escenarios deterministas de la forma más realista posible.

4.3.5. Planes de emergencia

Los planes de alerta y emergencia necesitan del AR para dibujar las zonas inundables con la precisión necesaria porque el equipo de crisis tiene necesidad de ser guiado por un escenario de deterioros físicos a los cuales será referido durante las intervenciones de emergencia.

Hay un buen número de ejemplos de análisis de riesgo de roturas de presas: unos para rotura completa, otros para condiciones de avenidas torrenciales, para diversos mecanismos de rotura de diques, probabilidades de submersión, etc.

La existencia de presas en cascada y de poblaciones situadas aguas abajo exige una estimación de los tiempos de encañamiento de los sucesos derivados de la rotura de cada una de ellas.

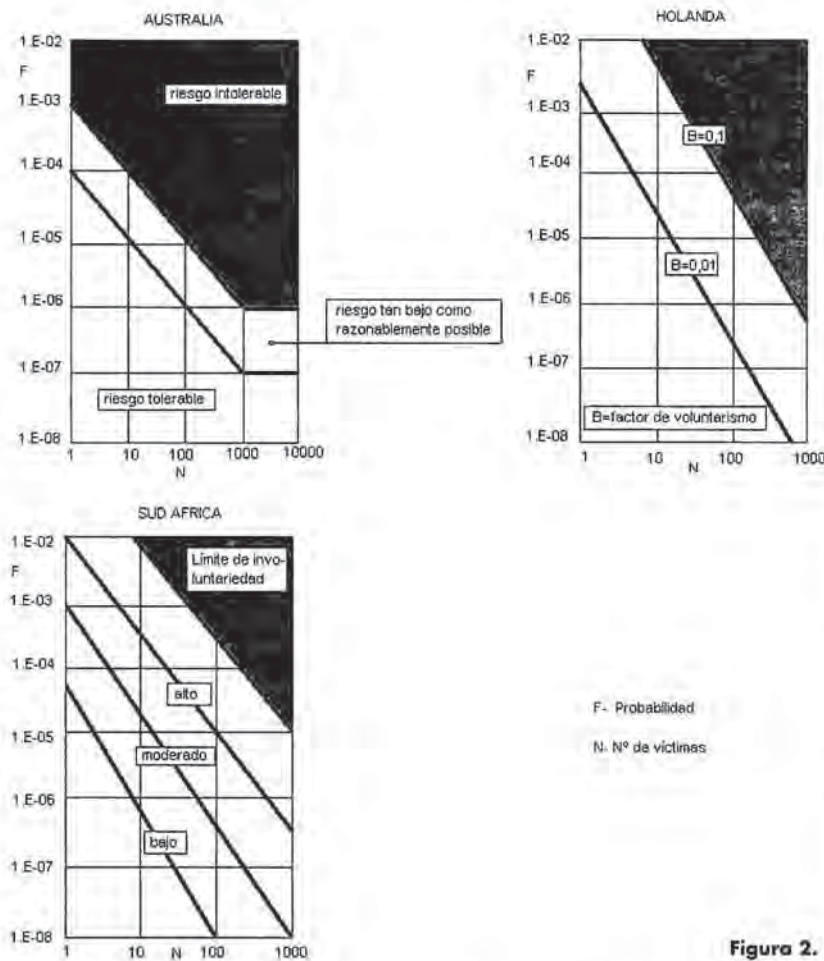


Figura 2.

4.3.6. Criterios de aceptación del riesgo

En general la sociedad acepta el riesgo derivado de las presas si las reglas del arte son respetadas. El nivel de protesta después de un accidente con víctimas varía según las respuestas a preguntas de orden ético, social, económico, medioambiental y psicológico, Reid (1992). Lo importante es la confianza en los expertos y autoridades, que crece con la comunicación.

De Almeida (1997) distingue la diferente percepción popular de las inundaciones naturales frente a las producidas por la rotura de una presa.

De las estadísticas de accidentes mortales resultantes de actividades humanas se infiere

que el riesgo socialmente admisible ha sido establecido. Es necesario cuantificar el riesgo involuntario como una forma de valorar las vidas humanas sin recurrir a unidades monetarias.

El riesgo socialmente aceptable (RSA) se representa generalmente en forma de diagramas F/N donde F indica las probabilidades acumuladas de fallo y N el número de vidas perdidas.

La figura 2 representa tres ejemplos que sugieren umbrales de separación de los riesgos inaceptables, con una zona de maniobra calificada como de riesgo "tan débil como razonablemente posible". Quiere esto decir que no se aceptará si hay una posibilidad razonable de evitarla pero si fuese técnicamente difícil o excesivamente costosa podría ser admitida.

Los diagramas de riesgo socialmente aceptable (RSA) se basan en evaluaciones de las estadísticas relativas a los accidentes y en la percepción del riesgo en cada país. El riesgo para una presa dada es juzgado según su posición en el diagrama.

Los sudafricanos evalúan el riesgo socialmente aceptable según cinco categorías: pérdidas monetarias, sociales, medioambientales, población en riesgo y riesgo anual de muerte por hora de exposición.

Pero hay opiniones escépticas sobre el empleo de estos diagramas alegando rigidez (Hartford y Muller), y aunque son

de gran utilidad para juzgar el efecto de diferentes opciones para reducir el riesgo de pérdida de vidas humanas, no son satisfactorios en lo que concierne al punto de vista del público afectado. Un juicio de valor y una actitud comunicativa se consideran más adecuados actualmente. Se prefiere abandonar las leyes dualistas (sí/no) y favorecer las buenas prácticas.

4.4. ADQUISICIÓN DE DATOS

Los datos necesarios para llevar a cabo un análisis de riesgos son de tres tipos:

- ▼ bases estadísticas de roturas e incidentes
- ▼ juicio de ingenieros experimentados
- ▼ tratamiento analítico

4.4.1. Estadísticas sobre las roturas y los incidentes

Las bases estadísticas de roturas e incidentes son utilizadas principalmente para emitir un juicio sobre las probabilidades concernientes a los árboles de fallos, para efectuar análisis coste/beneficio sobre presas pequeñas y para contrastar los juicios.

Los boletines de ICOLD sobre roturas e incidentes (1983), aguas agresivas (1989), reacción de los álcalis (1991) y sobre presas de menos de 30 m de altura (1995 y 1997) contienen importantes series estadísticas. También las descripciones detalladas de roturas e incidentes encierran grandes enseñanzas: ICOLD (1983) y USCOLD (1975, 1988).

Los incidentes precursores de roturas son del mayor interés por su mayor abundancia y porque son más escasamente el resultado de un error humano.

Nuevos intentos de establecimiento de bases de datos tales como el "Programme National sur le Comportement des Barrages", de M. McCann proporcionarán estimaciones más fiables. Los puntos que hacen más útiles las descripciones de los incidentes son:

- ▼ Reportaje en tiempo real y utilización de información de primera mano.
- ▼ Informaciones dadas por especialistas en fichas estándar. Los reportajes periodísticos no se consideran fiables.
- ▼ Información sobre el comportamiento de la presa antes del incidente.

Así, el progreso pasa por una mejor calidad de las informaciones recogidas y por su difusión a escala internacional.

Es una opinión muy extendida que los datos estadísticos son más útiles para las decisiones preliminares que para las concernientes a la seguridad y al coste final por no reflejar suficientemente las condiciones de la presa en cuestión. En ningún caso se deben utilizar estos datos para juzgar cuantitativamente la seguridad de una presa por los siguientes motivos:

- ▼ El tamaño de la muestra suele ser muy pequeño.
- ▼ Las estadísticas se refieren al efecto del fallo y raramente a la causa.
- ▼ Hay una cierta reticencia a comentar los casos observados, sobre todo en algunos países.
- ▼ Los avances técnicos y los criterios de proyecto utilizados en cada país son muy diferentes.
- ▼ Raramente se incluyen los errores humanos.

Por otra parte, la utilización de datos estadísticos sin tratamiento perjudica a las presas de superior calidad. Por ejemplo, la sumersión puede tener un cierto número de causas primeras: capacidad de evacuación insuficiente, erosión de la coronación de la presa o asentamiento excesivo, negligencia o imposibilidad de bajar el nivel del embalse antes de la llegada de la avenida, obstrucción del evacuator o mal funcionamiento de las compuertas, laderas inestables, etc. Esta distinción es fundamental para entrar en los árboles de fallos: por consiguiente los datos estadísticos solo serán utilizados si hay posibilidad de establecer tales distinciones.

4.4.2. Juicio (criterio)

Es a menudo el árbitro entre los datos estadísticos y los resultados del análisis. Por una parte, es útil en lo que concierne a la credibilidad del caso en cuestión y, por otra, ayuda a validar o refutar los resultados analíticos. En el dominio del AR el juicio alcanza todo su valor; es decir, el juicio sustenta a la vía analítica y no al contrario. Por ejemplo, definir un modo de fallo es comprender por el juicio un resultado analítico. Veamos algunos ejemplos.

La fisuración de presas de hormigón es un fenómeno estable dentro de un campo de compresiones e inestable si la compresión es débil o se presentan tracciones o cizallamientos. El juicio técnico puede así matizar la idea general de que la fisuración es siempre peligrosa.

Ocurre lo mismo para el riesgo reducido que entraña el sifonamiento en un núcleo arcilloso delgado pero muy compactado comparativamente con la idea de que un núcleo grueso es siempre más seguro.

Otro ejemplo concierne a los caminos de fallo. El juicio permite identificar el camino más probable y compararlo con los resultados analíticos (envolvente de fallos) a fin de estudiar las diferentes opciones bajo un ángulo crítico.

Sin embargo hay límites. Es necesario admitir un hecho psicológico. No se puede fiar al juicio la identificación de fenómenos de escasa probabilidad. Igual que para el sesgo estadístico, se puede atenuar el sesgo psicológico por diferentes medios (examen por colegas cualificados, debates con otros expertos, etc.). Esta estrategia obliga a los intervinientes a sostener sus tesis. Otra aproximación puede hacerse sobre el proceso analítico a tener en cuenta. El cuadro

teórico para el cálculo de probabilidades de las observaciones es la teoría de Bayes,

Es más difícil asegurar la fiabilidad de los datos de base en un análisis basado en el riesgo que en el caso de un cálculo determinista. Por esta razón es necesario que esté basado en los conocimientos de expertos, como elemento esencial para reforzar la confianza (Hartford 1999).

Cualquiera que sea el juicio debe ser defendible para ser útil y debe apoyarse en la disciplina y racionalidad.

4.4.3. Análisis

Los datos analíticos utilizados en el AR son generalmente los resultados de conceptos probabilistas que analizan conjuntos estocásticos de variables aleatorias para presentarlos de forma cuantitativa; por ejemplo, una función de densidad de probabilidad.

Generalmente, las probabilidades de los sucesos y fallos son evaluadas analíticamente. Se pueden dar como ejemplos la integral de interferencia de las cargas con las distribuciones de resistencia como medida de la probabilidad de fallo, el análisis de los árboles de fallo, la simulación aleatoria del tipo Monte-Carlo, los métodos Bayesianos, etc.

Para tener en cuenta la existencia de valores máximos y mínimos en las distribuciones de los parámetros físicos se utilizan exclusivamente distribuciones bornadas.

En el dominio del análisis de fiabilidad es fundamental la cuantificación de las incertidumbres; o de otro modo, la incertidumbre está asociada a los parámetros de partida y no al resultado, que es la probabilidad de fallo.

En suma, un modelo de ayuda a la decisión e identificación de los principales parámetros es una condición previa en la búsqueda de la condición de datos fiables.

4.5. ORIGEN Y TRATAMIENTO DE LAS INCERTIDUMBRES

4.5.1. Origen

En el dominio de las presas, la incertidumbre es un fenómeno omnipresente y bien conocido, que no siempre se tiene en cuenta. La primera tarea de un AR consiste en examinar su origen. La tabla 1 indica los más corrientes.

Un ejemplo del lado determinista es el hecho de que los valores extremos, tales como las crecidas o los seismos de largo periodo de retorno, son poco útiles para el AR. Los ingenieros son conducidos hacia el determinismo calculando valores "máximos probables" al objeto de alejar la incertidumbre. Otro ejemplo es el comportamiento frágil de los materiales, en casos tales como la fisuración del hormigón por tracción.

Las investigaciones sobre los orígenes de las incertidumbres pueden ser caras pero su omisión comprometería el resultado y, lo que es peor, supondría una actitud retrógrada.

TABLA 1

Origen/Tipo	Ejemplo de origen	Tratamiento analítico
Física	Conocimiento imperfecto de la geología, hidrología y comportamiento mecánico.	Densidad de probabilidades bornadas Simulación tipo Monte-Carlo
Estadística	Dispersión de una muestra a otra	Desviación típica, error medio, límites de confianza
Epistemológica	Modelos matemáticos simplificados	Simulación Monte-Carlo Teoría de Bayes Árboles de fallos
Decisión	Ideas humanas subjetivas sobre una condición oculta	Árboles de fallos Teoría de Bayes
Predicción	Incetidumbre futura	Arboles de fallos Teoría de Bayes
Reacción del público	Falta de confianza	Comunicación
Error humano	Ver 4.5.3	Teoría de errores groseros

4.5.2. Tratamiento

Se pueden distinguir tres formas de abordar la incertidumbre:

- ▼ rodearla de información suplementaria
- ▼ evitarla por una modificación del proyecto o la realización de actuaciones
- ▼ tomar medidas preventivas (auscultación, prealerta) y de formación.

El tratamiento de los datos geológicos o geotécnicos es esencial (ASCE 1996). Los geólogos aceptan el riesgo y dudan poco en razonar en términos probabilistas, pero sus esfuerzos para limitar la incertidumbre son a veces considerados como un freno al progreso de los estudios del proyecto. Por otra parte, las variables aleatorias de los parámetros geotécnicos son utilizadas de forma inmediata en los modelos deterministas al objeto de evaluar la seguridad estructural, con el riesgo de perder de vista las consecuencias que pueden derivarse de las siguientes causas:

- ▼ estructura espacial de la fundación heterogénea y anisotropía
- ▼ estudio incierto por medio de un pequeño número de muestras
- ▼ influencia del agua del embalse sobre el macizo rocoso diaclasado

Entre las primeras tentativas de aplicación del AR al tratamiento de la incertidumbre geotécnica se puede citar a Mello (1977 y 1988), Harr (1977), Hek (1983), y Whitman (1984).

Borges y Londe (1975) distinguen las tres fuentes de incertidumbre ya relacionadas y Einstein (1995), presenta métodos estadísticos de aplicación a macizos rocosos.

Morgenstern (1995), Vick y Steward (1996) proponen un puente entre la teoría y la práctica a la vez que Christian (1996) presenta una aplicación del análisis de fiabilidad al estudio de estabilidad de taludes y plantea de nuevo la relación entre el coeficiente de seguridad tradicional y el índice de fiabilidad.

Hoeg (1996) señala el interés de la auscultación para mejorar la calidad de los datos de partida utilizados en el análisis de riesgos.

Lombardi (1979) demuestra que toda tentativa de reducir las incertidumbres por reconocimientos in situ debe ser orientada hacia el fin buscado. Sin embargo, esta recomendación, bastante evidente, es a menudo insatisfactoria por una cuestión de facilidad o por argumentos económicos.

Para disminuir la incertidumbre sobre las condiciones del cimiento de una presa en el caso de roca muy fracturada se puede recurrir a la inyección y drenaje al objeto de reducir la

posibilidad de deslizamientos y la dispersión de los parámetros mecánicos. Desde el punto de vista del riesgo el mecanismo ha mejorado. Aunque esto parece trivial, este ejemplo muestra que el razonamiento basado en la noción de riesgo (reducción de la incertidumbre en lugar de su cuantificación respecto al macizo no tratado) señala el elemento fundamental de la mejora de la seguridad.

En hidrología el AR permite cuantificar el umbral de sustracción aceptable, condición que en el cálculo determinista es considerada contraria a la noción de seguridad. El hecho de poder evaluar este valor constituye ciertamente un progreso tanto del arte del ingeniero como en lo que concierne a los aspectos económicos unidos a las medidas correctoras a poner en práctica. Un ejemplo llamativo es el concepto francés de "caudal de rotura inminente", que permite juzgar el riesgo de rotura durante un vertido sobre la presa. La incertidumbre de estimación de la crecida extrema es atenuada por la estimación, más fácil, de la crecida que provoca una altura de la lámina vertiente que conduce a la rotura de la presa.

No se dispone más que raramente de datos estadísticos sobre la secuencia causa efecto de los incidentes derivados de una crecida. El seguimiento de recomendaciones tales como las establecidas por el Comité Francés sobre la conducta a seguir durante un incidente sería una condición previa para la recogida de datos directos.

Lo más difícil es poder estimar la incertidumbre de los eventos escasos y de sus consecuencias. Es el punto débil del AR, citado por sus adversarios, y es necesario admitir que es un problema irresoluble para nuestra profesión. Toda tentativa directa de evaluar la probabilidad de rotura debida a la crecida máxima probable (PMF) está condenada al fracaso. Pensar lo contrario es engañarse.

Es necesario, también, reconocer que el nivel de incertidumbre tolerable depende del margen de seguridad. Se puede igualmente evitar esta dificultad reemplazando en la medida de lo posible las estadísticas de los valores extremos por las "estadísticas de cantidades medias" basadas en conjuntos de datos más fiables, proposición defendida por el profesor V. de Mello (1977).

4.5.3. Error humano

Si el AR no integrase el error humano no sería por ello inválido pero sí incompleto, dada su importancia para la evaluación realista de la seguridad de una presa.

Cualquiera que sea la aproximación adoptada para cuantificar el impacto del error humano se encuentra que no es bueno incorporarlo matemáticamente en un AR derivado de incertidumbres físicas Lind (1983), Ditlevson (1981)...

Una aproximación que trata de cuantificar el error humano de la industria es presentada por Cameron (1993) y sería interesante su aplicación al problema de las presas. Por otra

parte, Lecornu (1998) señala la importancia de tener en cuenta el comportamiento humano para reducir los errores en la concepción y la vigilancia.

En lo que concierne a las estadísticas de fallo de las obras de ingeniería civil se ha probado que el término "error humano" es muy difuso para los modelos de causas de fallo cuantitativas. En efecto, es necesario diferenciar al objeto de tener en cuenta la realidad específica de cada presa. Por ejemplo, el juicio sobre la componente humana puede estar unido a:

- ▼ los modos de fallo más probables y a su "visibilidad"
- ▼ a la complejidad geológica y al conocimiento de la misma
- ▼ a la fiabilidad de los datos sobre las crecidas
- ▼ al tipo de evacuador, con o sin compuertas
- ▼ a la presencia de aparatos de medida y a su fiabilidad
- ▼ a la competencia y a los conocimientos del personal de vigilancia

La cuantificación del error humano debe de incluir todas las etapas: concepción, proyecto, construcción y explotación de la presa, y es útil su justificación según las siguientes categorías:

- ▼ falta de atención, negligencias
- ▼ subestimación de la influencia
- ▼ conocimientos insuficientes
- ▼ falta de experiencia
- ▼ falta de autoridad en la toma de decisiones
- ▼ incapacidad para comunicar
- ▼ confianza en otros

Este análisis es útil para la evaluación de las acciones correctoras necesarias y hace más eficaces los programas de formación.

Tener en cuenta el factor humano parece especialmente apropiado como consecuencia de que los medios financieros a consagrar a las presas son limitados. Además, el factor humano adquiere más importancia en el cuadro de programas restringidos y de presiones económicas y financieras que tienden a limitar los reconocimientos técnicos y el control de calidad de proyectos financiados con fondos privados.

5. CONCLUSIONES

El análisis de riesgo, en tanto que combinación de juicio subjetivo y de rigor científico es una aproximación formal y consecuente para evaluar la verosimilitud de un suceso no deseado. Su aplicación ha suscitado gran interés en todo el mundo y a pesar de sus deficiencias es cada día más acep-

tado. La investigación permanente contribuirá a reducir los defectos y a mejorar su puesta en práctica, Lafitte (1993).

Uno de los problemas principales es la validez de las hipótesis emitidas para reducir las incertidumbres. Estas hipótesis están apoyadas en el juicio de expertos, basado sobre la observación de un número creciente de presas. Este juicio hace del análisis de riesgo un instrumento más flexible pero también más vulnerable por el hecho de que las experiencias particulares, de asociaciones o de países perciben la noción de riesgo de forma diferente. Aceptar estos parámetros culturales va en contra de la percepción tradicional del ingeniero, más acostumbrado a utilizar criterios numéricos. Sin embargo, el juicio de los expertos permanece como un elemento esencial en los procesos de decisión para sistemas complejos, suscita el debate y contribuye así a la eficacia de la comunicación.

Los ingenieros tratan de medir la incertidumbre y el análisis de riesgo pone de manifiesto que un juicio atinado es más eficaz que un modelo matemático. En consecuencia, muchos autores demandan un esfuerzo de investigación extensiva para mejorar la confianza en el cálculo de las probabilidades de cada suceso, predecir mejor las consecuencias y cuantificar más adecuadamente los impactos sociales y medioambientales.

La investigación sobre estos temas debe de recogerse en informes imparciales y detallados de forma que sean útiles para su aplicación práctica. En tanto que las roturas y particularmente el gran número de incidentes menores solo estén disponibles en forma de listas sin testimonios directos de las personas responsables (y esto de forma limitada) el soporte estadístico continuará siendo parcial.

En lo que concierne a la seguridad de las presas en el mundo entero, todos los países deberían dar cuenta de forma transparente de los fallos observados. La historia muestra que los que han tenido tal actitud no soportaron reproches.

El AR como un útil para la optimización económica de un proyecto no es una novedad. Sin embargo, el contraste entre la reducción de costes y las ventajas resultantes de las investigaciones previas constituye una preocupación creciente. En ciertos casos la noción del riesgo en materia de retorno de la inversión conduce a unos valores superiores a los de origen geológico o hidrológico. La realización de un AR puede ser la base de un juicio correcto.

Las contribuciones a la cuestión 76 demuestran que la evaluación del riesgo tiene más valor que una simple ayuda a las decisiones en materia de seguridad. Completa a los métodos tradicionales para establecer un programa de vigilancia o para rehabilitar una presa existente y es también de gran ayuda para las decisiones a propósito de nuevos proyectos. En resumen, la evaluación del riesgo concierne tanto a las cuestiones de seguridad como a las económicas. ■

PRESA Y CENTRAL DE ALQUEVA EN PORTUGAL

Fernando Abadía Anadón

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de la División de Obras Hidráulicas de la Asesoría Técnica de Dragados

J. Morim de Oliveira

Ingeniero Civil

Director de Obra

RESUMEN

El complejo de usos múltiples de Alqueva, situado sobre el río Guadiana, es una obra de importancia estratégica para el desarrollo de la región sur de Portugal. Tiene como grandes objetivos la constitución de una reserva estratégica de agua, la garantía de abastecimiento privado e industrial, la alteración del modelo cultural de agricultura y la producción de energía. Entre sus características destaca la magnitud del volumen de su embalse, que con un volumen de 4.150 Hm³ formará el mayor lago artificial de Europa, y la concepción de su central reversible. En su construcción participan las empresas españolas Dragados O.P. y Necso. Los medios puestos al servicio de su ejecución resultan acordes con la magnitud y complejidad de las obras a ejecutar.

ABSTRACT

The Alqueva complex set on the river Guadiana is a work of strategic importance for the development of southern Portugal. The project has been undertaken with the aim of establishing strategic water reserves, in order to guarantee private and industrial water supply as well as instituting changes in the traditional form of agriculture and providing energy. The project is noted for the size of the reservoir which, at a volume of 4,150 Hm³, will form the largest artificial lake in Europe and the fact that it includes a reversible power plant. The Spanish companies Dragados O.P and Necso are participating in the construction work and the means required for the construction of the project reflect the scale and complexity of the works.

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

El Complejo de usos múltiples de Alqueva, de importancia estratégica para el desarrollo de la región sur de Portugal, tiene como grandes objetivos la constitución de una reserva estratégica de agua, la garantía de abastecimiento privado e industrial, la alteración del modelo cultural de agricultura y la producción de energía.

Su realización potenciará la diversificación de las actividades económicas y combatirá la desertización a través de la irrigación de una vasta área del territorio y de la regulación del río Guadiana, atenuando el efecto de las sequías prolongadas.

El primer proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico de Alqueva data de 1969, que constituía el primer salto de un conjunto de tres aprovechamientos en cascada que se preveía iban a ser construidos en Alqueva, Rocha da Galé y Pomarao. La solución proyectada para una presa de Alqueva era de tipo de bóvedas múltiples y la central hidroeléctrica estaba equipada con tres grupos reversibles de 120 MW estando preparada para duplicar su potencia con tres grupos adicionales iguales a los anteriores. El área de regadío que entonces se preveía equipar era de 180.000 Ha.

En 1988 este proyecto fue revisado alterándose el tipo de presa y el dimensionamiento de la central. La solución inicial



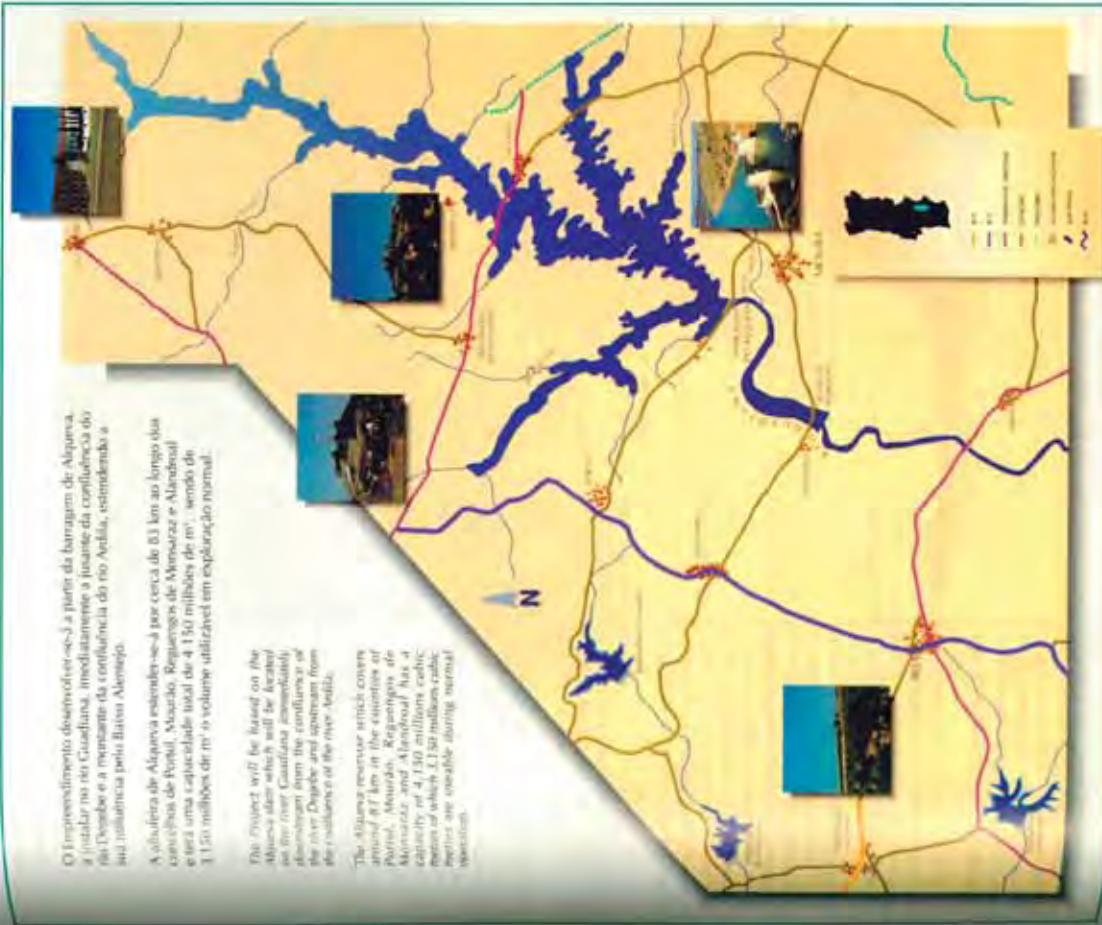
Vista general de las obras en junio de 2000.

de bóvedas múltiples dio paso a una solución más simple de bóveda única, que ofrecía mayores garantías de cumplimiento de los plazos de ejecución y que desde el punto de vista estructural se revelaba ventajosa. En cuanto al dimensionamiento de la central se optó por reducir al mínimo las inversiones iniciales, lo cual justificaba económicamente el proyecto para el sistema nacional de energía eléctrica.

En 1990 fue creada una comisión interministerial para la impulsión y seguimiento del Proyecto de Fines Múltiples de Alqueva. De las alternativas entonces estudiadas fue aprobada una configuración constituida por los siguientes elementos: I) Presa de Alqueva con nivel máximo de explotación a cota 152 para regar 110.000 Ha; II) Central hidroeléctrica equipada con dos grupos reversible sde 120 MW; III) Azud de contra-embalse aguas abajo de la central; IV) Azud en el tramo internacional del río Guadiana, aguas abajo de Alqueva, para permitir el abastecimiento de agua al Algarve y a España.

De esta manera la configuración final del Proyecto Múltiple está constituida por los siguientes elementos principales:

- ▼ Presa de Alqueva, en el río Guadiana, situada a unos 10,5 km al NW de Moura y ligeramente aguas abajo de la confluencia con el río Degebe, la cual originará un gran embalse de 4.150 Hm³ de capacidad total para el nivel máximo de explotación a cota 152, extendiéndose a lo largo de un centenar de kilómetros por el territorio nacional y por la zona internacional del río. Este embalse formará el mar lago artificial de Europa.
- ▼ La central hidroeléctrica de Alqueva, a pie de presa equipada con dos grupos reversibles de 120 MW cada uno.
- ▼ La presa de Pedrogao, de tipo gravedad, en hormigón con 43 m de altura máxima sobre cimientos y 448 m de desarrollo de coronación a cota 93. Se encontrará aguas



O empreendimento desenvolver-se-á a partir da barragem de Alqueva, a 10,5 km a sudoeste de Moura, imediatamente a jusante da confluência do rio Degebe e a montante da confluência do rio Ardila, estendendo-se a sul, incluindo os locais flutuantes de Moura e Alentejo.

A sudeste de Alqueva estender-se-á por cerca de 83 km ao longo das colinas de Moura, Moura, Reguengo de Moura e Alentejo, e terá uma capacidade total de 4.150 milhões de m³, sendo de 1.150 milhões de m³ o volume utilizável em exploração normal.

The project will be based on the Alqueva dam, which will be built at the confluence of the river Degebe and upstream from the confluence of the river Ardila.

The Alqueva reservoir stretch covers around 83 km in the counties of Moura, Moura, Reguengo de Moura and Alentejo. It has a capacity of 4.150 million cubic metres of which 1.150 million cubic metres are available during normal operation.



a unos 23 Km aguas abajo de Alqueva y constituirá su contra-embalse, con capacidad de 54 hm³ para el nivel máximo de explotación a cota 84,8 mt.

La central de bombeo dos Álamos, que permitirá la transferencia de caudales desde el embalse de Alqueva a los Álamos, con nivel máximo normal a la cota 232,5. A partir de la cual se realizará el abastecimiento de las zonas de regadío del alto y bajo Alentejo.

Los sistemas de aducción e irrigación de las zonas regables del alto y bajo Alentejo (70.000 Ha), de Pedrogao

(29.000 Ha), y de Árdila (11.000 Ha), estos últimos alimentados desde el embalse de Pedrogao.

ENTIDADES PARTICIPANTES

El propietario de la obra es Edif, la presa de Desarrollo de las Infraestructuras de Alqueva SA, creada en 1995 con capital público para gestionar el Proyecto de Fines Múltiples de Alqueva.

La entidad responsable del proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico es la DRORUM-Projecto y Gestión SA, la presa del grupo EDP (Electricidad de Portugal), la cual está también encargada de la gestión y fiscalización de las obras.

El Laboratorio nacional de Ingenieros Civil de Lisboa (LNEC), ha realizado varios estudios para el desarrollo del proyecto, fundamentalmente estudios de caracterización del macizo rocoso, en particular de la falla 9, la ladera izquierda denominada falla 22, modelos estructurales hidráulicos, control de los hormigones y observación del comportamiento de las obras durante y después de la construcción.

Las obras cuyos contratos se están desarrollando actualmente son las correspondientes a la presa y central de Alqueva. Los principales contratistas y suministradores de este proyecto son los siguientes:

Construcción de las obras civiles de la presa y de la central (contratista principal): La U.T.E. formada por las empresas: Bento Pedroso Construções SA (Brasil) en Portugal de Odebrecht-Brazil, (Inglaterra) y Proyectos (España), y Sonague Engenharia (Brasil) en Portugal. El valor base del contrato asciende a 16 mil millones de euros.

Suministro y montaje del equipo electromecánico: ABB - Asea Brown Boveri SA, con un valor base de contrato cercano a los 3,3 millones de euros.

Suministro y montaje de los grupos reversibles: el consorcio formado por las empresas: ABB - Asea Brown Boveri SA, ABB Power Generation SA, y Gec Alstom Neyric SA, con un valor base de contrato cercano a los 6,7 mil millones de euros.



AÇUDE DE PEDRÓGÃO / PEDRÓGÃO DAM



Suministro y montaje de instalaciones complementarias de producción y el tratamiento de fundaciones e inyecciones de juntas: Alacac SA por un valor base de contrato de 1,1 y 0,9 mil millones de euros respectivamente.

La obra se encuentra financiada por el estado portugués, los fondos estructurales de la Comunidad Económica Europea (por el Banco Internacional de Inversiones).

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Caracterización general

Como se ha comentado anteriormente los trabajos que se están ejecutando en la presa y central de Alqueva constan básicamente de los siguientes elementos:

- Una presa bóveda en hormigón de doble curvatura, con un desarrollo de coronación de 458 mt y una altura máxima sobre cimientos de 96 mt.
- Dos aliviaderos de superficie en canal y estructuras laterales en tramo, con capacidad de descarga de 6.300 m³/sg.
- Dos desagües de medio fondo constituidos por orificios que atraviesan el cuerpo de la presa bóveda, con capacidad máxima de descarga de 1.750 m³/sg.
- Un desagüe de fondo que se instalará en la actual galería de desvío provisional, con una capacidad de desagüe de 160 m³/sg.
- Una central de plé de presa, equipada con dos grupos reversibles de 120 Mw cada uno de potencia máxima en el eje de turbina.
- Dos circuitos hidráulicos independientes constituidos por tomas de agua (instalaciones en la fase de bombeo).



conducciones forzadas metálicas y entregas al embalse de Pedrogao (tomas de agua en la fase de bombeo).

▼ Desvío provisional del río Guadiana constituido por una galería de derivación con capacidad para un caudal de 700 m³/sg, una ataguía de hormigón constituida por tres bóvedas apoyadas en dos contrafuertes y en las márgenes, y una contraataguía de hormigón tipo gravedad.

Características de la presa

La solución proyectada para la presa de Alqueva es del tipo bóveda de doble curvatura, en hormigón vibrado, con estribos artificiales en ambas márgenes. La cerrada presenta una forma trapezoidal con una acentuada longitud en el fondo, siendo la margen derecha un poco mas abrupta que la izquierda. En la margen izquierda el Estribo artificial se justifica por las características geotécnicas del macizo de cimentación mas que por las condiciones topográficas de dicha margen. El estribo de la margen izquierda fue concebido para conseguir simetría en la incorporación de la bóveda en el valle, permitiendo incorporar así dos aliviaderos de superficie.

La bóveda tiene una altura máxima de 66 metros sobre cimientos, una relación cuerda/altura de 3,3 y un volumen de hormigón de 537.000 m³. Sus arcos horizontales, de directriz parabólica, son simétricos, teniendo el arco de coronación un desarrollo de 348 mt y un espesor constante de 7 mt. En cuanto al arco de base,

con 140,26 mt de desarrollo, tiene un espesor que varía entre 30 mt en el centro (valor teórico) y 33 mt en los arranques. En el contacto con la cimentación el espesor de la bóveda varía entre 33 mt en el fondo del valle y 21,32 mt junto a los estribos. El estribo de la margen izquierda tiene 50 mt de desarrollo y una altura variable entre 52,5 y 39 mt, en tanto el estribo de la margen derecha tiene un desarrollo de 60 mt y una altura variable comprendida entre 52,5 y 27 mt.

Geología de la zona y de la cerrada

La presa está implantada en un valle bastante largo, con un macizo de fundación de buena calidad en la margen derecha y



en el fondo del valle, constituido por esquistos verdes poco alterados y de elevado módulo de deformabilidad. Una situación diferente se verifica en relación con el filado existente en la ladera izquierda, accidente geológico denominado falla 22, el cual, a pesar de encontrarse razonablemente conservado, presenta módulos de deformabilidad del orden de la mitad de los esquistos verdes.

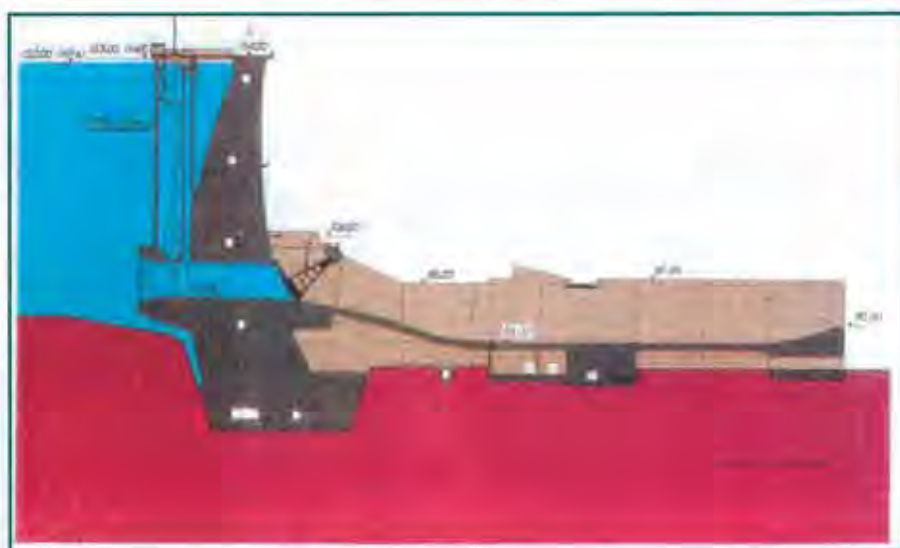
Este accidente geológico está constituido por dos fallas aproximadamente paralelas, las denominadas falla 22C y 22D, que limitan respectivamente el muro y el techo de la denominada falla 22, con espesores variables entre 3 y 7 mt en la zona mas superficial y superiores a 12 mt

bajo el aliviadero de superficie. Estas fallas 22C y 22D presentan potencias variables con intrusiones de material arcilloso de espesor variable entre decenas de centímetros hasta valores superiores a un metro, limitando un material constituido por filado triturado y fracturado. En las zonas de mayor proximidad entre ellas el filado se encuentra bastante triturado asemejándose a una única falla.

La definición de la solución de proyecto para el tratamiento de la falla 22 se apoyó en estudios de simulación mediante un estudio tridimensional de elementos finitos que modelizan la presa y el macizo de cimentación, en el cual se incluía la modelización de la mencionada falla 22.

Se realizaron diversos estudios de sensibilidad atribuyendo al material de la misma diversos módulos de deformabilidad, y considerando las acciones del peso propio, presión hidrostática y onda térmica anual, llegando a la conclusión de la necesidad de proceder a un refuerzo en la cimentación del estribo izquierdo.

Se definió entonces una solución que incluía las tres siguientes zonas de tratamiento diferenciado:



▼ Excavación a cielo abierto y reconstitución con hormigón, desde la intersección de la falla con la superficie de excavación de la cimentación hasta el bloque 3-4 de la presa.

▼ Substitución integral por hormigón del material de la caja de la falla, a partir de galerías en su interior, desde el bloque 3-4 hasta el bloque 2-3.

▼ Emparrillado de elementos de hormigón, contruados a partir de galerías, excavadas en el interior de la falla, en la zona bajo el bloque 1-2 de la presa y el aliviadero de superficie de la ladera izquierda.

Órganos de descarga

La solución adoptada para los órganos de descarga está constituida por:

▼ Dos aliviaderos de superficie, de tipo frontal, uno con un único vano integrado en el estribo derecho de la presa y el otro con dos vanos situado en posición adyacente al estribo izquierdo. Las capacidades máximas de descarga son de 2.100 y 2 X 2.100 m³/sg respectivamente. Cada uno de los aliviaderos de superficie está constituido por una zona de aproximación, una estructura de entrada, un canal y una estructura terminal. Las entradas están constituidas por soleras frontales provistas de compuertas semicirculares de 19 mt de anchura y 14 mt de altura, maniobradas por servomotores.

▼ Dos desagües de medio fondo constituidos por conductos blindados que atraviesan la presa, cada uno previsto para un caudal máximo de descarga de 1.750 m³/sg. Las estructuras de entrada se disponen en ménsula desde el



paramento de la presa. Los conductos tienen una sección de 7x9 m² y una longitud de 35 m, estando provistos a la salida de compuertas de segmento para regulación de caudales.

Circuitos hidráulicos central y subestación

La central es de tipo pie de presa de planta rectangular con mayor dimensión sensiblemente perpendicular al eje del río. Se desarrolla entre los desagües de medio fondo y estará equipada con dos grupos reversibles de eje vertical, distanciados 24 mt, constituidos por turbinas tipo Francis y por alternadores— motores sincrónicos directamente acoplados a la máquina hidráulica.

Cada turbina-bomba estará servida por un circuito hidráulico independiente dimensionado para un caudal máximo de 210 m³/sg. Los trazados en planta de cada circuito están más condicionados por su encaje entre la presa y la atigua que por la distancia entre ejes de grupos. Así al tener las tomas una distancia de 15 mt entre ejes el trazado del circuito G2 es un rectángulo mientras que el trazado del G1 Es, loarmente curvo.

Cada Toma está compuesta por una torre cilíndrica, de estructura metálica que se sitúa en el cauce del río y una manobra de compuertas, unida al paramento aguas arriba de la presa por una trompa a través de la cual se realiza la admisión de agua en el funcionamiento como turbina. La restitución

ción en el funcionamiento como bomba. Cada trompa solo incluye un bloque que origina dos secciones de entrada, cada una con un conector central que tiene unas dimensiones de 20 mm de altura y 5,06 mm de anchura y están equipadas con rejillas metálicas diamétricas que pueden ser extraídas, mediante guías de rodadura, por el sistema de conexión de las torres a la pila 154.

Cada conductores dispone de una compuerta de seguridad de tipo vagón, de dimensiones de 5,5 x 7,7 mt accionada por un servomotor situado en la cota 154. Aguas arriba de la compuerta existen rameras destinadas a la colocación de la compuerta - ataguía de emergencia; de esta manera se permite el acceso en seco en el interior de la torre y la evacuación de la compuerta de seguridad.

Los circuitos hidráulicos, a partir de las secciones de 7 milímetros de diámetro, están constituidos por conductos metálicos de 7 milímetros de diámetro. Estas conducciones se desarrollan en plano hasta el eje, a cota 62, del cono de reducción, de 7 milímetros de diámetro, de entrada en la cámara espiral. Las conducciones están dotadas de juntas flexibles entre los bloques de la presa y de la tubería de salida.

El tubo de aspiración de cada grupo está dividido, por el centro, mediante un tajamar de hormigón, por lo que cada una tiene dos secciones. Cada una de ellas, con dimensiones de 8,5 x 5 m², dispone de una compuerta - ataguía para

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Características de la balsa	• Tipo: bodega de doble curvatura con estribos de gravedad • Altura máxima sobre cimiento: 96,00 M. • Desarrollo de coronación: 450,0 M. (348 + 60,0 + 50,0) • Relación cuerda - altura: 3,3 • Cota de coronación: 154,0 • Espesores máx/min de la bodega: 33,0 - 73,0 M. • Espesores máx/min de los estribos: 52,0 - 32,0 M (dent) y 42,0 - 24,0 M (unq)
	• Número: 2 • Número de vano: 1 x 2 • Cota de umbral: 139,0 • Longitud de cada vano: 19,0 M. • Altura de cada vano: 14,0 M • Tipo de compuertas: Sector accionadas por servomotor. • Capacidad máxima de descarga: 3 x 2.100 M³/s.
Características de la compuerta	• Número de desagües: 2 • Cota de la solera de entrada: 92,0 • Área de cada desagüe: 7 x9 M². • Regulación: compuertas de sector a la salida. • Capacidad máxima de descarga: 2 x 1.750 M³/s.
	• Diámetro: 3 M. • Longitud: 228 M. • Capacidad máxima de descarga: 160 M³/s.
Características de la compuerta	• Avenida máxima probable: 12.000 M³/s. • Capacidad máxima de desagüe: 9.600 M³/s. • Laminación de la avenida máxima entre cotas: 152,0 y 153,0
	• Número de circuitos: 2 • Diámetro de cada circuito: 7 M. • Longitud de cada circuito: 103 M. • Número de grupos reversibles: 2 • Potencia de cada grupo como generador: 129,6 MW. • Potencia de cada grupo como bomba: 110,3 MW. • Caudal de cada grupo como turbina: 203,2 M³/s. • Caudal de cada grupo como bomba: 170,46 M³/s. • Altura de agua como turbina: 71,1 M. • Altura de agua como bomba: 61,46 M.
Características de la compuerta	• Hormigón en presa: 537.000 M³ • Hormigón en estribos: 150.000 M³ • Otros hormigones en masa: 65.000 M³ • Hormigón armado en estructuras: 250.000 M³ • Superficie encofrado: 250.000 M² • Acero en armaduras: 12.000 Tn.
	• Hormigón en presa: 537.000 M³ • Hormigón en estribos: 150.000 M³ • Otros hormigones en masa: 65.000 M³ • Hormigón armado en estructuras: 250.000 M³ • Superficie encofrado: 250.000 M² • Acero en armaduras: 12.000 Tn.

manejada con presiones equilibradas; su accionamiento se realiza mediante un servomotor colocado en la plataforma a cota 96,00.

La sustitución de los grupos fue concebida de manera de obtener la mejor adaptación entre las líneas de corriente y el contorno de los conductos. Esta salida se encuentra protegida por rejillas metálicas pues en bombeo actúa como toma.

La implantación de la central estuvo condicionada por:

- ▼ Adaptación al terreno.
- ▼ Localización de la presa y de las respectivas juntas de bloques.
- ▼ No interferencia con la estabilidad de las fundaciones de la presa.
- ▼ Aprovechamiento del espacio entre la presa y la central para la implantación de la subestación.

En su concepción se tuvo en cuenta la cota de calado de los álabes de las turbinas, la necesidad de áreas para servicios generales y montaje de equipos, la facilidad de comunicación entre diversas áreas y las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.

Del nivel de calado de las turbinas - bombas con el plano medio del distribuidor a cota 62,00, se deduce la ubicación de los niveles de los pisos de la central. Así tenemos:

Piso a cota 56,50, destinado esencialmente a la instalación de equipo mecánico como compresores y calderines de aire comprimido.

Piso a cota 63,50, también designado como piso de turbinas, destinado esencialmente a la instalación de los sistemas de regulación de velocidad y de accionamiento de los servomotores.

Piso a cota 68,00, también llamado piso de alternadores, en el que la zona aguas arriba está destinada a los equipos de refrigeración y la de aguas abajo a las excitaciones y a los cuadros de los grupos.

Piso a cota 73,00, es el piso principal de la sala de máquinas y se destina a la instalación de equipo eléctrico, estando la parte superior derecha del mismo reservado como área de montaje de los grupos.

Los pisos de cotas superiores a la del piso de central se destinan a la instalación de equipo eléctrico y áreas de apoyo (oficinas, sala de reuniones, recepción, etc.).

El acceso a la central se hace por la margen izquierda mediante una carretera que pasa bajo el aliviadero de superficie y entronca con la plataforma a cota 96,00. En esta plataforma se ubica la zona de llegada y maniobra de los equipos destinados a la central y subestación, donde un pórtico grúa de 2.000 kN de capacidad permite colocar a cota 73,00, a través de una abertura de 8 x 8 m, los componentes de los equipos. En dicha plataforma se ubica también el edificio de llegada que permite el acceso a los pisos de la central mediante escaleras y ascensor.



El tratamiento de esta falla es un trabajo que condiciona fuertemente el programa de actividades y, por consiguiente, la ejecución de los trabajos y la puesta en marcha del complejo.

Reparaciones empleadas

Las instalaciones destinadas a la producción de hormigón están sujetadas a las condiciones que establece el PPT (Plan de Prescripciones Técnicas). Es por ello que la primera opción a tener en cuenta en el diseño de las mismas es la adaptación de los mismos.

Para ello se emplean hasta 7 tamaños de áridos (0 - 2 mm; 2,5 - 5 mm; 5 - 10 mm; 10 - 19 mm; 19 - 38 mm; 38 - 75 mm; 75 - 150 mm).

Los conglomerantes usados son el cemento tipo IV - 32,5 y los aditivos volantes procedentes de la central de Sines. En

todas las dosificaciones se incluyen aserrantes y plastificantes. En las épocas más calurosas del año es necesario amasar con una cierta cantidad de hielo.

Obtención de áridos, cantera y proceso de fabricación.

Los áridos necesarios para la fabricación de los distintos tipos de morteros y hormigones se obtienen de una cantera de esquists, definida por el Cliente, que está situada en la margen derecha aguas arriba de la presa. La topografía de la zona definida para la explotación de estos materiales determina que la extracción de los mismos deba hacerse en pozos, lo cual supone una dificultad añadida en el manejo de los mismos.

Las operaciones de preparación del yacimiento se iniciaron con una limpieza por débros de la superficie ocupada por la explotación, dejando este material en las proximidades del périmetro con objeto de que al finalizar la explotación pueda re-



Galería de acceso a la falla 22. Abajo, vista general de la cantera.



superarse para las restauraciones medioambientales y paisajísticas.

La explotación se realiza en bancos con una altura máxima de 10 m y la cuadrícula de perforación, diámetro de taladro, carga de explosivo fueron adaptados para conseguir un producto adecuado a las dimensiones de la boca de la trituradora primaria instalada en la planta para procesamiento de la don.

Los equipos de maquinaria utilizados son los siguientes:

Destroce, preparación y acople de material volado

Una retroexcavadora sobre orugas con motor de 310 CV

Un tractor sobre orugas con motor de 165 CV

Perforación y voladura

Tres vagones perforadores sobre orugas con equipo para 2 1/2"

Carga, manejo de material en cantera y transporte

Dos retroexcavadoras sobre orugas con motor de 210 CV

Siete dumpers articulados, con caja para roca, Ø 271

10 mm + 19 mm	10%
19 mm + 38 mm	17%
38 mm + 75 mm	22%
75 mm + 150 mm	15%

La instalación está compuesta esencialmente por:

▼ a) **Puesto Primario.** Situado en las proximidades de la cantera, se compone de una tolva de recepción, en la que descargan los dumpers articulados que transportan los materiales procedentes del yacimiento, que dispone en su fondo de un alimentador vibrante equipado con barretes separadores (grizzly), con apertura de 100 mm, dimensionado para una capacidad de producción de 650 t/h.

El material rechazado por el grizzly se pasa por una machacadora de mandibulas, de 1.300 mm x 1.035 mm, con motor eléctrico de accionamiento de 180 CV. Producción 320 + 510 t/h. Y el pasante, de tamaño máximo inferior a 100 mm, se envía a una criba vibrante por la que se separan los estériles e incorporan al proceso los productos utilizables.

Con el fin de reducir el material lajeoso y mejorar la transportabilidad, el producto obtenido en la machacadora de mandibulas se dirige a una criba vibrante, equipada con malla de 150 mm, para tratar el rechazo en una trituradora secundaria de impactos, accionada por motor eléctrico de 270 CV, con capacidad para 270 t/h.

El material todo-uno obtenido en el puesto primario se envía, mediante transportadores de banda, a un acopio intermedio de regulación, con capacidad para 10.000 t aproximadamente.

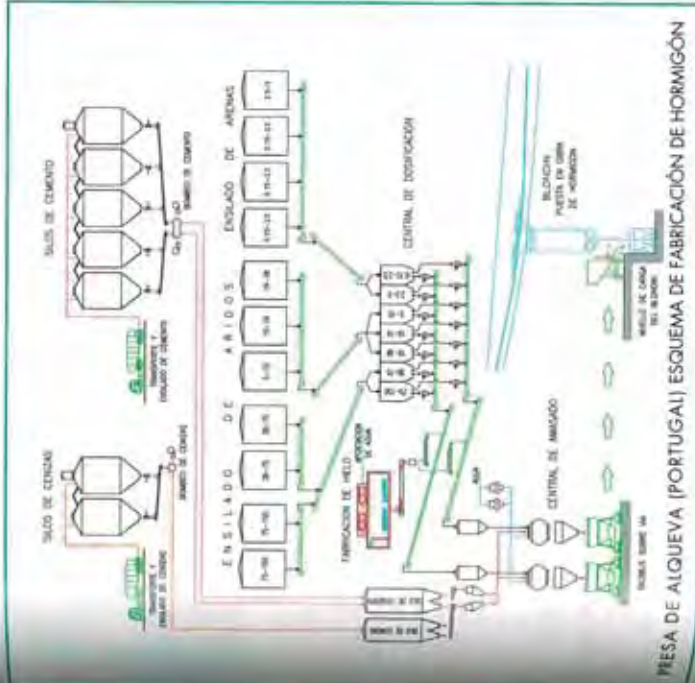
▼ b) **Transporte por cintas desde puesto primario hasta zona de clasificación y lavado.** A través de una galería situada bajo el acopio intermedio de regulación del puesto primario y mediante tres dosificadores vibrantes de bandeja para extracción, que disponen de equipos electrónicos para regulación

el procesamiento de los esquistos procedentes de la cantera, debido a la naturaleza exfoliable de esta roca y a su composición mineralógica rica en minerales arcillosos, es una operación con un alto grado de dificultad si pretende obtener un material con calidad suficiente para la fabricación de hormigones de una presa.

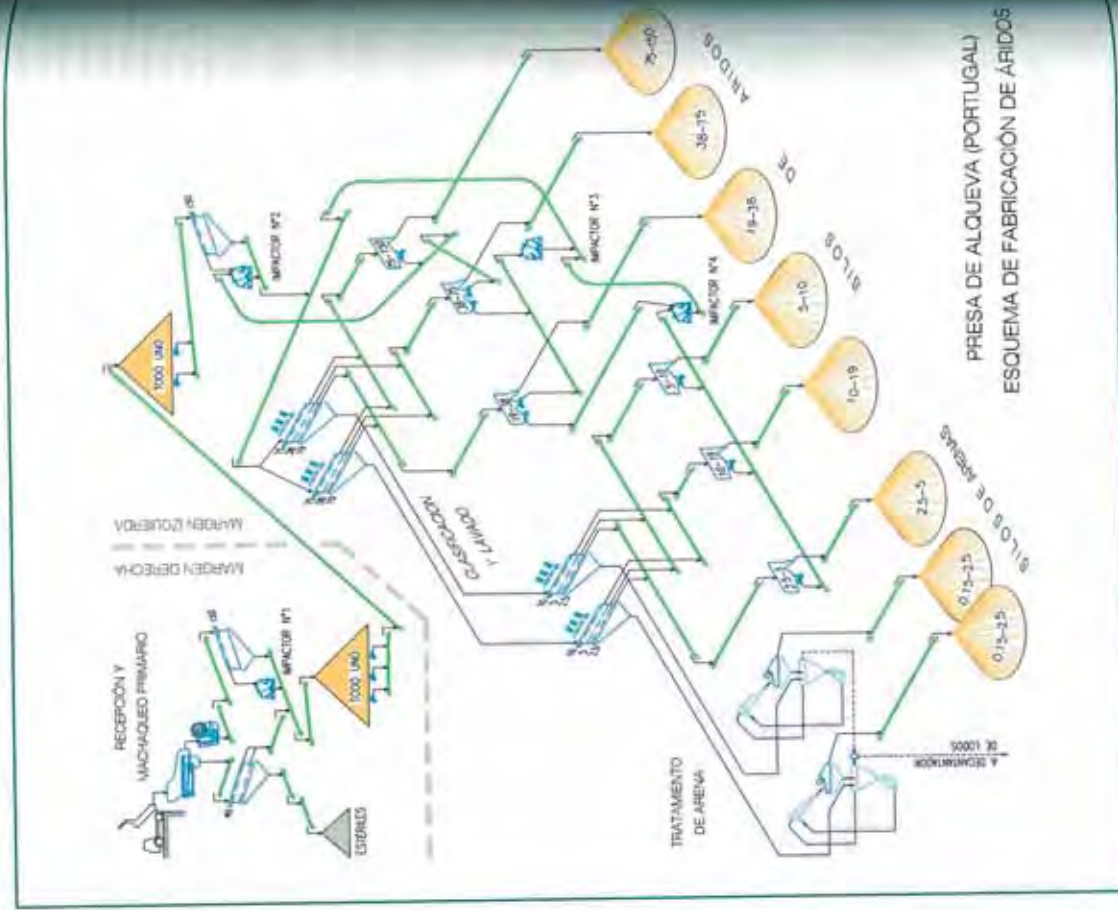
Es por ello que se diseñó y montó una planta para tratamiento de áridos con procesos de machaqueo en varias etapas, clasificación y lavado; prestando especial atención al lavado de la arena fina con el fin de poder cumplir con los requisitos de granulometría, módulo de finura, equivalente de arena, etc.

La capacidad de la instalación es de 450 + 500 t/h, obteniendo los siete tamaños y proporciones siguientes:

0,15 mm + 2,5 mm	24%
2,5 mm + 5 mm	3%
5 mm + 10 mm	9%



PRESA DE ALQUEVA (PORTUGAL) ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE HORMIGÓN



PRESA DE ALQUEVA (PORTUGAL)
ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE ÁRIDOS



de caudal, se alimenta una cadena de cintas transportadoras de 1.000 mm de ancho de banda con una longitud total de 1.700 m, por las que se hace llegar el todo-uno acopiado en el punto primario hasta otro acopio de regulación situado en la margen izquierda donde está ubicada la instalación para clasificación y lavado de áridos.

El Clasificación y lavado de los áridos. - Por medio de las dosificadoras vibrantes de bandeja, que disponen de equipos electrónicos para variación de caudal, instalados en una galería situada bajo el acopio del todo-uno en la margen izquierda, se extrae el material que es enviado a una criba vibrante de 9 m² de superficie de cribado, equipada con una malla de # 150 mm. El producto rechazado por la malla de la criba se trata en un molino secundario de impactos regulado adecuadamente para producir un material de tamaño máximo inferior a 150 mm. El cual, junto con el pasante por la malla de la criba y mediante transportadores de banda, se dirige a un cajón de distribución desde la que se alimentan las dos líneas o cadenas de cribado donde se efectúan los procesos de clasificación y la-

Las dos cadenas de cribado están compuestas por cuatro cribas vibrantes de 12 m² de superficie de cribado las dos instaladas en el piso superior y 15 m² de superficie de cribado las dos montadas en el piso inferior. Cada una de las cribas dispone de tres bandejas que están equipadas con mallas de # 75 mm, # 38 mm y # 19 mm respectivamente en la primera etapa y de # 10 mm, # 5 mm y # 2,5 mm respectivamente en la segunda etapa, donde se realiza la separación de los tamaños. Estas cribas tienen instaladas rampas de riego a base de difusores de bronce, en cada bandeja, efectuándose también el lavado de los áridos.

Los distintos tamaños de áridos superiores a 2,5 mm, una vez clasificados y lavados, se dirigen a tolvas de transferencia desde las que se pueden enviar a través de transportadores de banda hasta sus respectivos acopios sobre montón y a remachar los excedentes. Y el producto pasante por las mallas # 2,5 mm, de las dos líneas de clasificación, junto con el agua de lavado en las cribas, se envía hacia dos equipos para tratamiento de arena, con sistemas de hidrociclón dimensionados y regulados para eliminar los tamaños inferiores a 0,15 mm, disponiendo de secadores -



deshumectadores para disminuir y homogeneizar la humedad de la arena que después es dirigida, mediante cintas transportadoras, a su correspondiente acopio sobre montón.

Los excedentes del tamaño clasificado $150 \text{ mm} \div 75 \text{ mm}$ se machacan en el molino secundario de impactos; los del tamaño $75 \text{ mm} \div 38 \text{ mm}$ se pueden tratar en el molino secundario y en un molino terciario, también de impactos; los del tamaño $38 \text{ mm} \div 19 \text{ mm}$ se pueden enviar al molino terciario de impactos y a un molino cuaternario (arenero), y los excedentes producidos en los tamaños $19 \text{ mm} \div 10 \text{ mm}$; $10 \text{ mm} \div 5 \text{ mm}$ y $5 \text{ mm} \div 2,5 \text{ mm}$, se tratan en el molino "arenero".

Los materiales resultantes de la trituración en los molinos son reciclados y cribados nuevamente.

▼ d) Sistema para recuperación del agua de lavado.- Con el fin de no afectar al medio ambiente y evitar la contaminación, se instalaron dos decantadores de lodos, con equipos automáticos para dosificación del floculante, que reciben el agua con los productos que se eliminan en los sistemas para tratamiento de arena. El agua clarificada se bombea a la red de lavado de áridos, que trabaja en circuito cerrado, reponiendo únicamente la que se pierde en el circui-

to, y los lodos se dirigen a una zona preparada y acotada, para su acopio al aire libre.

Los decantadores llegan a tratar un total de $475 \text{ m}^3/\text{h}$ de pulpa.

▼ e) Elementos auxiliares.- La instalación se completa con las correspondientes tolvas, canaletas, alimentadores regulables, cintas transportadoras, básculas sobre cintas, equipos eléctricos y de telemando, etc., que permiten gran versatilidad y eficaces controles de funcionamiento y flujos de materiales producidos y reciclados.

Existe un puesto de mando y control para el puesto primario y otro que dispone de programa informático, en la zona de clasificación y lavado.

Central de fabricación, características

En la margen izquierda de la presa fue implantado el conjunto de instalaciones necesarias para la fabricación de los distintos tipos de hormigones a colocar en la obra, que fundamentalmente constan de:

▼ a) Ensilados de áridos en presa.- Los áridos clasificados y acopiados sobre montón en la planta de tratamiento, se



banda de 610 mm de ancho y alcance máximo de 61 m, y un camión que lleva montada una cinta transportadora, extensible, de alta velocidad, con banda de 457 mm de ancho y alcance máximo de 32 m.

▼ e) Transporte de hormigón con camión.- El hormigón fabricado en la planta auxiliar se transporta hasta los cubos de las grúas-torre y tolvas de recepción de los equipos con cintas de alta velocidad, mediante camiones hormigonera de 6 m³ y camiones con tolva especial, para transportar de hormigón, con capacidad para 9 m³.

▼ f) Medios para compactación del hormigón.- El hormigón que se descarga de los cazos de los blondines en los diferentes bloques de la presa precisa de un proceso de extendido y vibrado, que se realiza con equipos de máquinas adecuadas a las características del proyecto. Para el extendido se han utilizado tres tractores sobre orugas, con motor de 70/75 CV, y para el vibrado del hormigón tres retroexcavadoras de 90 CV a las que se sustituyó el cazo por un palonier que monta seis vibradores oleohidráulicos con agujas de Ø 150 mm.

Para las zonas a las que no se puede acceder con las máquinas se emplean vibradores de mano, de diferentes diámetros de aguja, que son de accionamiento eléctrico o neumático.

Refrigeración de los hormigones. Planta de hielo para amasado y refrigeración de los bloques por serpientes

Dadas las altas temperaturas que en verano se registran en la zona de construcción de la presa y de acuerdo con lo indicado en los P.P.T., se hizo necesario disponer de unos sistemas de enfriamiento con objeto de reducir la temperatura del hormigón antes de su colocación y después de colocado.

Los procedimientos utilizados son:

▼ a) Incorporación de escamas de hielo en la central de hormigón principal.- Uno de los sistemas para reducir la temperatura del hormigón durante su fabricación, es la sustitución de parte del agua de amasado por hielo en escamas. Para ello se montó una fábrica de escamas de hielo con capacidad para producir 100 t/día y un silo, perfectamente aislado, para almacenar 95 t de hielo.

Por medio de un tornillo sin-fin, las escamas son transportadas desde el silo hasta un depósito intermedio de regulación desde el que se pueden alimentar simultáneamente las dos básculas pesadoras.

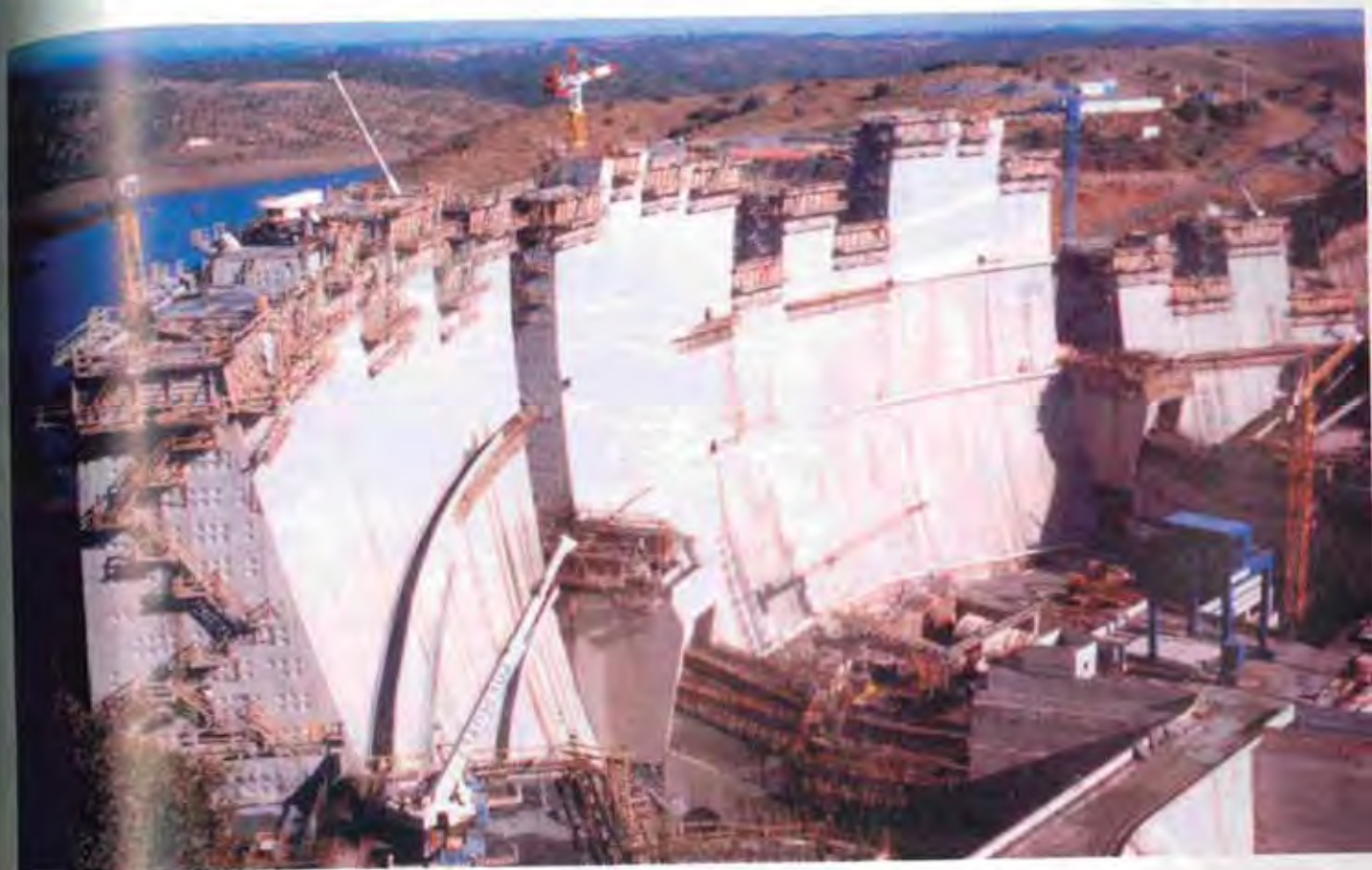
▼ b) Utilización de agua fría para amasado.- También se instaló un equipo para enfriamiento de agua hasta 4° C desde el que se puede conducir el agua fría hasta la central de hormigón principal, para utilizarla en el amasado de la mezcla y, por otra parte, alimentar con agua fría la fábrica de escamas de hielo con el fin de aumentar el rendimiento del equipo.

▼ c) Post-refrigeración del hormigón.- Para poder reducir la temperatura del hormigón durante el proceso de fraguado, se instaló una red de tuberías aisladas, de distintos diámetros, a través de las que se llega a los diferentes bloques de la presa.

Antes del hormigonado de las tongadas de los bloques se dejan montados una serie de serpentines preparados con tubería metálica de Ø 1" y 1 mm de espesor, dispuestos, en planos horizontales y separados dos metros. Se sitúan a una distancia de 0,5 m de cada uno de los cuatro paramentos.

La refrigeración artificial de la presa consiste en hacer circular agua, en principio del río y finalmente refrigerada, a través de los serpentines embebidos en el hormigón que fueron diseñados para soportar una presión interior de 16 kg/cm.

La circulación del agua por los serpentines, tanto del río como refrigerada, se realiza en secuencias prefijadas para poder conseguir la temperatura adecuada del hormigón antes de proceder a la inyección de las juntas.



Estado actual del proyecto.

Para el enfriamiento de agua a utilizar en la post-refrigeración se han montado cuatro equipos, de las mismas características, (dos en la margen derecha y los otros dos en la izquierda), con un rendimiento global de:

Capacidad.....	4.520 kW térmicos
Temperatura de salida del agua.....	5° C
Caudal de agua enfriada a 5° C	120 l/seg
Potencia eléctrica instalada.....	1.200 kW

Estado Actual del Proyecto.

Se encuentra en plena ejecución la obra civil de la presa y central, a excepción del estribo de la margen izquierda que se encuentra afectado por el tratamiento de la falla 22.

Los bloques de la margen derecha de la presa se encuentran hormigonados entre la cota 121 y la 150,50, los del lecho del río entre la 126,50 y la 152,70 y los de la margen izquierda entre la cota 103 y la 141. El estribo izquierdo se encuentra sin comenzar debido, como se ha comentado, a estar afectado por el tratamiento de la falla 22.

El aliviadero de la margen derecha está en ejecución con bloques entre la cota 89 y la 104 y el de la margen izquierda se

encuentra sin comenzar, igual que el estribo correspondiente, por la mencionada afectación de la falla 22.

Los bloques de los desagües de medio fondo se encuentran a cotas 110 y 97 respectivamente el derecho y el izquierdo.

Respecto al desagüe de fondo está hormigonada la zapata de la torre de compuertas a cota 120.

La central se encuentra próxima a su cubrición para comenzar el montaje de las cámaras espirales. El muro aguas abajo de la central está acabado a excepción de los tramos entre aliviaderos de superficie.

Las fechas previstas para la finalización de los hitos principales son :

- ▼ Fin del tratamiento de la falla 22 : 30/10/2001
- ▼ Fin del Cuerpo de presa : 31/12/2001
- ▼ Comienzo de embalse : 31/12/2001
- ▼ Apertura al tráfico de la coronación de la presa : 15/08/2002
- ▼ Conclusión de todos los trabajos de obra civil : 29/11/2002
- ▼ Inicio de la producción de energía en la central : 27/01/2003. ■

PRESA Y CENTRAL DE ALQUEVA EN PORTUGAL

Fernando Abadía Anadón

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de la División de Obras Hidráulicas de la Asesoría Técnica de Dragados

J. Morim de Oliveira

Ingeniero Civil

Director de Obra

RESUMEN

El complejo de unos múltiples de Alqueva, situado sobre el río Guadiana, es una obra de importancia estratégica para el desarrollo de la región sur de Portugal. Tiene como grandes objetivos la constitución de una reserva estratégica de agua, la garantía de abastecimiento privado e industrial, la alteración del modelo cultural de agricultura y la producción de energía. Entre sus características destaca la magnitud del volumen de su embalse, que con un volumen de 4.150 Hm³ formará el mayor lago artificial de Europa, y la concepción de su central reversible. En su construcción participan las empresas españolas Dragados O.P. y Necso. Los medios puestos al servicio de su ejecución resultan acordes con la magnitud y complejidad de las obras a ejecutar.

ABSTRACT

The Alqueva complex set on the river Guadiana is a work of strategic importance for the development of southern Portugal. The project has been undertaken with the aim of establishing strategic water reserves, in order to guarantee private and industrial water supply as well as instituting changes in the traditional form of agriculture and providing energy. The project is noted for the size of the reservoir which, at a volume of 4,150 Hm³, will form the largest artificial lake in Europe and the fact that it includes a reversible power plant. The Spanish companies Dragados O.P and Necso are participating in the construction work and the means required for the construction of the project reflect the scale and complexity of the works.

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

El Complejo de usos múltiples de Alqueva, de importancia estratégica para el desarrollo de la región sur de Portugal, tiene como grandes objetivos la constitución de una reserva estratégica de agua, la garantía de abastecimiento privado e industrial, la alteración del modelo cultural de agricultura y la producción de energía.

Su realización potenciará la diversificación de las actividades económicas y combatirá la desertización a través de la irrigación de una vasta área del territorio y de la regulación del río Guadiana, atenuando el efecto de las sequías prolongadas.

El primer proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico de Alqueva data de 1969, que constituía el primer salto de un conjunto de tres aprovechamientos en cascada que se preveía iban a ser construidos en Alqueva, Rocha da Galé y Pomarao. La solución proyectada para una presa de Alqueva era de tipo de bóvedas múltiples y la central hidroeléctrica estaba equipada con tres grupos reversibles de 120 MW estando preparada para duplicar su potencia con tres grupos adicionales iguales a los anteriores. El área de regadío que entonces se preveía equipar era de 180.000 Ha.

En 1988 este proyecto fue revisado alterándose el tipo de presa y el dimensionamiento de la central. La solución inicial



Vista general de las obras en junio de 2000.

de bóvedas múltiples dio paso a una solución mas simple de bóveda única, que ofrecía mayores garantías de cumplimiento de los plazos de ejecución y que desde el punto de vista estructural se revelaba ventajosa. En cuanto al dimensionamiento de la central se optó por reducir al mínimo las inversiones iniciales, lo cual justificaba económicamente el proyecto para el sistema nacional de energía eléctrica.

En 1990 fue creada una comisión interministerial para la impulsión y seguimiento del Proyecto de Fines Múltiples de Alqueva. De las alternativas entonces estudiadas fue aprobada una configuración constituida por los siguientes elementos: I) Presa de Alqueva con nivel máximo de explotación a cota 152 para regar 110.000 Há; II) Central hidroeléctrica equipada con dos grupos reversibles de 120 MW; III) Azud de contra-embalse aguas abajo de la central; IV) Azud en el tramo internacional del río Guadiana, aguas abajo de Alqueva, para permitir el abastecimiento de agua al Algarve y a España.

De esta manera la configuración final del Proyecto Múltiple está constituida por los siguientes elementos principales:

▼ Presa de Alqueva, en el río Guadiana, situada a unos 10,5 km al NW de Moura y ligeramente aguas abajo de la confluencia con el río Degebe, la cual originará un gran embalse de 4.150 Hm³ de capacidad total para el nivel máximo de explotación a cota 152, extendiéndose a lo largo de un centenar de kilómetros por el territorio nacional y por la zona internacional del río. Este embalse formará el mayor lago artificial de Europa.

▼ La central hidroeléctrica de Alqueva, a pie de presa, equipada con dos grupos reversibles de 120 MW cada uno.

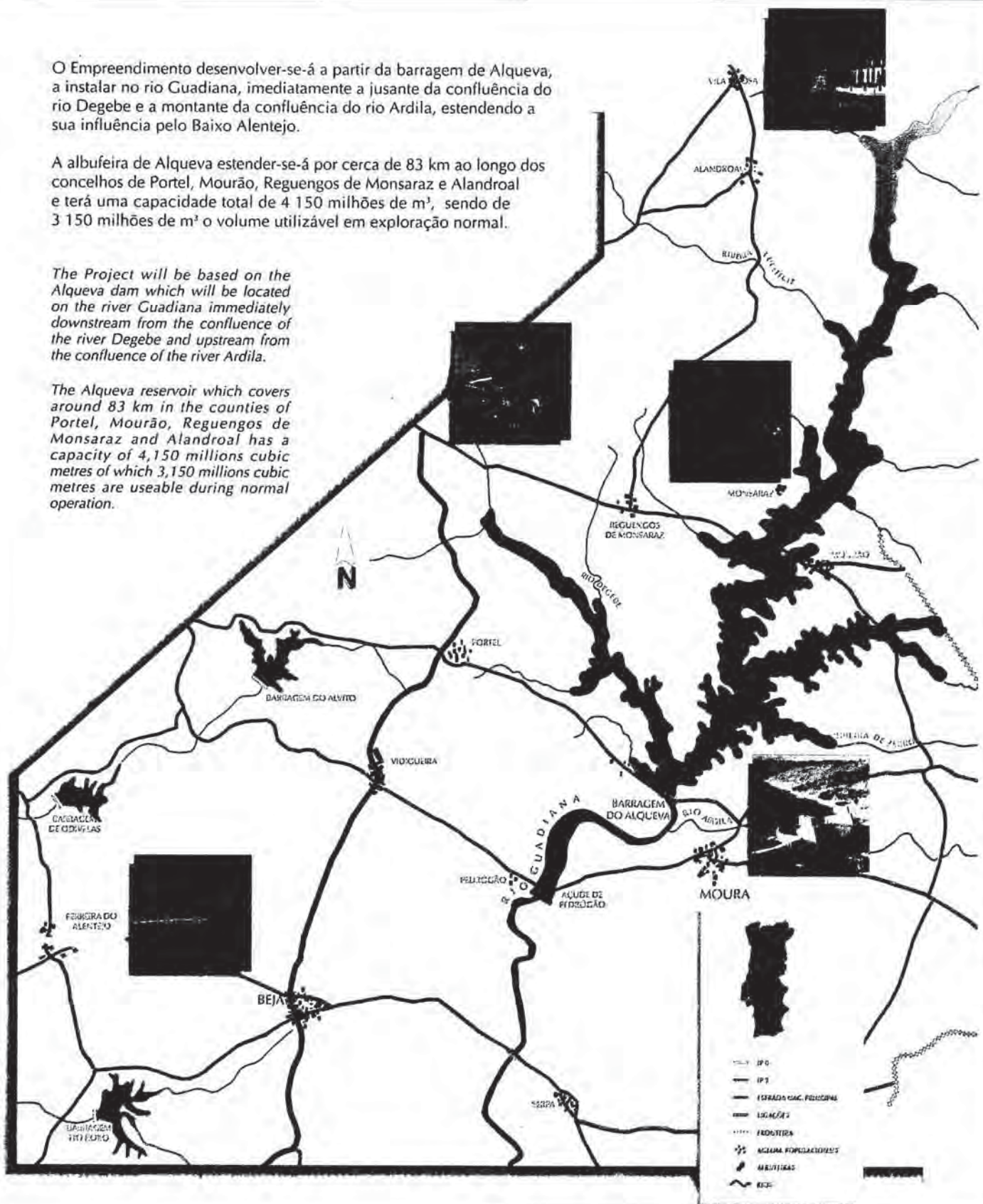
▼ La presa de Pedrogao, de tipo gravedad, en hormigón, con 43 mt de altura máxima sobre cimientos y 448 mt de desarrollo de coronación a cota 93. Se encontrará situada

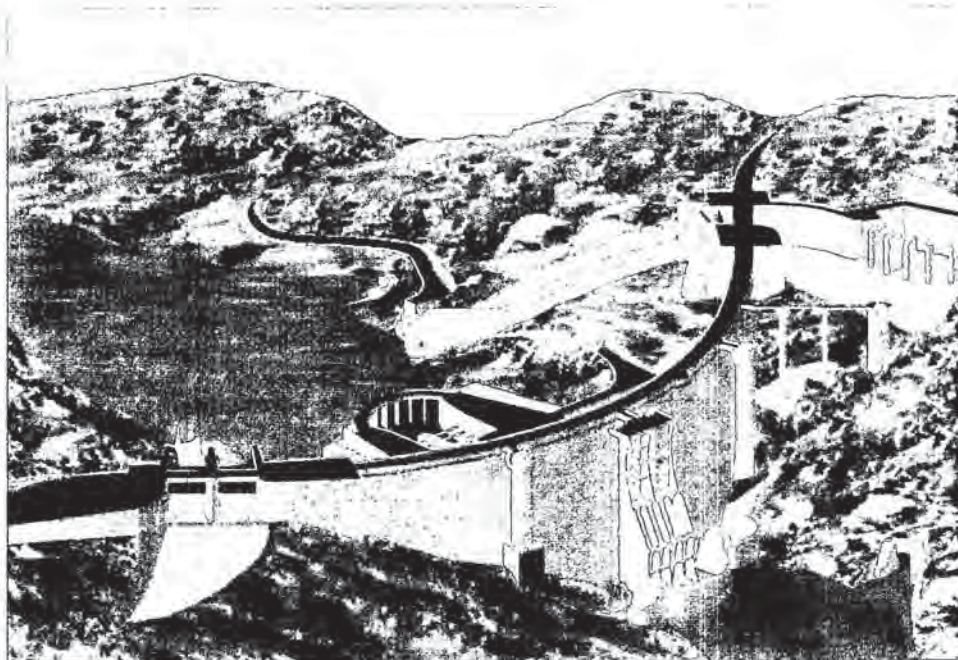
O Empreendimento desenvolver-se-á a partir da barragem de Alqueva, a instalar no rio Guadiana, imediatamente a jusante da confluência do rio Degebe e a montante da confluência do rio Ardila, estendendo a sua influência pelo Baixo Alentejo.

A albufeira de Alqueva estender-se-á por cerca de 83 km ao longo dos concelhos de Portel, Mourão, Reguengos de Monsaraz e Alandroal e terá uma capacidade total de 4 150 milhões de m³, sendo de 3 150 milhões de m³ o volume utilizável em exploração normal.

The Project will be based on the Alqueva dam which will be located on the river Guadiana immediately downstream from the confluence of the river Degebe and upstream from the confluence of the river Ardila.

The Alqueva reservoir which covers around 83 km in the counties of Portel, Mourão, Reguengos de Monsaraz and Alandroal has a capacity of 4,150 millions cubic metres of which 3,150 millions cubic metres are useable during normal operation.





a unos 23 Km aguas abajo de Alqueva y constituirá su contra-embalse, con capacidad de 54 Hm³ para el nivel máximo de explotación a cota 84,8 mt.

▼ La central de bombeo dos Álamos, que permitirá la transferencia de caudales desde el embalse de Alqueva a dos Álamos, con nivel máximo normal a la cota 232,5. A partir de la cual se realizará el abastecimiento de las zonas de regadío del alto y bajo Alentejo.

▼ Los sistemas de aducción e irrigación de las zonas regables del alto y bajo Alentejo (70.000 Ha), de Pedrogao

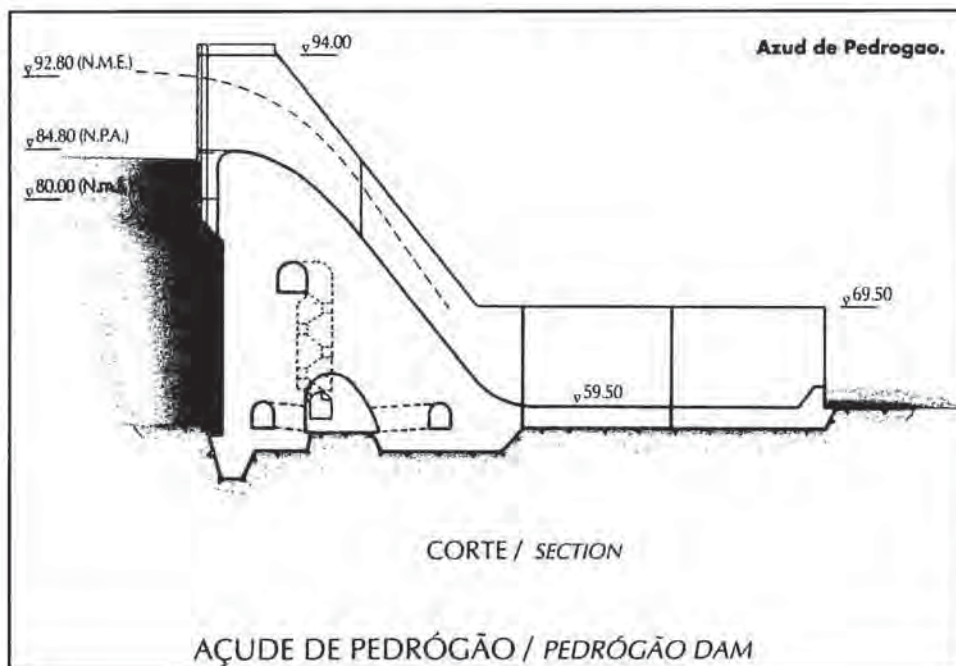
caracterización del macizo rocoso, en particular de la falla de la ladera izquierda denominada falla 22, modelos estructurales e hidráulicos, control de los hormigones y observación del comportamiento de las obras durante y después de la construcción.

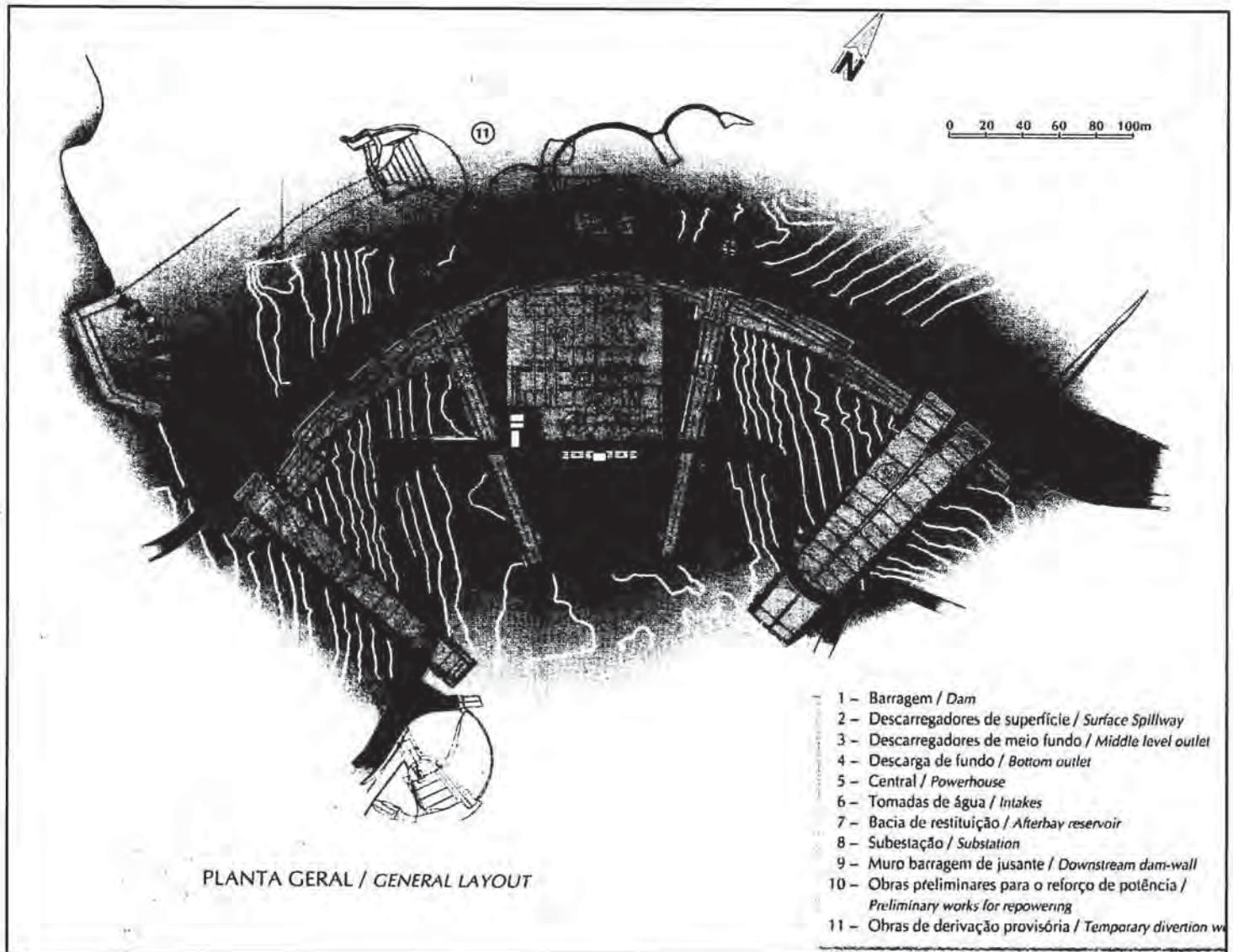
Las obras cuyos contratos se están desarrollando actualmente son las correspondientes a la presa y central de Alqueva. Los principales contratistas y suministradores de este proyecto son los siguientes :

▼ Construcción de las obras civiles de la presa y de la central (contratista principal): La U.T.E. formada por las empresas: Bento Pedroso Construções SA (Filial en Portugal de Odebrecht-Brasil), Dragados Obras y Proyectos (España), Neco (España), y Somague Engenharia SA líder de la U.T.E. El valor base del contrato asciende a 16 mil millones de escudos.

▼ Suministro y montaje del equipamiento hidromecánico : ABB - Asea Brown Boveri SA, con un valor base de contrato cercano a los 3,3 mil millones de escudos.

▼ Suministro y montaje de los grupos reversibles: el consorcio formado por las empresas: ABB - Asea Brown Boveri SA, ABB Power Generation SA, y Gec Alsthom Neyric SA con un valor base de contrato cercano a los 8,7 mil millones de escudos.





▼ Suministro y montaje de instalaciones complementarias de producción y el tratamiento de fundaciones e inyecciones de juntas : Afacel SA por un valor base de contrato de 1,8 y 0,9 mil millones de escudos respectivamente.

La obra se encuentra financiada por el estado Portugués, por fondos estructurales de la Comunidad Económica Europea y por el Banco Internacional de Inversiones .

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Caracterización general

Como se ha comentado anteriormente los trabajos que se están ejecutando en la presa y central de Alqueva constan principalmente de los siguientes elementos :

▼ Una presa bóveda en hormigón de doble curvatura, con un desarrollo de coronación de 458 mt y una altura máxima sobre cimientos de 96 mt.

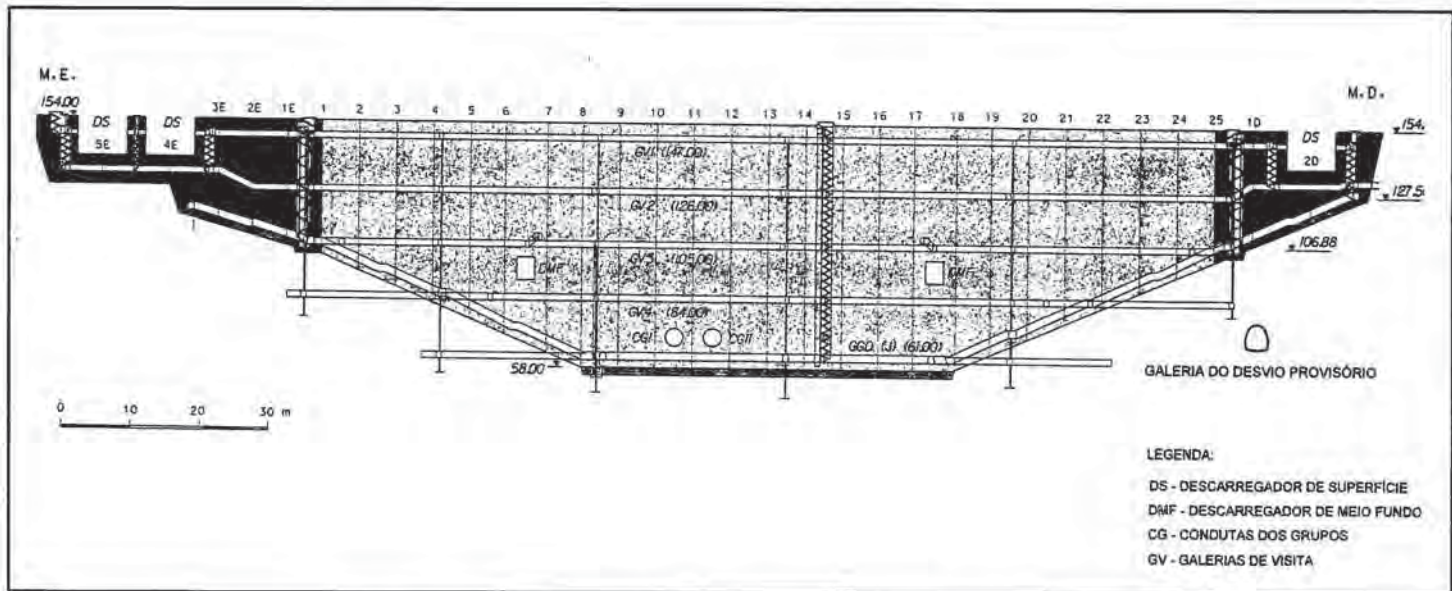
▼ Dos aliviaderos de superficie en canal y estructuras terminales en trampolín, con capacidad de descarga de 6.300 m³/sg.

▼ Dos desagües de medio fondo constituidos por orificios que atraviesan el cuerpo de la presa bóveda, con capacidad máxima de descarga de 1.750 m³/sg.

▼ Un desagüe de fondo que se instalará en la actual galería de desvío provisional, con una capacidad de desagüe de 160 m³/sg.

▼ Una central de pie de presa, equipada con dos grupos reversibles de 120 Mw cada uno de potencia máxima en el eje de turbina.

▼ Dos circuitos hidráulicos independientes constituidos por tomas de agua (restituciones en la fase de bombeo),



conducciones forzadas metálicas y entregas al embalse de Pedrogao (tomas de agua en la fase de bombeo).

▼ Desvío provisional del río Guadiana constituido por una galería de derivación con capacidad para un caudal de 700 m³/sg, una ataguía de hormigón constituida por tres bóvedas apoyadas en dos contrafuertes y en las márgenes, y una contraataguía de hormigón tipo gravedad.

Características de la presa

La solución proyectada para la presa de Alqueva es del tipo bóveda de doble curvatura, en hormigón vibrado, con estribos artificiales en ambas márgenes. La cerrada presenta una forma trapezoidal con una acentuada longitud en el fondo, siendo la margen derecha un poco mas abrupta que la izquierda. En la margen izquierda el Estribo artificial se justifica por las características geotécnicas del macizo de cimentación mas que por las condiciones topográficas de dicha margen. El estribo de la margen izquierda fue concebido para conseguir simetría en la inserción de la bóveda en el valle, permitiendo incorporar así dos aliviaderos de superficie.

La bóveda tiene una altura máxima de 96 metros sobre cimientos, una relación cuerda/altura de 3,3 y un volumen de hormigón de 537.000 m³. Sus arcos horizontales, de directriz parabólica, son simétricos, teniendo el arco de coronación un desarrollo de 348 mt y un espesor constante de 7 mt. En cuanto al arco de base,

con 140,26 mt de desarrollo, tiene un espesor que varía entre 30 mt en el centro (valor teórico) y 33 mt en los arranques. En el contacto con la cimentación el espesor de la bóveda varía entre 33 mt en el fondo del valle y 21,32 mt junto a los estribos. El estribo de la margen izquierda tiene 50 mt de desarrollo y una altura variable entre 52,5 y 39 mt, en tanto el estribo de la margen derecha tiene un desarrollo de 60 mt y una altura variable comprendida entre 52,5 y 27 mt.

Geología de la zona y de la cerrada

La presa está implantada en un valle bastante largo, con un macizo de fundación de buena calidad en la margen derecha y



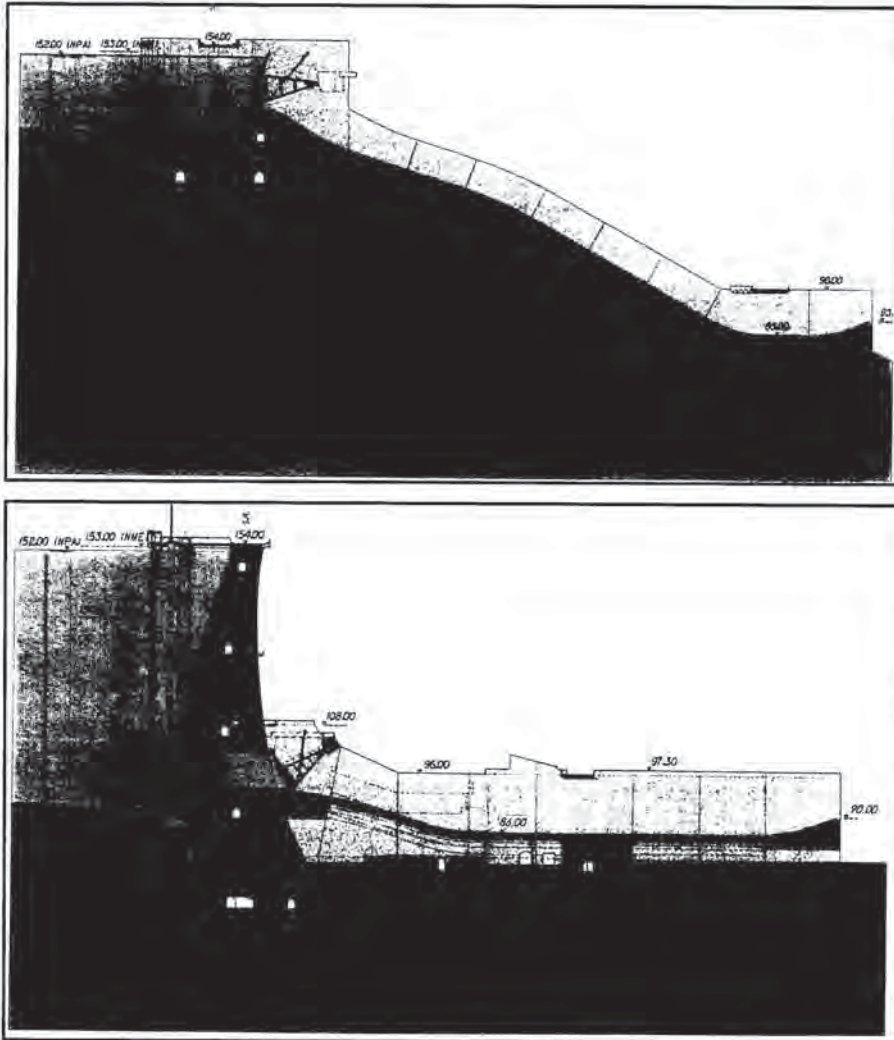
en el fondo del valle, constituido por esquistos verdes poco alterados y de elevado módulo de deformabilidad. Una situación diferente se verifica en relación con el filadio existente en la ladera izquierda, accidente geológico denominado falla 22, el cual, a pesar de encontrarse razonablemente conservado, presenta módulos de deformabilidad del orden de la mitad de los esquistos verdes.

Este accidente geológico está constituido por dos fallas aproximadamente paralelas, las denominadas falla 22C y 22D, que limitan respectivamente el muro y el techo de la denominada falla 22, con espesores variables entre 3 y 7 mt en la zona mas superficial y superiores a 12 mt bajo el aliviadero de superficie. Estas fallas 22C y 22D presentan potencias variables con intrusiones de material arcilloso de espesor variable entre decenas de centímetros hasta valores superiores a un metro, limitando un material constituido por filadio triturado y fracturado. En las zonas de mayor proximidad entre ellas el filadio se encuentra bastante triturado asemejándose a una única falla.

La definición de la solución de proyecto para el tratamiento de la falla 22 se apoyó en estudios de simulación mediante un estudio tridimensional de elementos finitos que modelizan la presa y el macizo de cimentación, en el cual se incluía la modelización de la mencionada falla 22.

Se realizaron diversos estudios de sensibilidad atribuyendo al material de la misma diversos módulos de deformabilidad, y considerando las acciones del peso propio, presión hidrostática y onda térmica anual, llegando a la conclusión de la necesidad de proceder a un refuerzo en la cimentación del estribo izquierdo.

Se definió entonces una solución que incluía las tres siguientes zonas de tratamiento diferenciado:



▼ Excavación a cielo abierto y reconstitución con hormigón, desde la intersección de la falla con la superficie de excavación de la cimentación hasta el bloque 3-4 de la presa.

▼ Substitución integral por hormigón del material de la caja de la falla, a partir de galerías en su interior, desde el bloque 3-4 hasta el bloque 2-3.

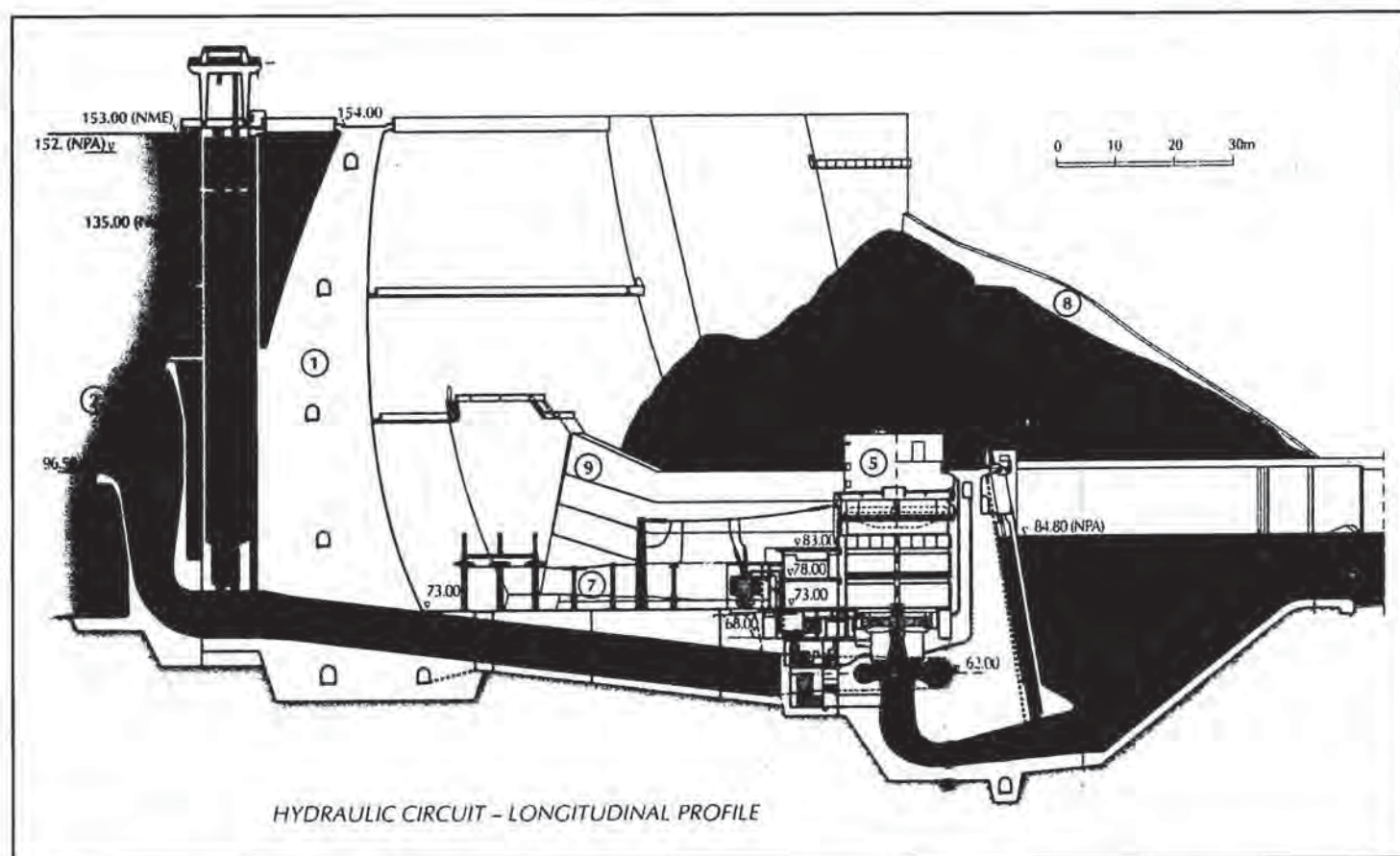
▼ Emparrillado de elementos de hormigón, contruidos a partir de galerías, excavadas en el interior de la falla, en la zona bajo el bloque 1-2 de la presa y el aliviadero de superficie de la ladera izquierda.

Órganos de descarga

La solución adoptada para los órganos de descarga está constituida por:

▼ Dos aliviaderos de superficie, de tipo frontal, uno con un único vano integrado en el estribo derecho de la presa y el otro con dos vanos situado en posición adyacente al estribo izquierdo. Las capacidades máximas de descarga son de 2.100 y 2 X 2.100 m³/s respectivamente. Cada uno de los aliviaderos de superficie está constituido por una zona de aproximación, una estructura de entrada, un canal y una estructura terminal. Las entradas están constituidas por soleras frontales provistas de compuertas semicirculares de 19 mt de anchura y 14 mt de altura, maniobradas por servomotores.

▼ Dos desagües de medio fondo constituidos por conductos blindados que atraviesan la presa, cada uno previsto para un caudal máximo de descarga de 1.750 m³/s. Las estructuras de entrada se disponen en ménsula desde el



paramento de la presa. Los conductos tienen una sección de $7 \times 9 \text{ m}^2$ y una longitud de 35 mt, estando provistos a la salida de compuertas de segmento para regulación de caudales.

Circuitos hidráulicos central y subestación

La central es de tipo pie de presa de planta rectangular con su mayor dimensión sensiblemente perpendicular al eje del río. Se desarrolla entre los desagües de medio fondo y estará equipada con dos grupos reversibles de eje vertical, distanciados 24 mt, constituidos por turbinas -bomba tipo Francis y por alternadores- motores sincrónicos trifásicos directamente acoplados a la máquina hidráulica.

Cada turbina-bomba estará servida por un circuito hidráulico independiente dimensionado para un caudal máximo de $210 \text{ m}^3/\text{sg}$. Los trazados en planta de cada circuito están mas condicionados por su encaje entre la presa y la ataguía que por la distancia entre ejes de grupos. Así al tener las tomas una distancia de 15 mt entre ejes el trazado del circuito G2 es rectilíneo mientras que el trazado del G1 Es ligeramente curvo.

Cada Toma está compuesta por una torre cilíndrica, de maniobra de compuertas, unida al paramento aguas arriba de la presa por una trompa a través de la cual se realiza la admisión de agua, en el funcionamiento como turbina, y la restitución en el funcionamiento como bomba.

Cada trompa constituye un bloque independiente y está subdividida por un tajamar central que origina dos secciones de entrada, cada sección tiene unas dimensiones de 20 mt de altura y 5,65 mt de anchura y están equipadas con rejillas metálicas desmontables que pueden ser extraídas, mediante guías de rodadura, por la plataforma de coronación de las torres a la cota 154.

Cada conducción dispone de una compuerta de seguridad, de tipo vagón, de dimensiones de $5,5 \times 7,7 \text{ mt}$ accionada por un servomotor situado en la cota 154. Aguas arriba de esta compuerta existen ranuras destinadas a la colocación de una compuerta - ataguía de emergencia; de esta manera se posibilita el acceso en seco en el interior de la torre y la eventual reparación de la compuerta de seguridad.

Los circuitos hidráulicos, a partir de las secciones de transición, están constituidos por conductos metálicos de 7 mt de diámetro. Estas conducciones se desarrollan en plano inclinado hasta el eje, a cota 62, del cono de reducción, de 7 a 5,6 mt, de entrada en la cámara espiral. Las conducciones están dotadas de juntas flexibles entre los bloques de la presa y de la subestación.

El tubo de aspiración de cada grupo está dividido, por el centro, mediante un tajamar de hormigón, por lo que cada salida tiene dos secciones. Cada una de ellas, con dimensiones de $6,5 \times 6 \text{ m}^2$, dispone de una compuerta - ataguía para ser

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Presa:	• Tipo: bóveda de doble curvatura con estribos de gravedad • Altura máxima sobre cimientos: 96,00 M. • Desarrollo de coronación: 458,0 M. (348 + 60,0 + 50,0) • Relación cuerda - altura: 3,3 • Cota de coronación: 154,0 • Espesores máx/mín de la bóveda: 33,0 - 7,0 M. • Espesores máx/mín de los estribos: 52,0 - 32,0 M (der) y 42,0 - 24,0 M (izq)
Aliviaderos de superficie	• Número: 2 • Número de vanos: 1 + 2 • Cota de umbral: 139,0 • Longitud de cada vano: 19,0 M. • Altura de cada vano: 14,0 M • Tipo de compuertas: Sector accionadas por servomotor. • Capacidad máxima de descarga: 3 x 2.100 M³/s.
Desagües de medio fondo	• Número de desagües: 2 • Cota de la solera de entrada: 92,0 • Área de cada desagüe: 7 x 9 M². • Regulación : compuertas de sector a la salida. • Capacidad máxima de descarga: 2 x 1.750 M³/s.
Desagüe de fondo	• Diámetro: 3 M. • Longitud: 228 M. • Capacidad máxima de descarga: 160 M³/s.
Avenidas	• Avenida máxima probable: 12.000 M³/s. • Capacidad máxima de desagüe: 9.600 M³/s. • Laminación de la avenida máxima entre cotas: 152,0 y 153,0
Circuitos hidráulicos y grupos	• Número de circuitos: 2 • Diámetro de cada circuito: 7 M. • Longitud de cada circuito: 103 M. • Número de grupos reversibles: 2 • Potencia de cada grupo como generador: 129,6 MW. • Potencia de cada grupo como bomba: 110,3 MW. • Caudal de cada grupo como turbina: 203,2 M³/s. • Caudal de cada grupo como bomba: 170,48 M³/s. • Altura de agua como turbina: 71,1 M. • Altura de agua como bomba: 61,46 M.
Volúmenes principales de obra	• Hormigón en presa: 537.000 M³ • Hormigón en estribos: 150.000 M³ • Otros hormigones en masa: 65.000 M³ • Hormigón armado en estructuras: 350.000 M³ • Superficie encofrada: 250.000 M² • Acero en armaduras: 12.000 Tn.

maniobrada con presiones equilibradas; su accionamiento se realiza mediante un servomotor colocado en la plataforma a cota 96,00.

La restitución de los grupos fue concebida de manera de obtener la mejor adaptación entre las líneas de corriente y el contorno de los conductos. Esta salida se encuentra protegida por rejillas metálicas pues en bombeo actúa como toma.

La implantación de la central estuvo condicionada por :

- ▼ Adaptación al terreno.
- ▼ Localización de la presa y de las respectivas juntas de bloques.
- ▼ No interferencia con la estabilidad de las fundaciones de la presa.
- ▼ Aprovechamiento del espacio entre la presa y la central para la implantación de la subestación.

En su concepción se tuvo en cuenta la cota de calado de los álabes de las turbinas, la necesidad de áreas para servicios generales y montaje de equipos, la facilidad de comunicación entre diversas áreas y las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.

Del nivel de calado de las turbinas – bombas con el plano medio del distribuidor a cota 62,00 , se deduce la ubicación de los niveles de los pisos de la central. Así tenemos :

Piso a cota 56,50, destinado esencialmente a la instalación de equipo mecánico como compresores y calderines de aire comprimido.

Piso a cota 63,50, también designado como piso de turbinas, destinado esencialmente a la instalación de los sistemas de regulación de velocidad y de accionamiento de los servomotores.

Piso a cota 68,00, también llamado piso de alternadores, en el que la zona aguas arriba está destinada a los equipos de refrigeración y la de aguas abajo a las excitatrices y a los cuadros de los grupos.

Piso a cota 73,00, es el piso principal de la sala de máquinas y se destina a la instalación de equipo eléctrico, estando la parte superior derecha del mismo reservado como área de montaje de los grupos.

Los pisos de cotas superiores a la del piso de central se destinan a la instalación de equipo eléctrico y áreas de apoyo (oficinas, sala de reuniones, recepción, etc).

El acceso a la central se hace por la margen izquierda mediante una carretera que pasa bajo el aliviadero de superficie y entronca con la plataforma a cota 96,00. En esta plataforma se ubica la zona de llegada y maniobra de los equipos destinados a la central y subestación, donde un pórtico grúa de 2.000 KN de capacidad permite colocar a cota 73,00, a través de una abertura de 8 x 8 m², los componentes de los equipos. En dicha plataforma se ubica también el edificio de llegada que permite el acceso a los pisos de la central mediante escaleras y ascensor.

El movimiento de cargas en el interior de la central se realiza mediante dos puentes grúa de 1.800 KN cada uno.

El muro-presa de aguas abajo de desarrolla en cada margen entre el canal de descarga del aliviadero de superficie y el del desagüe de medio fondo, prolongándose por la pared aguas bajo de la central entre los desagües de medio fondo. Por su coronación, a cota 96,00, se realiza el acceso de vehículos a la central.

La plataforma de la subestación, a cota 73,00, está delimitada por la presa, el edificio de central y los desagües de medio fondo.

PROCESOS CONSTRUCTIVOS

La ejecución del proyecto ha exigido la implementación de equipos e instalaciones acorde con las magnitudes de la obra a ejecutar y con las condiciones topográficas y geológicas del entorno.

Excavaciones y tratamiento de las cimentaciones

El proceso de excavación se realizó mediante el uso de explosivos aplicando técnicas de recorte y precorte. La carga del escombro resultante se hizo con retroexcavadoras pesadas de mas de 50 Tn y camiones articulados de 25 Tn equipados con caja especial para el transporte de materiales rocosos. Las escombreras para el vertido de estos productos se encuentran inmediatamente aguas arriba de la ubicación de la presa y quedarán cubiertas por el embalse.

Durante la ejecución de las excavaciones y comienzo de las cimentaciones se produjeron avenidas en río Guadiana que alcanzaron caudales medidos de 4.527 M³/s en la zona de obras; lo cual, dada la capacidad de laminación de la ataguía, significa una avenida de 5.500 M³/s que corresponde a un periodo de recurrencia de 40 a 50 años. Ello provocó el rebose de la ataguía y la consiguiente inundación de la zona de obras dando lugar a pérdidas y daños en la ejecución con el consiguiente retraso en el programa general de actividades.

Mención especial merece el tratamiento de la denominada falla 22 en la ladera izquierda. Su tratamiento está siendo realizado mediante técnicas de artesanía minera accediendo a los 6 niveles previstos de sustitución del terreno mediante dos galerías inclinadas mas de 20 °.

Dada la heterogeneidad del terreno en la zona de falla la excavación en la misma, tanto en las galerías de acceso como en las de sustitución del terreno, se realiza mediante tres técnicas distintas en función del terreno a excavar : rozadoras ligeras acopladas a retroexcavadoras, martillos rompedores hidráulicos igualmente acoplados a dichas retroexcavadoras o con empleo de explosivos, para lo cual se cuenta con un jumbo minimatic de bajo perfil que realiza la perforación.

En todos los casos la extracción de escombros se realiza con cargadora minera de perfil bajo tipo Scoop.



El tratamiento de esta falla es un trabajo que condiciona totalmente el programa de actividades y, por consiguiente, la finalización de los trabajos y la puesta en marcha del complejo.

Dosificaciones empleadas

Las instalaciones destinadas a la producción de hormigones están supeditadas a las condiciones que establece el PPT (Pliego de Prescripciones Técnicas). Es por ello que la primera condición a tener en cuenta en el diseño de las mismas es la composición de los mismos.

Para ello se emplean hasta 7 tamaños de áridos (0 - 2,5mm; 2,5 - 5 mm; 5 - 10 mm; 10 - 19 mm; 19 - 38 mm; 38 - 75 mm; 75 - 150 mm).

Los conglomerantes usados son el cemento tipo IV - 32,5 y las cenizas volantes procedentes de la central de Sines. En

todas las dosificaciones se incluyen aireantes y plastificantes. En las épocas mas calurosas del año es necesario amasar con una cierta cantidad de hielo.

Obtención de áridos, cantera y proceso de fabricación.

Los áridos necesarios para la fabricación de los distintos tipos de morteros y hormigones se obtienen de una cantera de esquistos, definida por el Cliente, que está situada en la margen derecha aguas arriba de la presa. La topografía de la zona definida para la explotación de estos materiales determina que la extracción de los mismos deba hacerse en pozo, lo cual supone una dificultad añadida en el manejo de los mismos.

Las operaciones de preparación del yacimiento se iniciaron con una limpieza por desbroce de la superficie ocupada por la explotación, dejando este material en las proximidades del perímetro con objeto de que al finalizar la explotación pueda re-



Galería de acceso a la falla 22. Abajo, vista general de la cantera.

cuperarse para las restauraciones medioambientales y paisajísticas.

La explotación se realiza en bancos con una altura media de 10 m y la cuadrícula de perforación, diámetro de taladros y carga de explosivo fueron adaptados para conseguir un producto adecuado a las dimensiones de la boca de la machacadora primaria instalada en la planta para procesamiento de áridos.

Los equipos de maquinaria utilizados son los siguientes:

Desbroce, preparación y acopio de material volado

- ▼ Una retroexcavadora sobre orugas con motor de 310 CV
- ▼ Un tractor sobre orugas con motor de 165 CV

Perforación y voladura

- ▼ Tres vagones perforadores sobre orugas con equipo para $\varnothing 2\frac{1}{2}$ "

Carga, manejo de material en cantera y transporte

- ▼ Dos retroexcavadoras sobre orugas con motor de 310 CV
- ▼ Siete dumperes articulados, con caja para roca, de 25 t



El procesamiento de los esquistos procedentes de la cantera, debido a la naturaleza exfoliable de esta roca y a su composición mineralógica rica en minerales arcillosos, es una operación con un alto grado de dificultad si pretende obtener un material con calidad suficiente para la fabricación de hormigones de una presa.

Es por ello que se diseñó y montó una planta para tratamiento de áridos con procesos de machaqueo en varias etapas, clasificación y lavado; prestando especial atención al lavado de la arena fina con el fin de poder cumplir con los requisitos de granulometría, módulo de finura, equivalente de arena, etc.

La capacidad de la instalación es de 450 ÷ 500 t/h, obteniendo los siete tamaños y proporciones siguientes:

0,15 mm ÷ 2,5 mm	24%
2,5 mm ÷ 5 mm	3%
5 mm ÷ 10 mm	9%

10 mm ÷ 19 mm	10%
19 mm ÷ 38 mm	17%
38 mm ÷ 75 mm	22%
75 mm ÷ 150 mm	15%

La instalación está compuesta esencialmente por:

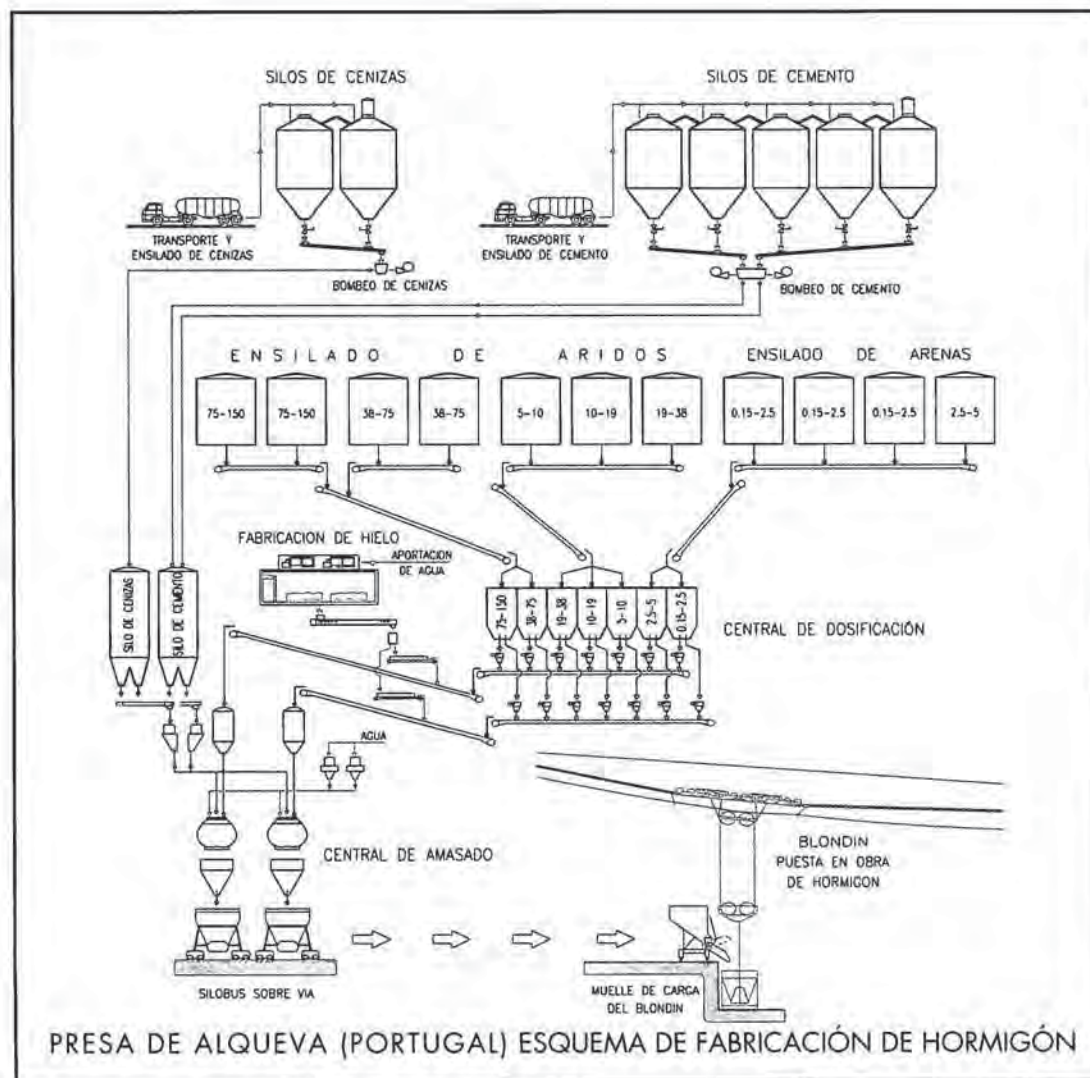
▼ a) Puesto Primario.- Situado en las proximidades de la cantera, se compone de una tolva de recepción, en la que descargan los dumperes articulados que transportan los materiales procedentes del yacimiento, que dispone en su fondo de un alimentador vibrante equipado con barros separadores (grizzly), con abertura de 100 mm, dimensionado para una capacidad de producción de 650 t/h.

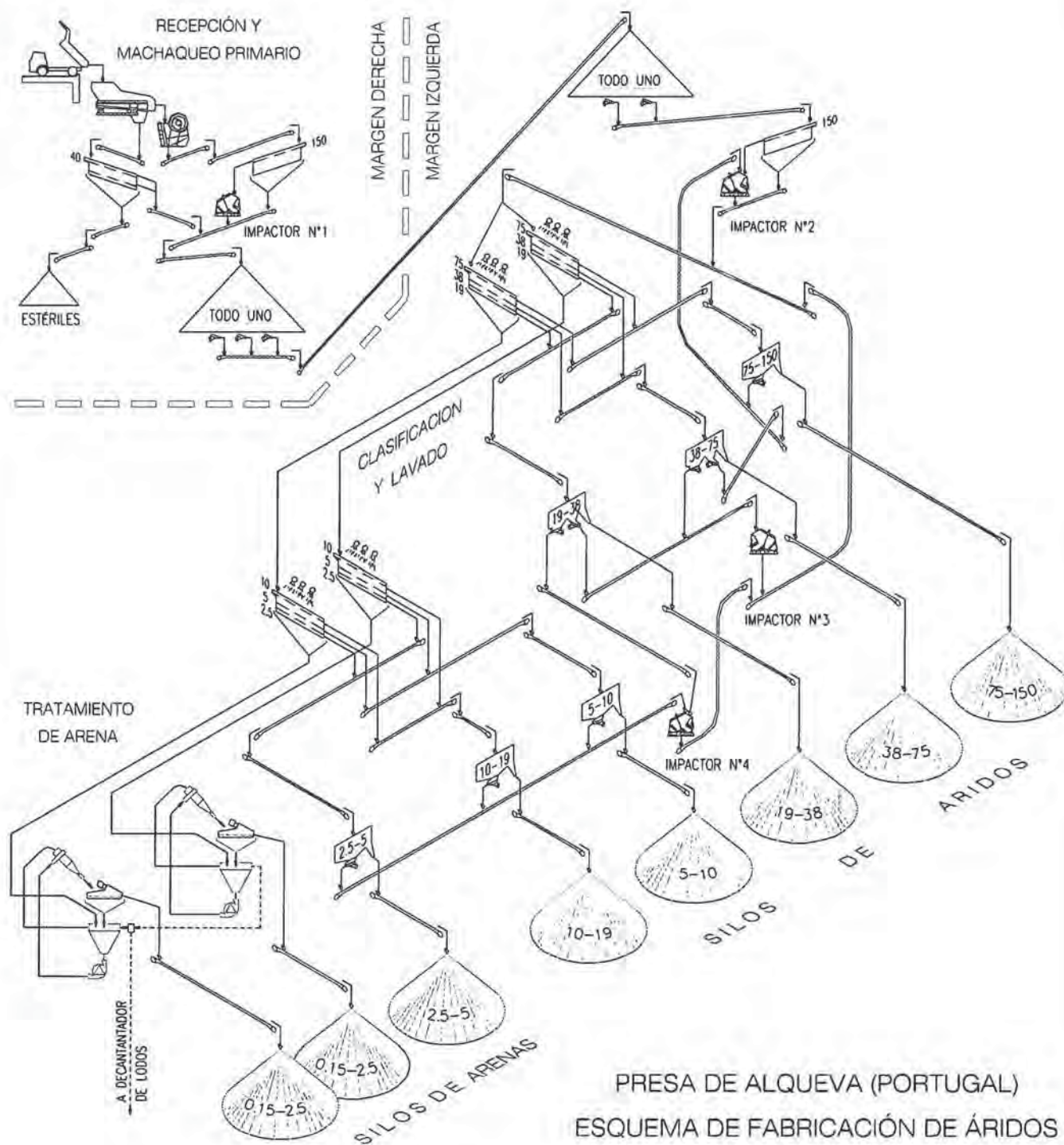
El material rechazado por el grizzly se pasa por una machacadora de mandíbulas, de 1.300 mm x 1.035 mm, con motor eléctrico de accionamiento de 180 CV. Producción 320 ÷ 510 t/h. Y el pasante, de tamaño máximo inferior a 100 mm, se envía a una criba vibrante por la que se separan los estériles e incorporan al proceso los productos utilizables.

Con el fin de reducir el material lajoso y mejorar la transportabilidad, el producto obtenido en la machacadora de mandíbulas se dirige a una criba vibrante, equipada con malla de # 150 mm, para tratar el rechazo en una trituradora secundaria de impactos, accionada por motor eléctrico de 270 CV, con capacidad para 270 t/h.

El material todo-uno obtenido en el puesto primario se envía, mediante transportadores de banda, a un acopio intermedio de regulación, con capacidad para 10.000 t aproximadamente.

▼ b) Transporte por cintas desde puesto primario hasta zona de clasificación y lavado.- A través de una galería situada bajo el acopio intermedio de regulación del puesto primario y mediante tres dosificadores vibrantes de bandeja para extracción, que disponen de equipos electrónicos para regulación





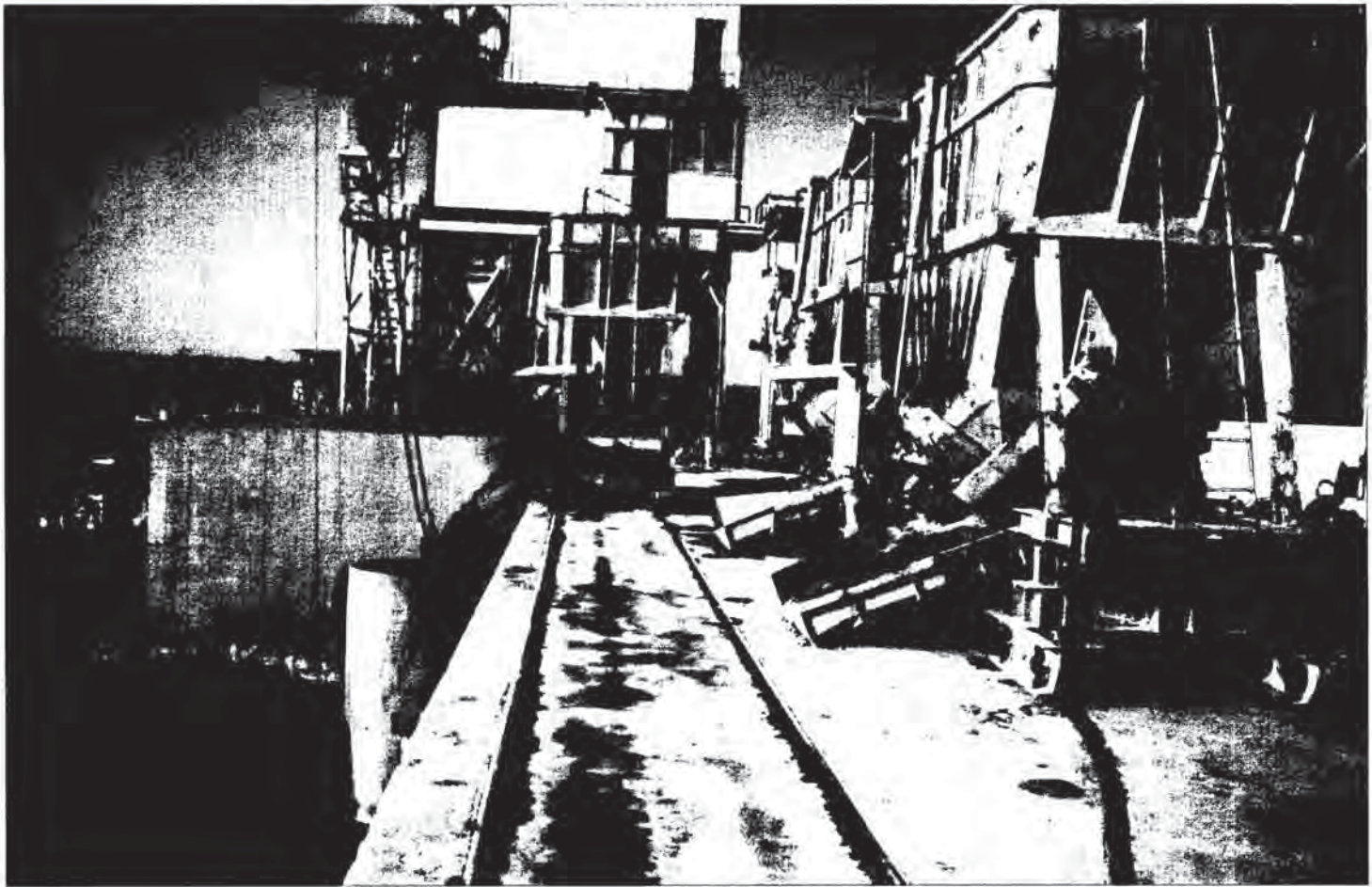


de caudal, se alimenta una cadena de cintas transportadoras de 1.000 mm de ancho de banda con una longitud total de 1.700 m, por las que se hace llegar el todo-uno acopiado en el puesto primario hasta otro acopio de regulación situado en la margen izquierda donde está ubicada la instalación para clasificación y lavado de áridos.

▼ c) Clasificación y lavado de los áridos.- Por medio de dos dosificadores vibrantes de bandeja, que disponen de equipos electrónicos para variación de caudal, instalados en una galería situada bajo el acopio del todo-uno en la margen izquierda, se extrae el material que es enviado a una criba vibrante de 9 m² de superficie de cribado, equipada con una malla de # 150 mm. El producto rechazado por la malla de la criba se trata en un molino secundario de impactos regulado adecuadamente para producir un material de tamaño máximo inferior a 150 mm. El cual, junto con el pasante por la malla de la criba y mediante transportadores de banda, se dirige a un cajón de distribución desde la que se alimentan las dos líneas o cadenas de cribado donde se efectúan los procesos de clasificación y lavado.

Las dos cadenas de cribado están compuestas por cuatro cribas vibrantes de 12 m² de superficie de cribado las dos instaladas en el piso superior y 15 m² de superficie de cribado las dos montadas en el piso inferior. Cada una de las cribas dispone de tres bandejas que están equipadas con mallas de # 75 mm, # 38 mm y # 19 mm respectivamente en la primera etapa y de # 10 mm, # 5 mm y # 2,5 mm respectivamente en la segunda etapa, donde se realiza la separación de los tamaños. Estas cribas tienen instaladas rampas de riego a base de difusores de bronce, en cada bandeja, efectuándose también el lavado de los áridos.

Los distintos tamaños de áridos superiores a 2,5 mm, una vez clasificados y lavados, se dirigen a tolvas de transferencia desde las que se pueden enviar a través de transportadores de banda hasta sus respectivos acopios sobre montón y a remachacar los excedentes. Y el producto pasante por las mallas # 2,5 mm, de las dos líneas de clasificación, junto con el agua de lavado en las cribas, se envía hacia dos equipos para tratamiento de arena, con sistemas de hidrociclón dimensionados y regulados para eliminar los tamaños inferiores a 0,15 mm, disponiendo de secadores -



deshumectadores para disminuir y homogeneizar la humedad de la arena que después es dirigida, mediante cintas transportadoras, a su correspondiente acopio sobre montón.

Los excedentes del tamaño clasificado $150 \text{ mm} \div 75 \text{ mm}$ se machacan en el molino secundario de impactos; los del tamaño $75 \text{ mm} \div 38 \text{ mm}$ se pueden tratar en el molino secundario y en un molino terciario, también de impactos; los del tamaño $38 \text{ mm} \div 19 \text{ mm}$ se pueden enviar al molino terciario de impactos y a un molino cuaternario (arenero), y los excedentes producidos en los tamaños $19 \text{ mm} \div 10 \text{ mm}$; $10 \text{ mm} \div 5 \text{ mm}$ y $5 \text{ mm} \div 2,5 \text{ mm}$, se tratan en el molino "arenero".

Los materiales resultantes de la trituración en los molinos son reciclados y cribados nuevamente.

▼ d) Sistema para recuperación del agua de lavado.- Con el fin de no afectar al medio ambiente y evitar la contaminación, se instalaron dos decantadores de lodos, con equipos automáticos para dosificación del floculante, que reciben el agua con los productos que se eliminan en los sistemas para tratamiento de arena. El agua clarificada se bombea a la red de lavado de áridos, que trabaja en circuito cerrado, reponiendo únicamente la que se pierde en el circui-

to, y los lodos se dirigen a una zona preparada y acotada, para su acopio al aire libre.

Los decantadores llegan a tratar un total de $475 \text{ m}^3/\text{h}$ de pulpa.

▼ e) Elementos auxiliares.- La instalación se completa con las correspondientes tolvas, canaletas, alimentadores regulables, cintas transportadoras, básculas sobre cintas, equipos eléctricos y de telemando, etc., que permiten gran versatilidad y eficaces controles de funcionamiento y flujos de materiales producidos y reciclados.

Existe un puesto de mando y control para el puesto primario y otro que dispone de programa informático, en la zona de clasificación y lavado.

Central de fabricación, características

En la margen izquierda de la presa fue implantado el conjunto de instalaciones necesarias para la fabricación de los distintos tipos de hormigones a colocar en la obra, que fundamentalmente constan de:

▼ a) Ensilados de áridos en presa.- Los áridos clasificados y acopiados sobre montón en la planta de tratamiento, se

transportan secuencialmente mediante cintas y alimentadores vibrantes para extracción montados en las galerías bajo los acopios, hasta una batería de once silos metálicos cerrados, de fondo plano, montados sobre cuatro galerías construidas en hormigón armado y situado próximos a la central para fabricación de hormigón.

Sobre una de las galerías están montados dos silos de 1.250 m³ de capacidad, cada uno, donde se acopia el árido 150 ÷ 75 mm; sobre otra galería están montados dos silos de 800 m³ de capacidad, cada uno, que reciben el árido de 75 mm ÷ 38 mm; sobre otra de las galerías se montaron un silo de 800 m³ de capacidad para el árido 38 mm ÷ 19 mm y dos de 700 m³ de capacidad, cada uno, para los áridos 19 mm ÷ 10 mm y 10 mm ÷ 5 mm, respectivamente y sobre la cuarta galería se montaron cuatro silos de 700 m³ de capacidad, cada uno, tres destinados al acopio de arena fina y uno para arena gruesa.

Para la extracción de los áridos se instalaron alimentadores dosificadores que alimentan una cinta transportadora situada en la correspondiente galería bajo silos, que dirige cada uno de los productos clasificados hacia la planta de hormigón.

Todos los silos están aislados exteriormente mediante un recubrimiento de protección térmica.

▼ b) Planta principal para fabricación de hormigón.- Los distintos tipos de hormigones se fabrican en una central dosificadora-amasadora con capacidad para 250 m³/h de hormigón vibrado.

La planta es de desarrollo horizontal y esencialmente se compone de una batería con siete tolvas con doble salida, de 40 m³ de capacidad cada una, para acopio de áridos; un silo regulador para cemento de 80 t y un silo para cenizas volantes de 60 t, con los correspondientes niveles de máximo y mínimo llenado y sin-fines para descarga; cintas transportadoras para recibir los áridos dosificados y envío hasta las tolvas de espera; electrobombas centrifugas para descarga de agua, etc. Dispone de dos líneas de dosificación con catorce básculas independientes para áridos, dos básculas para cemento, dos básculas para cenizas volantes, dos básculas para agua, dos básculas para hielo en escamas y cuatro básculas para aditivos líquidos. Para el amasado se utilizan dos mezcladoras con capacidad para 4,5 m³ de hormigón vibrado, cada una, montadas sobre pórtico independiente del que soportan los dosificadores.

Bajo cada una de las mezcladoras se dispone de una tolva de espera de hormigón con capacidad para 9 m³, cada una, equipadas con cierres de casco.

El funcionamiento puede realizarse de forma manual o automática. Para el funcionamiento en automático dispone de un equipo electrónico que controla todo el proceso de dosificación, transporte y amasado, mediante los correspondientes sensores. Está controlado por PC indus-

trial con monitor color. Y el seguimiento del funcionamiento de la planta se efectúa a través de pantalla sinóptica con aviso de descompensaciones.

▼ c) Ensilado de cemento y cenizas volantes.- En las proximidades de la planta de hormigón se instaló un sistema para acopio de conglomerantes. Se montaron siete silos metálicos con capacidad para 500 m³, cada uno, estando destinadas cinco para cemento y dos para cenizas.

El transporte desde estos silos de acopio hasta los silos propios de la central de hormigón se realiza mediante sistemas combinados a base de aerodeslizadores y aire a baja presión. Se montaron dos en paralelo para el cemento y uno para las cenizas.

La mezcla y dosificación del cemento y las cenizas volantes se efectúa en la planta de hormigón después del pesaje independiente de cada uno de los productos. En el fondo de las básculas hay instalados sendos sistemas para su vaciado que vierten en un tornillo sin-fin común donde se realiza la mezcla antes de su incorporación a la amasadora.

▼ d) Planta auxiliar para fabricación de hormigón.- Para la fabricación de los hormigones previos a la puesta en marcha de la central principal y para atender el suministro de hormigones a frentes de trabajo situados fuera del cuerpo de presa, se instaló una planta auxiliar compuesta de dosificadora para cinco tamaños de áridos (hasta 38 mm), silos para cemento y cenizas, y pórtico con amasadora forzada de eje vertical. Su capacidad real se aproxima a los 80 m³/h de hormigón vibrado.

Puesta en obra de los hormigones

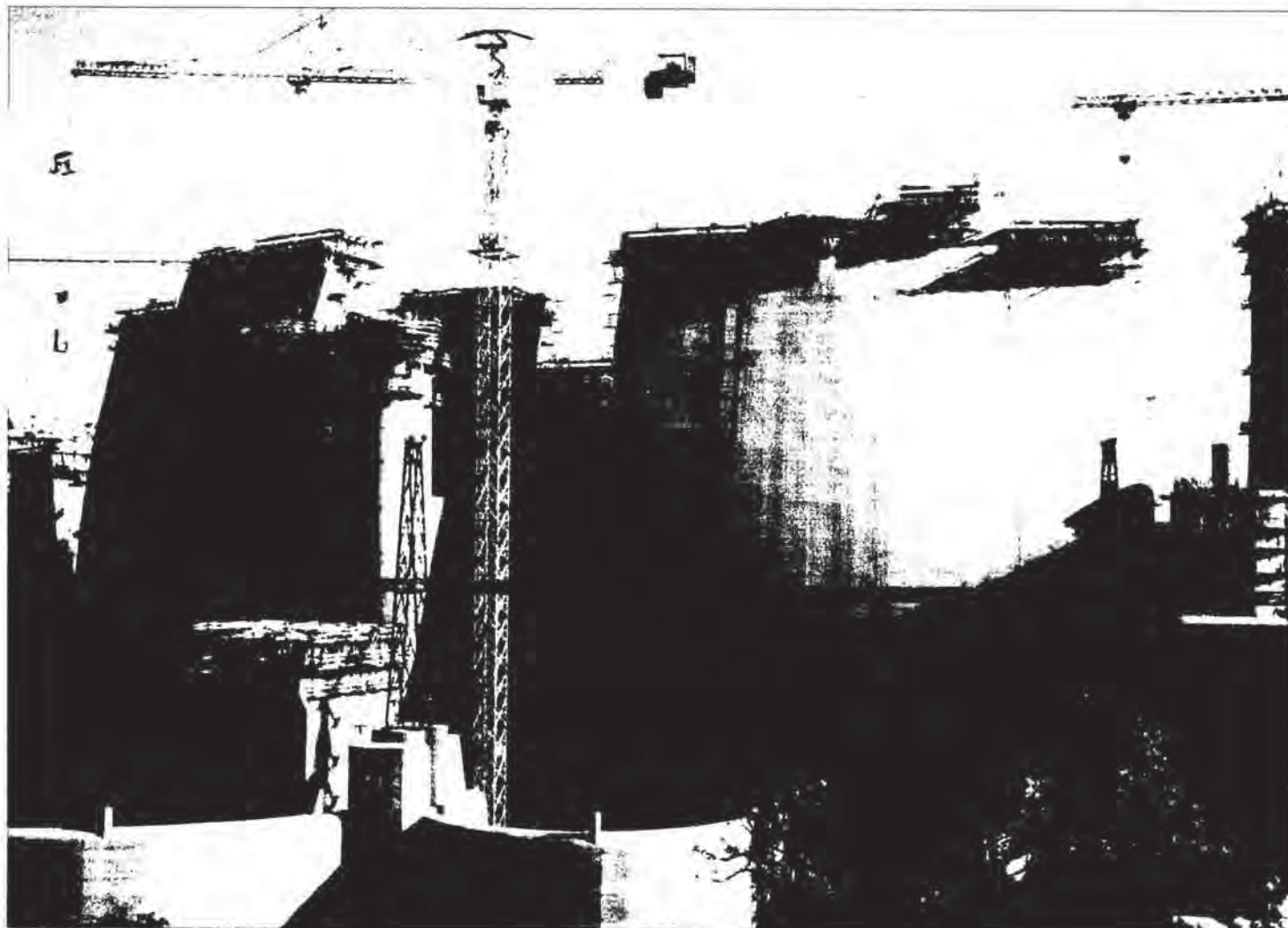
Seguidamente se relacionan los distintos medios utilizados para la puesta en obra de los hormigones:

▼ a) Silobuses.- El hormigón fabricado en la planta principal se transporta, hasta llegar al cubo de los blondines, mediante tres silobuses autopropulsados, sobre vía, con tolva para 9 m³ de hormigón vibrado. Se cargan bajo las tolvas de la planta y recorren el camino preparado sobre el muelle de cazos hasta situarse para la descarga.

Cada silobus lleva instalado un motor Diesel de 60 CV que acciona una bomba oleohidráulica, la cual actúa sobre los motores de traslación y otros dispositivos con los que se comandan los mecanismos de apertura y cierre de la tolva.

▼ b) Blondines.- Para el transporte del hormigón desde el camino de silobuses hasta los distintos bloques de la presa, se instalaron dos blondines de 27 t de capacidad al gancho, carga equivalente a un volumen de 9 m³ de hormigón vibrado más el peso del correspondiente balde.

El accionamiento de los mecanismos de elevación-descenso del gancho y traslación de la bicicleta se realiza me-



diente motores eléctricos de corriente continua, con variadores de velocidad, que permiten la regulación progresiva desde cero hasta el máximo manteniendo el par motor constante.

Otras características de estas máquinas son:

Distancia entre apoyos extremos	700 m
Desnivel entre apoyos extremos	35 m
Carrera vertical del gancho.....	150 m
Altura de las torres fijas	75 m
Altura de las torres móviles	20 m
Longitud vía de rodadura.....	324 m
Línea para traslación de la bicicleta	Doble cable carril
Sistema de distanciadores.....	Fijos
Velocidad elevación/descenso gancho	2,5 m/seg
Velocidad traslación de bicicleta	7 m/seg
Velocidad desplazamiento torres móviles	0,2 m/seg

▼ c) Grúas torre.- Para la colocación de los hormigones de la central, tomas de agua, desagües, aliviaderos, etc.,

se montaron seis grúas torre, de diferentes características, con distintas longitudes de pluma y alturas bajo gancho.

Algunas de las máquinas se cambiaron de posición y modificaron sus condiciones, pero en la mayoría de los montajes se mantuvieron con los alcances y capacidades aproximadas de cargas en punta, siguientes:

G-1. Pluma para 60 m de alcance.....	8.500 kg
G-2. Pluma para 35 m de alcance.....	5.000 kg
G-3. Pluma para 45 m de alcance.....	5.000 kg
G-4. Pluma para 40 m de alcance.....	5.000 kg
G-5. Pluma para 70 m de alcance.....	2.700 kg
G-6. Pluma para 34 m de alcance.....	5.300 kg

▼ d) Otros procedimientos.- También se utilizaron para el hormigonado de zonas que no podían ser cubiertas con los medios descritos, una grúa automóvil cuya pluma es una cinta transportadora, extensible, de alta velocidad, con



banda de 610 mm de ancho y alcance máximo de 61 m, y un camión que lleva montada una cinta transportadora, extensible, de alta velocidad, con banda de 457 mm de ancho y alcance máximo de 32 m.

▼ e) Transporte de hormigón con camión.- El hormigón fabricado en la planta auxiliar se transporta hasta los cubos de las grúas-torre y tolvas de recepción de los equipos con cintas de alta velocidad, mediante camiones hormigonera de 6 m³ y camiones con tolva especial, para transporte de hormigón, con capacidad para 9 m³.

▼ f) Medios para compactación del hormigón.- El hormigón que se descarga de los cazos de los blondines en los diferentes bloques de la presa precisa de un proceso de extendido y vibrado, que se realiza con equipos de máquinas adecuadas a las características del proyecto. Para el extendido se han utilizado tres tractores sobre orugas, con motor de 70/75 CV, y para el vibrado del hormigón tres retroexcavadoras de 90 CV a las que se sustituyó el cazo por un palonier que monta seis vibradores oleohidráulicos con agujas de Ø 150 mm.

Para las zonas a las que no se puede acceder con las máquinas se emplean vibradores de mano, de diferentes diámetros de aguja, que son de accionamiento eléctrico o neumático.

Refrigeración de los hormigones. Planta de hielo para amasado y refrigeración de los bloques por serpentines

Dadas las altas temperaturas que en verano se registran en la zona de construcción de la presa y de acuerdo con lo indicado en los P.P.T., se hizo necesario disponer de unos sistemas de enfriamiento con objeto de reducir la temperatura del hormigón antes de su colocación y después de colocarlo.

Los procedimientos utilizados son:

▼ a) Incorporación de escamas de hielo en la central de hormigón principal.- Uno de los sistemas para reducir la temperatura del hormigón durante su fabricación, es la sustitución de parte del agua de amasado por hielo en escamas. Para ello se montó una fábrica de escamas de hielo con capacidad para producir 100 t/día y un silo, perfectamente aislado, para almacenar 95 t de hielo.

Por medio de un tornillo sin-fin, las escamas son transportadas desde el silo hasta un depósito intermedio de regulación desde el que se pueden alimentar simultáneamente las dos básculas pesadoras.

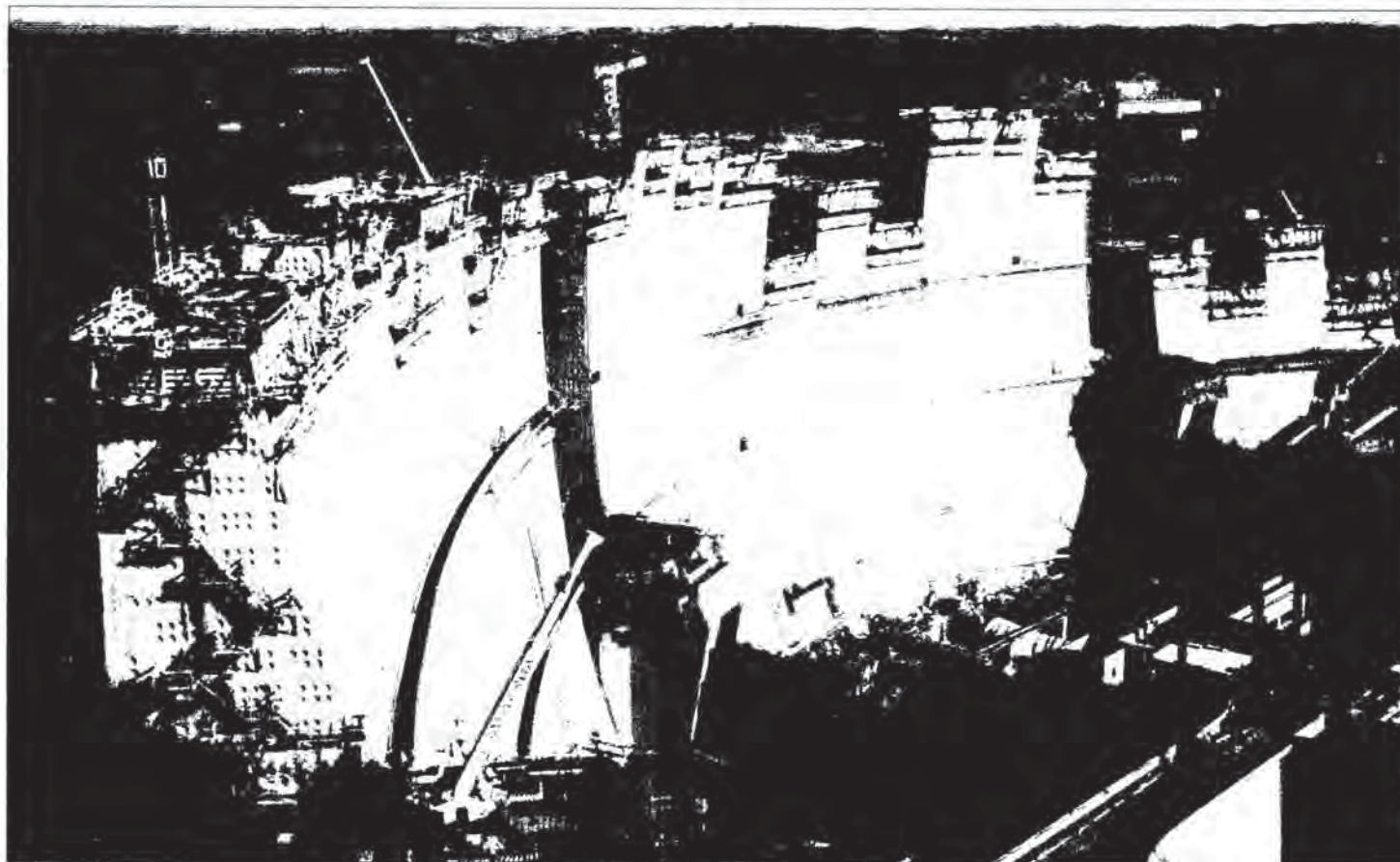
▼ b) Utilización de agua fría para amasado.- También se instaló un equipo para enfriamiento de agua hasta 4° C desde el que se puede conducir el agua fría hasta la central de hormigón principal, para utilizarla en el amasado de la mezcla y, por otra parte, alimentar con agua fría la fábrica de escamas de hielo con el fin de aumentar el rendimiento del equipo.

▼ c) Post-refrigeración del hormigón.- Para poder reducir la temperatura del hormigón durante el proceso de fraguado, se instaló una red de tuberías aisladas, de distintos diámetros, a través de las que se llega a los diferentes bloques de la presa.

Antes del hormigonado de las tongadas de los bloques se dejan montados una serie de serpentines preparados con tubería metálica de Ø 1" y 1 mm de espesor, dispuestos, en planos horizontales y separados dos metros. Se sitúan a una distancia de 0,5 m de cada uno de los cuatro paramentos.

La refrigeración artificial de la presa consiste en hacer circular agua, en principio del río y finalmente refrigerada, a través de los serpentines embebidos en el hormigón que fueron diseñados para soportar una presión interior de 16 kg/cm.

La circulación del agua por los serpentines, tanto del río como refrigerada, se realiza en secuencias prefijadas para poder conseguir la temperatura adecuada del hormigón antes de proceder a la inyección de las juntas.



Estado actual del proyecto.

Para el enfriamiento de agua a utilizar en la post-refrigeración se han montado cuatro equipos, de las mismas características, (dos en la margen derecha y los otros dos en la izquierda), con un rendimiento global de:

Capacidad.....	4.520 kW térmicos
Temperatura de salida del agua.....	5° C
Caudal de agua enfriada a 5° C	120 l/seg
Potencia eléctrica instalada.....	1.200 kW

Estado Actual del Proyecto.

Se encuentra en plena ejecución la obra civil de la presa y central, a excepción del estribo de la margen izquierda que se encuentra afectado por el tratamiento de la falla 22.

Los bloques de la margen derecha de la presa se encuentran hormigonados entre la cota 121 y la 150,50, los del lecho del río entre la 126,50 y la 152,70 y los de la margen izquierda entre la cota 103 y la 141. El estribo izquierdo se encuentra sin comenzar debido, como se ha comentado, a estar afectado por el tratamiento de la falla 22.

El aliviadero de la margen derecha está en ejecución con bloques entre la cota 89 y la 104 y el de la margen izquierda se

encuentra sin comenzar, igual que el estribo correspondiente, por la mencionada afectación de la falla 22.

Los bloques de los desagües de medio fondo se encuentran a cotas 110 y 97 respectivamente el derecho y el izquierdo.

Respecto al desagüe de fondo está hormigonada la zapata de la torre de compuertas a cota 120.

La central se encuentra próxima a su cubrición para comenzar el montaje de las cámaras espirales. El muro aguas abajo de la central está acabado a excepción de los tramos entre aliviaderos de superficie.

Las fechas previstas para la finalización de los hitos principales son :

- ▼ Fin del tratamiento de la falla 22 : 30/10/2001
- ▼ Fin del Cuerpo de presa : 31/12/2001
- ▼ Comienzo de embalse : 31/12/2001
- ▼ Apertura al tráfico de la coronación de la presa : 15/08/2002
- ▼ Conclusión de todos los trabajos de obra civil : 29/11/2002
- ▼ Inicio de la producción de energía en la central : 27/01/2003. ■

LA PRESA DE LAS TRES GARGANTAS EN CHINA Y SU DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Enrique Cifres Giménez.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Vocal del Comité Nacional Español de Grandes Presas

RESUMEN

La reciente celebración del Congreso Internacional de ICOLD en Beijing, el más reciente todavía informe de la Comisión Mundial de Presas y el propio interés, incluso polémica, generado por el macroproyecto de la Presa de las Tres Gargantas, a veces alimentada por la desinformación, nos han animado a sintetizar en este breve artículo lo más relevante de la Declaración de Impacto Ambiental del mismo y otra documentación complementaria. El único ánimo del autor es hacer accesible esta información a la comunidad técnica española, intentando introducir, dentro de lo posible el mínimo sesgo subjetivo que se derivaría de su propia opinión formada.

ABSTRACT

The present article summarizes the most relevant aspects of the Statement of Environmental Impact and other supplementary documents on the Three Gorges Dam in China on the basis of the recent International Congress of the ICOLD held in Beijing, the even more recent report issued by the World Commission on Dams and the interest and controversy aroused by this massive project, that was sometimes fostered by lack of information. The author's sole aim is to make this information available to the Spanish technical community and attempt to eliminate any possible bias derived from his own personal opinion.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto de las Tres Gargantas (PTG) sigue suscitando interés, tanto en ambientes técnicos como generales. Con este artículo pretendemos sintetizar los aspectos más relevantes de la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto y de su programa de seguimiento.

Las visitas a la zona afectada por la presa en 1997 y 2000, al amparo del Convenio suscrito en 1994 y recientemente renovado entre los Comités Nacionales Chino y Español, nos han permitido ser testigos "in situ" y acceder a gran cantidad

de documentos de carácter oficial relacionados con el seguimiento medioambiental del proyecto. Es nuestro ánimo el compartir este privilegio con los lectores.

EL PROYECTO Y SU PROGRESIÓN

Diversas publicaciones, entre ellas esta Revista de Obras Públicas, han recogido información diversa sobre las características técnicas del proyecto, y es por ello que ahora nos limitaremos a exponer brevemente los datos más significativos del

mismo y el avance del programa de trabajos.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

ESQUEMA DEL PROYECTO

El embalse de las Tres Gargantas se sitúa en el cañón por el que el Yangtze, tercer río más caudaloso del mundo, accede desde la meseta interior de Sichuan, a la llanura litoral.

Con una longitud de unos 650 km y poco más del kilómetro de anchura, este embalse, casi un río de enorme calado, inundará tierras de la provincia de Hubei aguas abajo y de la municipalidad de Chongqing en su mitad aguas arriba.

El proyecto consta de tres partes fundamentales:

La presa, de hormigón con perfil de gravedad de 183 m de altura sobre cimientos y 2.310 m de longitud de coronación. Aliviadero controlado por compuertas en la parte central de la presa.

Las centrales hidroeléctricas a pie de presa en cada lado del aliviadero, con 26 grupos turbogeneradores de 700 MW y una potencia total de 18.200 MW, para producir una media anual de 84.68 TWh.

Las estructuras de navegación, sobre la margen izquierda con un canal doble de esclusas de cinco niveles, para una capacidad anual de 50 Mt, y un ascensor vertical para embarcaciones.

Fuera del ámbito de la propia presa, se acometen una larga serie de proyectos complementarios relativos a líneas de transporte de energía, construcción e infraestructuras del sis-

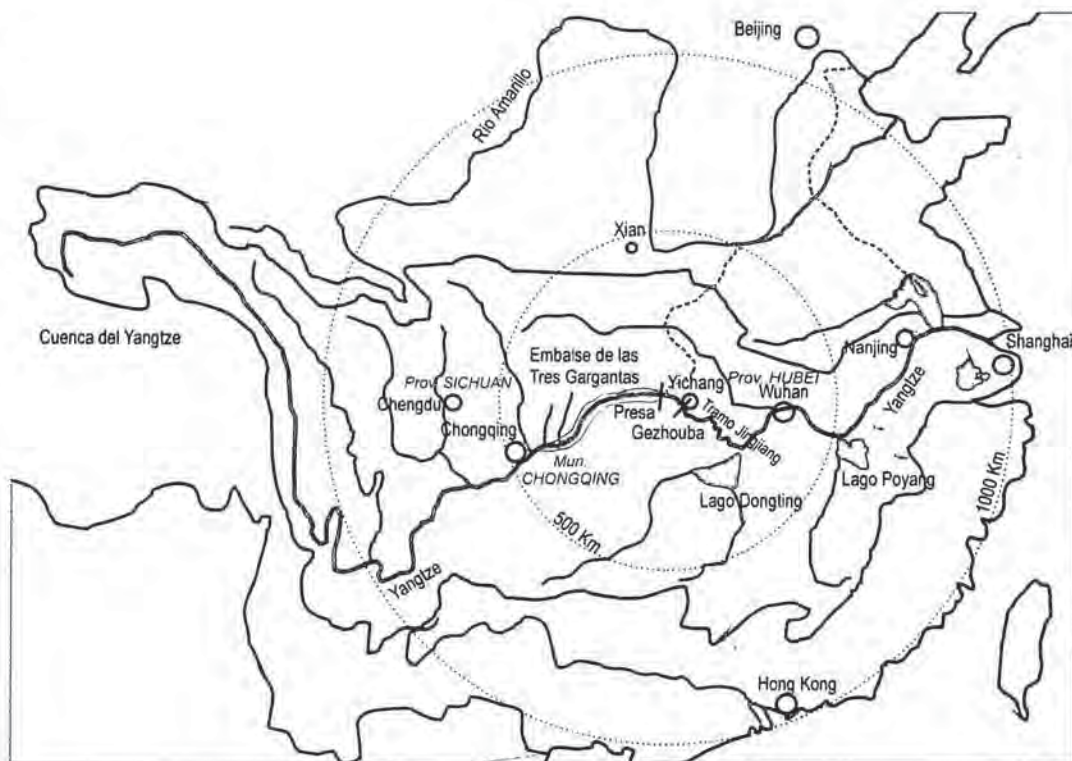


Figura 1: China centro-oriental y situación del proyecto.

tema de ciudades de reasentamiento, obras correctoras del impacto, etc.

Recordaremos únicamente las principales cifras relativas al proyecto:

Volumen de hormigón.....	27.94 Hm ³
Excavaciones	102.83 Hm ³
Rellenos	31.98 Hm ³
Acero en redondos	463.000 toneladas
Acero estructural	256.500 toneladas

No hay retrasos sobre el programa de trabajos. Como más tarde se comentará, el proceso de reasentamiento de la población afectada, cuyo programa se extiende a 20 años, condicio-

PROGRAMA DE TRABAJOS

Con un plazo de ejecución de 17 años, la construcción de la presa se planificó en tres fases:

I - Periodo de trabajos preparatorios y primera fase de desvío por la margen derecha. Cierre de ataguía y contratagía centrales	5 años (1993-1997) Otoño 1997
II- Excavación, Cuerpo de presa zona aliviaderos y central izquierda. Entrada parcial en servicio de la central hidroeléctrica pie de presa y primeras esclusas de navegación.	6 años (1998-2003) Otoño 2003
III - Presa y Central derecha pie de presa y sistema completo de navegación	6 años (2003-2009)

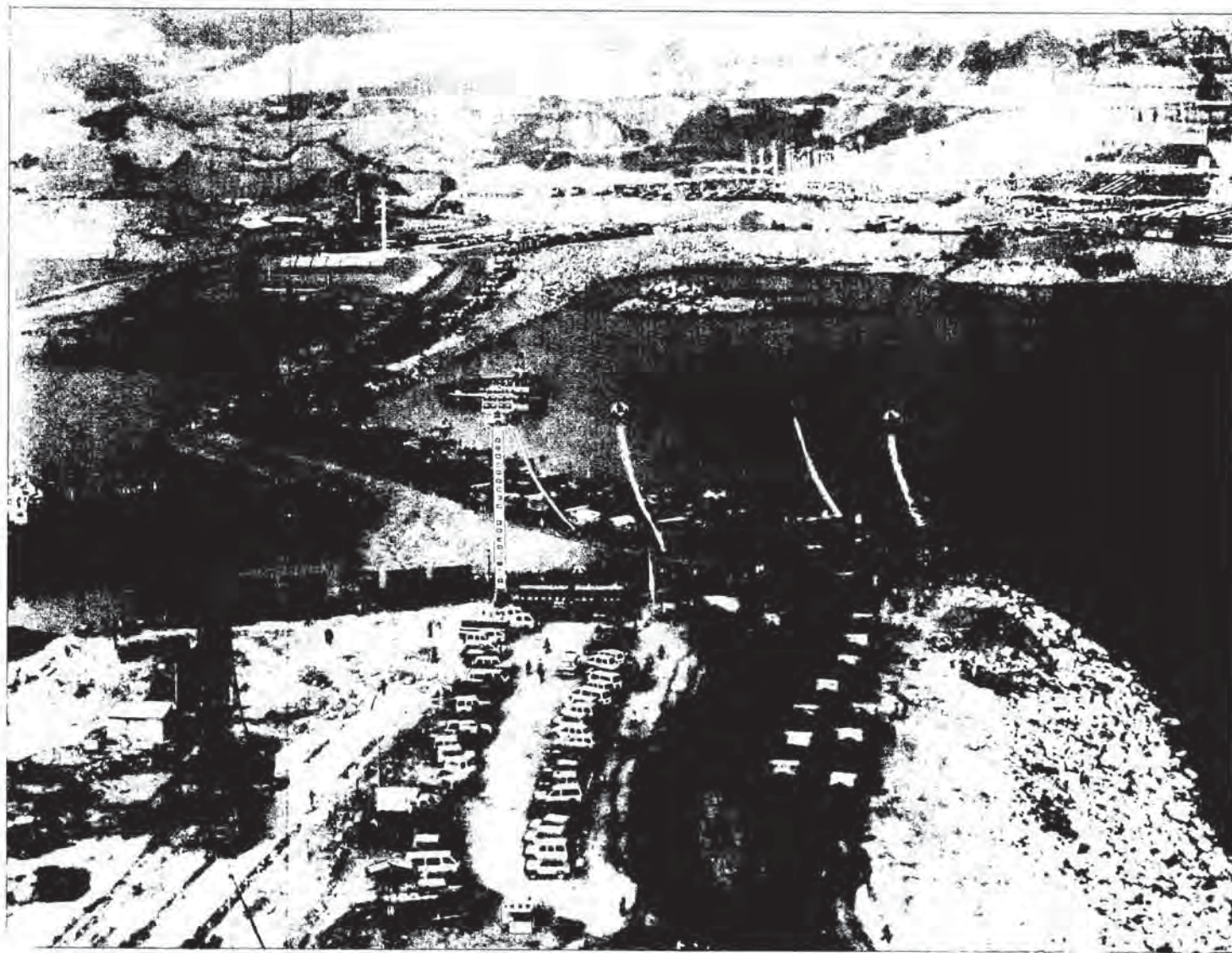
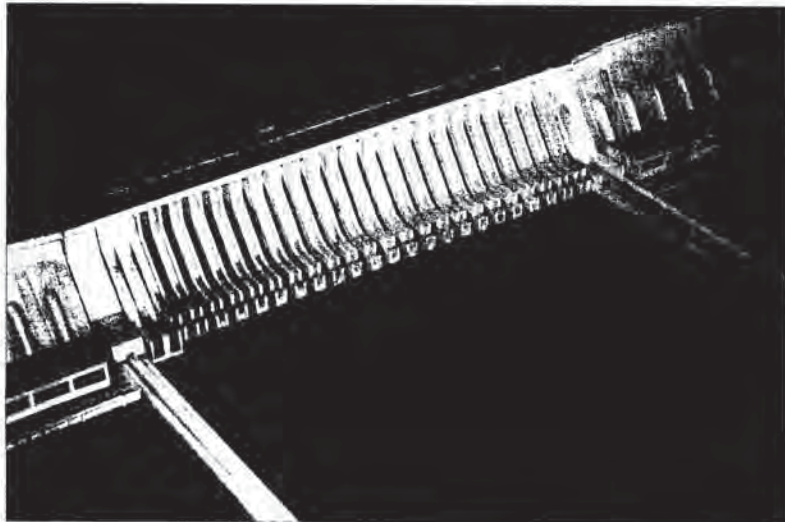


Foto 1: Espectacular operación de cierre del desvío el 8 de noviembre de 1997. Abajo, foto 2: Maqueta de la presa. Zona de aliviaderos y desagües, con las centrales hidroeléctricas a cada lado.



na la propia secuencia constructiva y su entrada gradual en servicio

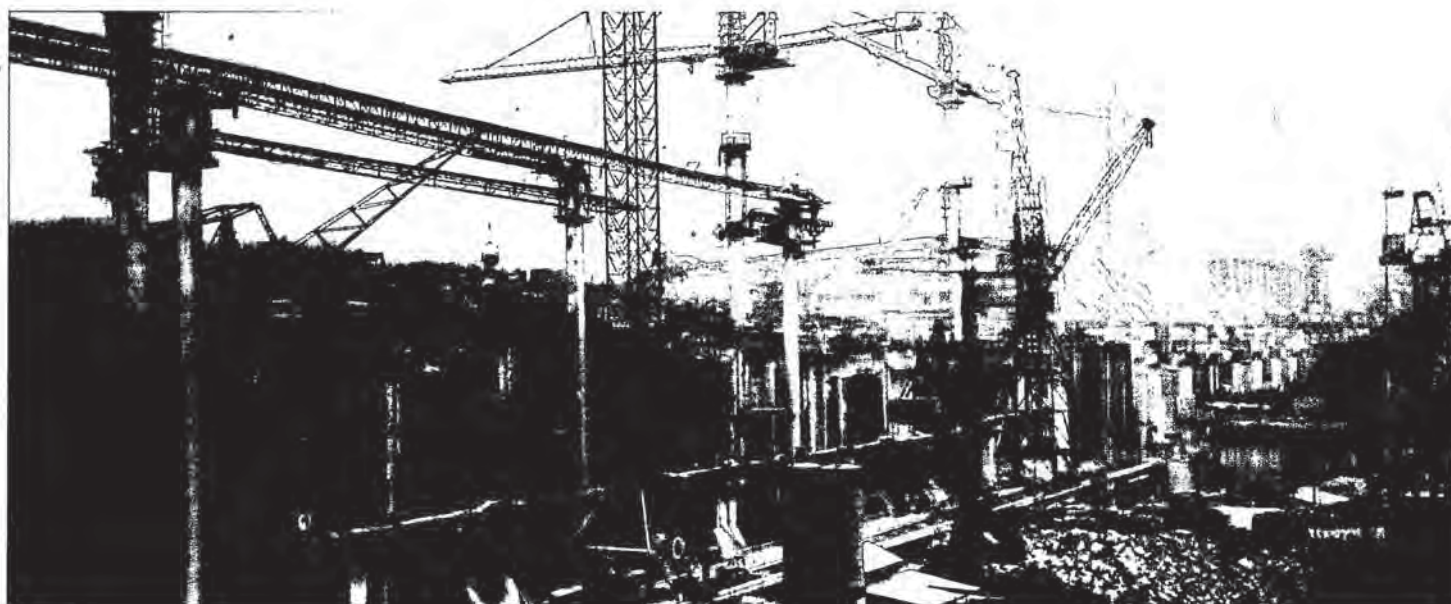
OPERACIÓN DEL EMBALSE

El embalse, con una capacidad de 39.300 Hm^3 a la cota 175 m, es pequeño en comparación con la aportación media en la sección de 451.000 Hm^3 (la del Yangtze completo alcanza el millón de Hm^3).

Según el programa de puesta en servicio por fases, compatible con el proceso de reasentamiento de población, en el 11º año del inicio de la construcción, la cota de explotación alcanzará la cota 135 m, comenzando la producción hidroeléctrica parcial y mejorando la navegación.



Foto 3: Vista de la presa en construcción desde aguas arriba. Por la derecha fluye el Yangtze en la segunda fase de su desvío; se construye en el recinto central al amparo de ataguías de 72 metros de altura, la central izquierda de pie de presa y la zona de aliviaderos; a la izquierda se construyen las estructuras de navegación. Abajo, foto 4: Cuerpo de presa en construcción (septiembre 2000)



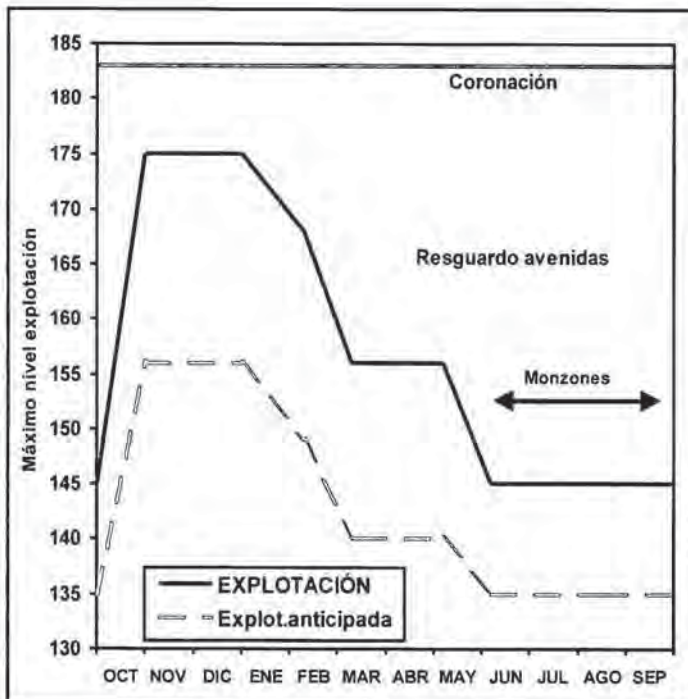


Figura 2: Régimen previsto de explotación del embalse

A partir del 15º año, la cota de explotación se elevará a la 156 m, para establecer la 175 m una vez ultimado el reasentamiento y las labores de corrección de sedimentación en la cola.

La curva de explotación prevista es el resultado de armonizar los objetivos de laminación de avenidas, producción hidroeléctrica, navegabilidad, sedimentación en las zonas de cola y protección medioambiental (ver figura 2). En invierno y primavera se reduce el nivel progresivamente a fin de alcanzar a primeros de junio el resguardo de control de avenidas. En octubre se produce la recuperación de nivel hasta la cota máxima de explotación. Nótese que las aportaciones del Yangtze permiten garantizar fácilmente esta curva objetivo, dado el pequeño volumen relativo del embalse.

Esta estrategia reducirá los caudales en esas semanas al final de la estación húmeda. Durante el final de la estación seca invernal, el desembalse progresivo aumentará ligeramente los caudales en el tramo bajo, reduciendo los mínimos absolutos anuales.

En la época monzónica, el embalse solo superará transitoriamente su nivel de resguardo cuando los caudales entrantes superen los de riesgo, siendo el embalse neutro para pequeñas avenidas tolerables aguas abajo. En todo caso, los caudales desagüados se repartirán entre las centrales hidroeléctricas y los desagües de fondo para lodos, tal y como se viene ya haciendo con regularidad en la presa de Gezhouba situada aguas abajo.

DECLARACIÓN DE IMPACTO DEL PROYECTO DE LAS TRES GARGANTAS

Desde que el Dr. Sun Yat-sen (1866-1925), propuso la construcción del Proyecto de la Presa de las Tres Gargantas en su "Plan Industrial" de 1919, ha sido ésta uno de los sueños del pueblo chino, que esperaba de ella la mitigación de los efectos devastadores de las crecidas del río Yangtze y su contribución al bienestar con la generación de la energía eléctrica necesaria para su desarrollo.

Como se resume a continuación, el tortuoso camino plagado de estudios, informes y dictámenes, reestudios y comisiones de control, no permitió al poderoso gobierno chino obtener la aprobación del proyecto, sometido a un interminable proceso de chequeo y debate, por parte del Congreso.

Tras la fundación de la República Popular China, tres generaciones de líderes de la misma, Mao Zedong, Deng Xiaoping y Jiang Zemin, han impulsado mediante la planificación, estudios técnicos y medioambientales, etc., el proyecto, no siendo hasta Abril de 1992 en que la Quinta Sesión Plenaria del Congreso Nacional del Pueblo aprobó definitivamente su ejecución.

LOS ESTUDIOS PREVIOS Y SU LARGA TRAMITACIÓN

Ya en los años 50 la Comisión de Recursos Hidráulicos del Changjiang (Yangtze) comenzó a estudiar algunos de los aspectos asociados con el proyecto, tales como los efectos de su curva de remanso en las zonas de la cola, el impacto de las actividades humanas sobre las aguas, estabilidad de las laderas del embalse, sismología, sedimentación, biota, reasentamiento por inundación de diversas áreas, focalización de en-

Foto 5: Visita de Mao Zedong a la cerrada en 1958



fermedades endémicas, etc., produciendo el "Informe sobre los aspectos claves para el diseño preliminar del Proyecto de las Tres Gargantas". Algunos Institutos de Investigación de la Academia China de las Ciencias (ACC) también llevaron a cabo multitud de estudios básicos sobre geología, geografía, climatología, hidrología, recursos, medioambiente, sociología, economía, etc., que proveyeron de bases importantes para posteriores estudios de los impactos ambientales, sirviendo además de base para la fijación de un estado "inicial" de los sistemas.

Desde 1979, la Oficina de Protección de los Recursos Hidráulicos del Valle del Yangtze (OPRHVY) ha organizado un equipo especial, en colaboración con más de 40 universidades e institutos de investigación en China, para llevar a cabo estudios específicos y estimaciones sobre el impacto medioambiental del Proyecto. En 1980, la OPRHVY remitió una propuesta de declaración de impacto para la solución de nivel a la cota 200 y a continuación la correspondiente a la cota 150. En marzo de 1983, remite finalmente el informe "*Impacto Ambiental de la construcción del Proyecto de las Tres Gargantas*".

Se requirió la redacción de estudios monográficos sobre calidad del agua, edafología, estudios forestales, flora rara y amenazada, explotación de la flora, vida salvaje, fauna amenazada, salud pública, esquistosomiasis, malaria, etc..

En noviembre de 1984, la Comisión Estatal de Ciencia y Tecnología (CECT), con estas inclusiones, aprobó la redacción de los "Estudios sobre el Impacto Ambiental del Proyecto de las Tres Gargantas y sus medidas correctoras" y ordenó a la ACC hacerse cargo de los mismos. Para ello organizó un equipo con más de 700 científicos y técnicos para llevarlos a cabo. Sus conclusiones fueron propuestas en Julio de 1987 y revisadas por un panel de expertos de la CECT y publicados como:

- ▼ Actas de los Estudios de Impacto Ambiental del Proyecto de las Tres Gargantas
- ▼ Estudios sobre el Impacto Ambiental del Proyecto de las Tres Gargantas y sus medidas correctoras
- ▼ Atlas de ecología y medio ambiente de las Tres Gargantas

Alrededor de 300 científicos y técnicos condujeron el estudio que fue concluido en enero de 1991. Las conclusiones del mismo (8 volúmenes) fueron de nuevo examinados y aprobados por otro panel de expertos comisionados por el CECT.

En 1985 se creó un Grupo de Expertos para llevar a cabo un examen más profundo de las opciones entre las cotas 150 a 180.

En junio de 1986, el Ministerio de Recursos Hidráulicos e Hidroelectricidad creó a su vez un panel de expertos en ecología y medio ambiente, con 55 expertos en diferentes campos para cumplimentar las conclusiones del Comité Central del Partido Comunista Chino y el Consejo de Estado, y llevar a cabo investigaciones suplementarias exigidas por los organiz-

mos citados. En enero de 1988 elevó el "Informe de verificación de sobre el Impacto Ambiental del Proyecto de las Tres Gargantas y sus medidas correctoras".

De acuerdo con la legislación china y sus normativas relacionadas con el medio ambiente para los proyectos de construcción, así como con las exigencias del Comité de Revisión del Consejo de Estado, el Departamento de Evaluación del Impacto Ambiental de la Academia de las Ciencias y el Instituto de Investigación para la Protección de los Recursos Hidráulicos del Yangtze, elaboraron la propuesta de "*Declaración de Impacto Ambiental para el Proyecto de las Tres Gargantas sobre el río Yangtze*". Ésta fue remitida a la Agencia Nacional de Protección del Medio Ambiente para su aprobación. Docenas de expertos que habían estado involucrados en los estudios fueron reunidos para la compilación de los mismos en Wuhan y Chengdu, para remitir finalmente la propuesta de Declaración al Ministerio de Recursos Hidráulicos para su revisión. El Ministerio organizó a su vez un panel de expertos consistente en personalidades relevantes de prestigio en campos como la hidráulica, la ecología y medio ambiente, economía, etc., algunos de los cuales eran académicos de la ACC para su revisión final. La declaración fue remitida a la ANPMA para su aprobación, que se produjo en febrero de 1992 tras ser a su vez examinada por su propio equipo de expertos y profesores.

LEYES, NORMATIVA Y AGENCIAS RELACIONADAS CON LA PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL

El artículo 26 de la Constitución de la República Popular China establece que la nación protegerá y mejorará el medio ambiente social y natural, previniendo la polución y otros riesgos públicos. Para ello hay promulgada legislación específica como la siguiente:

- ▼ Ley de Protección medioambiental de la República Popular China
- ▼ Ley del Agua de la República Popular China
- ▼ Ley de Prevención y Control de la Polución del Agua
- ▼ Ley del suelo de la República Popular China
- ▼ Ley de Pesca de la República Popular China
- ▼ Ley de Protección de Reliquias Culturales de la República Popular China
- ▼ Ley Forestal de la República Popular China
- ▼ Ley de conservación del suelo y de las aguas de la República Popular China
- ▼ Reglamento de Gestión de cursos fluviales
- ▼ Regulación de compensaciones por expropiación y reasentamiento por Aprovechamientos Hidroeléctricos de mediana y gran escala.
- ▼ Procedimientos de Gestión para Protección Medioambiental en Proyectos de Construcción.

TABLA 1. Sistema Jerárquico de la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto de las Tres Gargantas

Sistema General	Subsistemas ambientales	Componentes ambientales	Factores ambientales
	Natural	Clima local	Temperatura del aire, viento, precipitación, niebla, humedad
		Calidad del agua	Capacidad de difusión, DBO, inundación de terrenos y calidad del agua, sedimentación y calidad del agua, nutrientes, calidad del agua aguas abajo
		Temperatura del agua	Temperatura del agua en el embalse, temperatura del agua aguas abajo.
		Geología ambiental	Sismicidad inducida, estabilidad de márgenes en el embalse, filtraciones del embalse
		Vegetación y Flora terrestre	Especies comunes y raras, vegetación forestal, agricultura y economía forestal
		Fauna terrestre	Población, especies raras.
		Vida acuática	Zonas de desove, variación de especies piscícolas, pesca, especies acuáticas raras.
		Sedimentación en embalse, erosión y sedimentación aguas abajo.	Sedimentación en embalse, erosión y sedimentación aguas abajo.
		..en áreas lacustres de los tramos medios	.. en el área de los Cuatro Lagos, en el área del Lago Dongting y área del Lago Poyang
	Ámbito social	Ecosistema del estuario	Variación de caudal, intrusión marina, salinización del suelo, erosión y depósito de sedimentos, pesca en estuario y mar adentro
		Inundación y reasentamiento de las tierras, planes de reasentamiento	Inundación de tierras, viabilidad de explotación humana
		Salud pública	Sistema de protección de higiene y salud públicas, esquistosomiasis, malaria, otras enfermedades, higienización en zona de obras
		Paisaje natural	Paisajes naturales
		Reliquias culturales y lugares históricos	Reliquias de arquitectura, antiguas ruinas culturales y lugares históricos
		Control de avenidas	Inundación de tierras cultivables, seguridad de producción y recursos, epidemias, pérdida de vidas y propiedades.
		Producción energética	Polución del aire, residuos sólidos, polución térmica, ocupación de terrenos por cenizas.
		Navegación	Riesgo de daños, presión sobre el transporte terrestre
	Preocupaciones públicas	Control de avenidas en el embalse	
		Especies y hábitats	Pájaros migratorios raros y sus hábitats en el Lago Poyang, Caimán Chino..
		Erosión del suelo y su mejora. Establecimiento de reservas en la cuenca alta	
		Análisis del impacto por rotura de la presa	
		Problemas ambientales en la ciudad de Chongqing	Calidad del agua, aire, control de avenidas, sistema de drenaje, bloqueo del puerto

La ANPMA (Agencia Nacional de Protección del Medio Ambiente) es la autoridad administrativa para la protección medioambiental en la República Popular China. El Ministerio de Recursos Hidráulicos es la autoridad administrativa con responsabilidad sobre la gestión integral de los recursos hidráulicos, su explotación, uso y protección.

Existen las correspondientes agencias en cada provincia, región autónoma o municipalidad con sus responsabilidades sobre la protección del medio ambiente y gestión del agua en sus respectivas jurisdicciones. Ambos departamentos tienen sus delegaciones a nivel comarcal.

ÁMBITO DE LA DECLARACIÓN

El análisis fue dividido en tres grandes áreas de estudio:

- ▼ a. El área del embalse, incluyendo la zona involucrada por reasentamientos
- ▼ b. Los tramos medio y bajo tramo del río aguas abajo de la presa, incluidos los Lagos Dongting y Poyang y los Cuatro Lagos en Hubei
- ▼ c. El área del estuario

En los estudios se ha incluido además la cuenca alta del río y la zona costera próxima al estuario.

METODOLOGÍA:

La metodología general es similar a la del procedimiento de evaluación ambiental que se lleva a cabo en otros países.

- ▼ I. Monitorización, reconocimiento de campo, sensorización remota, recolección de series de datos históricos, etc.
- ▼ II. Métodos de predicción cualitativa y cuantitativa de diferentes factores. Para factores medibles se aplicaron modelos matemáticos de predicción del impacto en el régimen hidrológico, precipitación, temperatura del aire, viento y niebla, impacto en la variación de la capacidad de difusión y reoxigenación sobre la calidad del agua, impacto en la temperatura del agua en el embalse y aguas abajo, la degradación del lecho en el río aguas abajo, el impacto sobre la salinidad en el estuario, etc. basados en datos de observación y en identificación de modelos y parámetros.
- ▼ III. Para factores de difícil medición, se llevaron a cabo análisis analógicos o de mecanismos para el estudio cualitativo.
- ▼ IV. Comparación de los resultados predichos con valores iniciales, en características, magnitud, y significancia de los impactos.
- ▼ V. Estimación final y medidas para mitigar impactos y medidas correctoras para impactos negativos.

OBJETIVOS Y ESCENARIO DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

El proyecto de las Tres Gargantas es la columna vertebral para la gestión del río Yangtze. Sus objetivos son:

- ▼ 1. Mitigación y Prevención de daños por avenidas en el tramo medio y bajo del río Yangtze, principalmente en la sección de Jingjiang.
- ▼ 2. Suministro de energía eléctrica para la china central y oriental así como al este de la provincia de Sichuan.
- ▼ 3. Mejorar las condiciones de navegación entre Chongqing y Yichang.

ESCENARIOS DE ALTURA DE PRESA:

Se ha estudiado y comparado repetidamente cotas de embalse entre la 120 y 260 m sobre el nivel del mar como máximo embalse normal, incluyendo desarrollo en fases y en cascadas.

Desde 1980 se ha comparado, en términos técnicos, económicos y medioambientales, seis escenarios de 150, 160, 170 y 180 m de nivel normal, doble y simple cascada y con ejecución por fases. La decisión ha sido de simple cascada con ejecución en una sola fase, puesta en servicio por fases y reasentamiento progresivo.

La opción finalmente seleccionada fue la de máximo embalse normal a la cota 175 m y coronación a la 185 m., con un reasentamiento progresivo de acuerdo con un solo plan unificado.

CERRADAS:

Se compararon dos áreas:

Sobre calizas en el tramo de 13 km entre Nanjinguan y Shipai y sobre granitos en los 25 km entre Meirentuo a Natuo. La primera está fuertemente karstificada, con complejas condiciones geológicas, dificultad de construcción, mayor coste de ejecución y mayor volumen de obra.

Se compararon diez cerradas en Meirentuo, siendo elegida la de Sandouping situada en una zona plana sobre granitos resistentes y baja permeabilidad con buenas condiciones para la ejecución del desvío con canal abierto, facilidad para emplazamiento de aliviaderos, centrales hidroeléctricas y estructuras de navegación y con condiciones para cimentar una presa de hormigón de gravedad.

CONCLUSIONES DE LA D.I.A.

La Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto de las Tres Gargantas (PTG) resume en su parte final las siguientes conclusiones que presentamos traducidas:

CONCLUSIONES

- ▼ i. Aunque en algunas zonas de la cuenca han mejorado las condiciones medioambientales, la tendencia es el deterioro de grandes áreas todavía fuera de control. En consecuencia, incluso sin la construcción del PTG es urgente un amplio plan de rehabilitación en la cuenca.
- ▼ ii. El PTG conlleva amplios y profundos impactos en ecosistemas y medio ambiente, respecto a varios factores, en amplias áreas y durante un largo plazo. Los aspectos positivos y negativos están altamente interrelacionados.

Los principales *impactos positivos* son:

- ▼ 1) El proyecto permite el control efectivo de avenidas de la cuenca alta y la reducción significativa de los daños causados por éstas en los tramos medios y bajos de la cuenca, especialmente en el tramo de Jingjiang. Además decrecerá el ritmo de aterramiento del lago Dongting alargando su expectativa de vida.
- ▼ 2) Se incrementará el caudal de estiaje aguas abajo mejorando la calidad del agua y permitiendo la posibilidad de futuras transferencias de caudal a las zonas secas del norte.
- ▼ 3) La producción de energía hidroeléctrica limpia y renovable permite la reducción de emisiones de agentes atmosféricos contaminantes en comparación con la generación equivalente en centrales térmicas de carbón.

Por el contrario, como *impactos negativos* más importantes tendremos:

- ▼ 4) El embalse inundará tierras de cultivo de forma que el reasentamiento de población en ciudades y pueblos intensificará la contradicción entre hombre y territorio en el área próxima al embalse donde está ya agudizada. Es posible que la destrucción de vegetación, erosión del suelo y degradación de ecosistemas sea incluso peor.
- ▼ 5) El caudal anual de vertidos de aguas residuales de origen industrial y urbanas excede los 1000 Hm³ y se producen cinturones costeros de polución. Tras el llenado, la velocidad del flujo reducirá la capacidad de reoxigenación y difusión, agravando la situación.
- ▼ 6) El proyecto alterará la estructura de los sistemas acuáticos en el medio y bajo Yangtze, y las condiciones del hábitat de algunas especies raras ya en peligro de extinción. Además, algunos impactos negativos pueden conllevar la reproducción de la carpa común.
- ▼ 7) La entrada en servicio del embalse conlleva el cambio del régimen de aportación sólida con posibles efectos sobre los procesos de colmatación y sobre la intrusión salina en el estuario.

▼ 8) El espejo de agua se elevará y ensanchará, sumergiendo ciertas reliquias históricas y culturales y afectando al aspecto del paisaje natural.

▼ 9) La operación del embalse causará deposición de sedimentos en la cola del mismo, empeorando la calidad del agua y dificultando las condiciones de drenaje en el área de Chongqing.

▼ 10) El proyecto modifica aspectos relacionados con los riesgos geológicos de carácter natural y con la salud pública.

▼ iii. Los impactos ambientales y ecológicos del proyecto son de importancia desigual temporal y espacialmente. El periodo de afección comienza con las labores preparativas y continuarán durante un largo periodo. Así como los efectos negativos de la construcción se extenderán a un plazo reducido, las afecciones al régimen de sedimentos lo hará durante mucho tiempo, siendo además acumulativos. La variación estacional de los efectos está relacionada con la variación del volumen almacenado en el embalse. Espacialmente, los impactos positivos se notarán especialmente aguas abajo mientras que los negativos se focalizan en el área del embalse.

▼ iv. El factor más sensible y restrictivo desde el punto de vista medioambiental es la capacidad de llevar a cabo un reasentamiento sostenible medioambientalmente y respetuoso con el medio natural.

▼ v. Si se presta atención de los aspectos medioambientales del proyecto, pueden implementarse medidas correctoras efectivas, con la adecuada y suficiente inversión, de forma que la mayor parte de los impactos negativos sean reducidos a mínimos aceptables. Sin embargo, si las inversiones en estos objetivos propuestos en el EIA no son suficientes o las medidas mitigadoras no son bien implementadas, el éxito del proyecto y sus beneficios esperados pueden comprometerse; el desarrollo socioeconómico en el área del embalse puede obstaculizarse y podría empeorar la tendencia en el deterioro medioambiental de la cuenca del Yangtze.

La conclusión general sobre los impactos ambientales del proyecto es que presentará tanto impactos positivos y como negativos a los cuales hay que prestar adecuada atención. Una vez las medidas efectivas, tanto en el campo de la estrategia, ingeniería, supervisión, gestión e investigación científica así como esfuerzo inversor sean completamente llevadas a cabo para minimizar los efectos negativos, los aspectos medioambientales no deberán afectar a la viabilidad del Proyecto.

MEDIDAS CORRECTORAS

Las medidas correctoras se desarrollarán bajo el siguiente ideario:

▼ i. La utilización del suelo en las áreas a ocupar debe ser cuidadosamente preparada en combinación con el completo desarrollo del proyecto. La construcción rural y urbana, la organización de la población relocada, el desarrollo en la explotación de los recursos, la protección de la calidad del agua, la rehabilitación del medio ambiente, etc., debe estar incluida en un plan integral para llevar a cabo un esquema de desarrollo que unifique los beneficios económicos sociales medioambientales.

▼ ii. Plan de prevención y control de la polución medioambiental en el área del embalse

▼ iii. Intensificar la reforestación y conservación del suelo en la cuenca alta y media del Yangtze.

▼ iv. Intensificar la conservación de especies amenazadas

▼ v. Intensificar la protección de reliquias históricas y culturales así como acelerar las excavaciones arqueológicas

▼ vi. Optimizar la operación del embalse para hacerla compatible con la recuperación de ecosistemas y con la protección medioambiental

▼ vii. Tras la entrada en servicio, destinar parte de los ingresos por producción energética a una Fundación para la protección del Medio Ambiente en las Tres Gargantas.

▼ viii. Continuar con la investigación científica y monitorización sobre ecosistemas afectados por el proyecto y perfeccionar la red de monitorización.

▼ ix. Poner en marcha un sistema de gestión medioambiental y promulgar las leyes de protección y normativas necesarias.

▼ x. Promover la educación sobre la protección medioambiental para alcanzar la conciencia ciudadana deseable.

BENEFICIOS Y VENTAJAS

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Con sus 84.7 TWh de producción anual, PTG reemplaza 15 grandes centrales térmicas de 1200 MW cada una y minas de carbón con una producción de 45-50 millones de toneladas anuales. Ello significa dejar de emitir a la atmósfera anualmente 100 millones de toneladas de CO₂, entre 1.2 y 2 millones de toneladas de SO₂, 10.000 toneladas de CO, 0.37 millones toneladas de NO_x y gran cantidad de cenizas, polvo y vertidos de aguas. Se reducirán las restricciones energéticas en la China central, oriental y zona de Chongqing y se reducirá el caudal de vertidos indeseables medioambientalmente.

En el 2003 comenzará la producción hidroeléctrica en el complejo de las Tres Gargantas tras la entrada en servicio parcial de una de las centrales. La capacidad de las líneas de transporte será del 82.5% y ya permitirá el suministro al Este y centro de China así como a las zonas interiores de Chongqing y Sichuan.

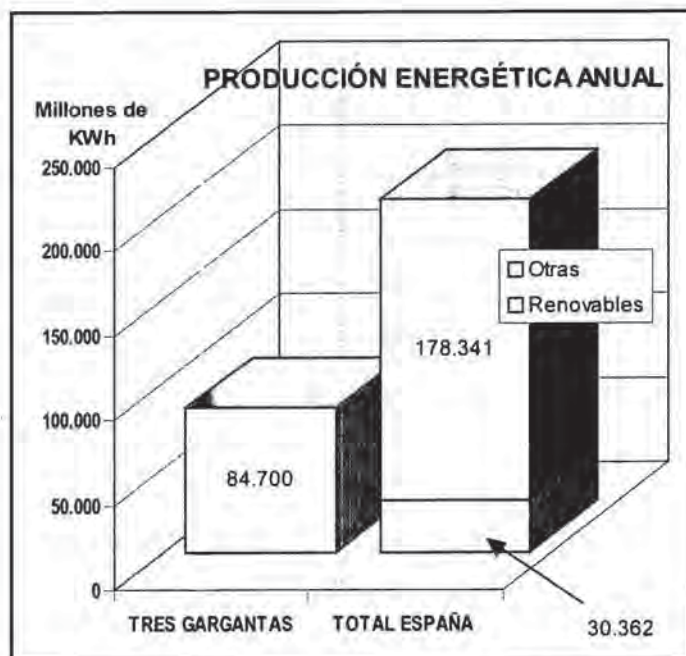


Figura 3: Comparación de la energía producida en la Tres Gargantas y la producción española. (En energías renovables se incluye, además de la hidroeléctrica, la solar y eólica)

MEJORA DE LA NAVEGACIÓN

La navegación en el tramo, que es el más peligroso por las rápidas, mejorará notablemente. Buques de 10.000 toneladas de mercancías podrán alcanzar Chongqing directamente, promocionando la comunicación entre la China central y oriental, cumpliendo el objetivo estratégico de "desarrollar el Oeste dependiendo del Este".

CONTROL DE AVENIDAS

No obstante, la principal ventaja es el control de avenidas. Desde los tiempos de la dinastía Han (206 a.c.) se han registrado 215 crecidas con desbordamiento del Yangtze. Solamente los datos del siglo XX son escalofriantes.

▼ Julio 1931 : 44.49 m de calado; 3.4 millones de Has. inundadas; 145.000 muertos directos.

▼ Verano 1935 : 1.5 millones de Has. Inundadas; 142.000 muertos directos

▼ Mayo/agosto 1954: 1.41 millones de Has. Inundadas; 9.2 millones de personas afectadas; 30.000 muertos directos; 100 días de corte de FFCC con práctica incomunicación terrestre entre el norte y sur de China.

El siglo XX se ha cobrado más de 400.000 vidas de forma directa por crecidas del Yangtze, e incontables indirectas por las enfermedades asociadas, epidemias y plagas. Las pérdi-

das económicas directas e indirectas e incluso la pobreza derivada de las mismas no son cuantificables.

Actualmente, el periodo de recurrencia del desbordamiento del río en la sección de Jiangjiang, donde, como en otros tramos, el río circula con una cota superior a la de las tierras colindantes en una vastísima área, es de unos 10 años y es donde se concentran habitualmente las enormes pérdidas de vidas, hogares, etc..

El PTG controlará el 95% del caudal en la sección de Jingjiang y 2/3 del de la ciudad de Wuhan. Con ello la avenida de 10 años de periodo de recurrencia pasará a tener uno del orden de la centuria. Incluso ante una riada de carácter milenario como la de 1870, en coordinación con la ruptura preventiva de motas en Jingjiang, se podrá proteger a la población de una gran catástrofe, acotando los efectos. A fin de cumplir este objetivo, se reserva 22.150 Hm³, un 57% de la capacidad del embalse a laminación.

También mitigará la amenaza del Yangtze sobre el área del lago Dongting y reducirá las pérdidas.

OTROS BENEFICIOS

El proyecto ha de beneficiar el desarrollo de la pesca fluvial y del turismo, ha de mejorar la calidad del agua en estaciones secas aguas abajo y permitir la transferencia de recursos en un futuro hacia las regiones secas del norte.

El control de avenidas reducirá los serios daños al medio ambiente y ecosistemas que serían causados por las inundaciones en zonas densamente pobladas y desarrolladas y en las zonas de los lagos del tramo medio. Ralentizará el aterramiento del lago Dongting alargando sus expectativas de vida, mejorando la ecología del mismo y de su entorno.

Mejorará la calidad del agua aguas abajo y el suministro de Shanghai, reduciendo la intrusión marina especialmente en estaciones secas.

ESTIMACIÓN DE IMPACTOS SOBRE EL MEDIO NATURAL

EFFECTOS SOBRE EL CLIMA

El área está sometida a un clima húmedo subtropical con temperaturas medias de 18°C variando de los 3.6°C de enero a los 29°C de Julio, con una pluviosidad de 1100 mm, el 80% de la cual se recibe en la época monzónica entre mayo y octubre.

La existencia del embalse causará un efecto de microclima apreciable solo en una distancia menor de 10 km de su costa. La temperatura del aire, según predicciones teóricas, se apreciará hasta 1-2 km de la costa del embalse y en 400 m de desnivel. La media anual se incrementará 0.2°C y la media mensual entre 0.3 y 1°C en invierno para decrecer 0.9-1.2°C en ve-



Foto 6: Zona lacustre en la provincia de Hubei

rano y la temperatura máxima anual decrecerá 4°C incrementándose la mínima en 3°C.

La humedad absoluta se incrementará en 0.4 g/kg incrementándose la presión del vapor entre 20-30 Pa en invierno y 130-180 Pa en verano. La precipitación en la cuenca se incrementará en 3 mm decreciendo sobre la zona próxima al embalse salvo que se encuentre a barlovento.

Según los modelos matemáticos, los días de niebla podrían aumentar de los 35 anuales a 36-37 en media. El viento crecerá en la zona de espejo de agua y la estratificación quedará prácticamente inalterada.

Los cambios microclimáticos tendrán efectos negativos y positivos en la agricultura y vida de las gentes. Las heladas empezarán más tarde y terminarán antes beneficiando a los frutales. La ligera suavización de los máximos térmicos en verano e incremento de brisas será positiva.

El invierno será algo más húmedo y con mayor niebla, perjudicando al tráfico fluvial, terrestre y aéreo. El incremento de viento dispersará la lluvia ácida de las ciudades que será ligeramente incrementada por las cantidades de vapor y niebla.

Como medidas correctoras se contempla el ajuste de los métodos productivos en el campo de la agricultura, la implementación de sistemas de predicción meteorológica a corto plazo para ayuda al tráfico y la adopción de medidas de prevención en origen de la generación de lluvia ácida.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

La presa asienta sobre un zócalo granítico altamente estable. Los márgenes del embalse están compuestos en general de areniscas y calizas jurásicas con gran estabilidad. Sin embargo, algunas laderas localmente con baja estabilidad pueden convertirse en inestables tras el llenado. En general se trataría de reactivación de viejos deslizamientos o flujos de derru-

bios. Hay 270 localizaciones de inestabilidad potencial identificados, en una longitud de 16 km sobre los 1300 km de costa del embalse. Se ha calculado el impacto de los 12 más peligrosos, principalmente para la navegación. Los resultados, si bien no excluyen el riesgo, sí determinan que sus efectos se reducen respecto a los que corresponderían a la navegación en la situación actual.

Los efectos negativos sobre la presa están descartados, no así sobre algunas poblaciones ribereñas del embalse. A fin de mejorar su seguridad se han proyectado los trabajos de estabilización en algunos casos y de monitorización en otros.

Desde 1950 han sido instaladas 7 estaciones sismológicas en el área de la presa. No hay fallas activas en un área de 40.000 km² en el entorno de la cerrada, siendo una zona de baja sismicidad. No se pueden descartar, tras el llenado, fenómenos de sismicidad inducida de carácter menor en una falla situada a 18 km aguas arriba de la cerrada, por lo que todas las estructuras importantes del proyecto están diseñadas con criterios anti-sísmicos (grado VII).

Respecto la permeabilidad del vaso, no se prevén filtraciones hacia valles adyacentes, no solo por la estanqueidad de la cerrada, sino por que el freático se sitúa por encima del nivel de embalse en su tramo bajo.

SEGUIMIENTO

Durante las lluvias monzónicas de 1998 se produjeron 729 deslizamientos y flujos de derrubios con 80.000 afectados, 12 muertos, 45 heridos y pérdidas por valores de 600 millones de yuanes. El mayor, de 30 millones m³, afectó a 525 personas que fueron evacuadas gracias a la predicción del mismo. Otro del mismo volumen afectó a 1.658 personas, sin daños personales debido a la predicción.

Diversos proyectos de prevención de deslizamientos de tierras o roca peligrosas en Badong, Wanzhou y Yunyang han mejorado la seguridad de personas. El Ministerio de Recursos y Territorio ha estudiado 560 emplazamientos en 520.000 Km² elaborando planes de prevención, emergencia y evacuación, monitorización y predicción. Este Ministerio ha implantado una oficina experimental de prevención de desastres geológicos en el área de Lianziyan-Badong.

CALIDAD DEL AGUA

Las fuentes de contaminación de las aguas del embalse provienen de vertidos industriales, retornos de regadío, aguas residuales urbanas y vertidos de navegación. El vertido anual es del orden de 1.000 Hm³ con variados grados de tratamiento, en general muy bajos. La población involucrada en vertidos directos sin depuración es de 2.400.000 personas con un caudal de 345 Hm³/año. No obstante, el gran caudal del río hace que solo se superen los límites estándar de coliformes, aceites, y mercurio. El pH varía entre 6.8 y 8.2 y el

oxígeno disuelto medio es de 8 mg/l con una DBO entre 0.6 a 1.5 mg/l.

La modificación de la velocidad del agua en el embalse debilitará la capacidad de difusión por lo que la polución en la costa del mismo será más amplia y más corta. Si no se adoptaran medidas mitigadoras para reducir la carga contaminante, la calidad del agua en la zona del embalse se deterioraría debido a esa menor difusión y pérdida de capacidad de autodepuración.

También la inundación de los suelos en el llenado aportará carga contaminante. En el curso principal el ratio entre nueva superficie inundada y caudal minimiza el efecto; no así en los afluentes, cuyo caudal es bajo en relación al terreno inundado. Este efecto será mayor en las primeras etapas de llenado.

Por otra parte, se espera una reducción de metales pesados en un 63-70% en el agua, pasando éstos a los sedimentos. Parte éstos provienen del afluente Wujiang, que aporta gran cantidad de mercurio lo cual obligará a la adopción de medidas correctoras específicas.

Los nutrientes, retenidos más tiempo en el embalse, favorecerán el aumento de algas. La velocidad del agua restringirá el crecimiento de fitoplancton. Las condiciones de pH, y el alto contenido de iones Ca⁺² y Mg⁺² de las aguas del Yangtze favorecerán la precipitación de fósforo y la absorción del soluble por las algas lo mantendrá en niveles bajos. No obstante, la aportación de nutrientes de los tributarios del Yangtze aguas abajo es mucho mayor, y los efectos del embalse sobre la concentración de nutrientes en el estuario será despreciable.

No se espera eutrofización del embalse en conjunto, debido a su grado de renovación, profundidad, velocidad media, etc.. Sin embargo podría darse en las entradas menos renovadas de los afluentes al vaso.

Salvo en el llenado de octubre, el caudal aguas abajo será idéntico o superior al natural, por lo que la dilución de contaminantes decrecerá. Por el contrario, la decantación reducirá la descarga de sedimentos en la estación seca y se reducirá la capacidad de autodepuración.

Las principales medidas correctoras se enfocan a:

- ▼ Imposición de la nueva ley y normativas asociadas relativas a vertidos, cuyos parámetros estándar vienen siendo más restrictivos.
- ▼ Se reforzará el control de los vertidos contaminantes en el embalse y aguas arriba del mismo. Plan de renovación contra la polución del alto Yangtze.
- ▼ Cierre de factorías con tasas altas de contaminación.
- ▼ Inventariado, estudio, tratamiento y retirada en su caso de residuos sólidos en márgenes inundables del embalse o cursos aguas arriba, así como prohibición de establecer vertederos de residuos en zonas inundables de las márgenes del río.
- ▼ Deforestación del vaso y medidas de retención y conservación de suelos en laderas vertientes.

MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Desde 1984 se monitoriza la calidad del agua en 13 secciones de control en el tramo de río y se controlan 110 vertidos directos en el área del embalse. Las principales están en el área metropolitana de Chongqing con el 92.5% de la carga contaminante. Solo 13 empresas (Químicas, refinerías de petróleo, industria del carbón, siderúrgicas, ..) representan el 81.5% del total. El total de agua residual industrial de los 110 vertidos es de 127 Hm³/año.

Igualmente se lleva un control de la contaminación por fertilizantes y pesticidas. El esfuerzo en modernización de la agricultura está permitiendo la reducción de retornos contaminados pese al aumento en el uso de fertilizantes. El DDT fue prohibido junto al BHC por lo que la entrada de pesticidas al río es muy baja.

La polución por navegación, con 73.146 embarcaciones, 3.03 millones de pasajeros y 10.369 millones de toneladas de mercancías anuales es importante. Hay un total de 8.327 barcos monitorizados a efectos de estimar la polución generada. Vierten 0.511 Hm³/año de aguas residuales de las que 0.469 Hm³/año están tratadas. De las 78 toneladas año de polución vertida, un 33% es aceite. El 21% del total de vertidos por accidente en el río Yangtze se producen en el tramo del embalse, esperándose una considerable reducción con su llenado al mejorar las condiciones de navegación.

La Oficina Marítima y Medioambiental del Ministerio de Comunicaciones obliga a mayores especificaciones en la construcción, mayor control y campañas de concienciación.

TEMPERATURA DEL AGUA

Las condiciones de Froude para la estratificación térmica se dan durante la estación seca. Durante la misma, la temperatura prevista media del agua es superior a la del aire, lo que restringirá la estratificación del embalse. Solo podrá aparecer al principio de la primavera y con caudales por debajo de 6000 m³/seg, y en las desembocaduras de algunos afluentes, con saltos térmicos entre 1.7 y 9.3°C entre superficie y fondo. Los caudales de mayo, crecientes, restituirán el perfil térmico uniforme.

La temperatura del agua aguas abajo bajará durante el desembalse de primavera pero nunca por debajo de los 18°C que son necesarios para el desove. La operación de los diferentes órganos de desagüe de la presa vendrán condicionados por las exigencias térmicas aguas abajo derivadas de esta condición medioambiental, debiendo elegir adecuadamente la cota de toma.

FAUNA

La afección a la fauna salvaje terrestre es insignificante ya que la influencia antrópica ha hecho que las zonas con vida

salvaje sean inconexas y con estructuras similares. La deforestación ha reducido el tamaño de los hábitats y las comunidades son homogéneas. La *Ley de Protección de la Vida Salvaje* promulgada protege con diversos niveles parte de las especies.

Entre 1996 y 1998 se ha realizado un censo de la vida animal salvaje, separadamente en los ámbitos de Chongqing y Hubei identificándose 553 especies: 342 de pájaros, 3 protegidas de primer orden (cigüeña negra, águila dorada y águila blanca), 118 de mamíferos, algunos de ellos también de primer nivel de protección (mono dorado, leopardo y tigre), 51 de reptiles y 41 de anfibios.

FLORA

En Chongqing, la cubierta vegetal silvestre es del 21.7% y del 32% en Hubei. Debido a la influencia antrópica en la zona a lo largo de varios milenios, no existen vegetación primitiva por debajo de la línea de embalse, e incluso muy poca por debajo de la cota 1000, siendo el 15 % de la superficie del mismo la que tiene cobertura forestal pero de carácter secundario o artificial. En el área inundable predominan los bosques de pino y ciprés junto con matorral, pradera y tierra cultivada. El abrupto relieve de la zona del embalse conlleva la zonación por cotas de las diversas comunidades.

Entre las 2859 especies de flora inventariadas 47 están incluidas en diferentes categorías de la lista de "*Especies protegidas y amenazadas en China*". El embalse afectará a 550 especies, aunque ninguna de ellas sufrirá la extinción.

También afectará a algunas especies de árboles, plantas y flores escasos cotizados por su comercialización. De las especies de plantas con explotación comercial, el 89% lo son en la medicina tradicional china. También en el sector de los perfumes hay especies con potencial de explotación.

Las medidas correctoras se centran en la protección de enclaves de la zona donde también persisten las especies más amenazadas de las que se inundan. Se prevé el cierre de ciertas áreas por encima de la cota 1300 m para preservar la rehabilitación y protección de bosques naturales.

VIDA ACUÁTICA

El área del embalse alberga a 150 especies de peces de las cuales 47 son endémicas y 30 comerciales.

El *delfín chino de agua dulce* está desde hace años en peligro de extinción, no superando en la actualidad los 200 ejemplares. Las aguas limpias desembalsadas desde las Tres Gargantas pueden estrechar los márgenes de supervivencia, reduciendo el alimento a la vez que la navegación viene incrementando día a día sus muertes accidentales.

Entre las medidas correctoras se encuentra el establecimiento de "tramos reserva" protegidos en el Yangtze tanto para el delfín como para otras especies.



Foto 7: Delfín chino de agua dulce. A la derecha, Foto 8 : Esturión chino reproducido en cautividad.

La construcción de la presa de Gezhou ya supuso una barrera para el remonte del *esturión chino*, especie migratoria que desova en los tramos medios del Yangtze. Ello condujo al establecimiento de la *Estación de cría artificial de Yichang*, dedicada especialmente a esta especie amenazada y que viene funcionando desde los años 70. La reducción de caudal de octubre en las Tres Gargantas, reducirá el área hábil para los huevos fertilizados y tanto la reproducción en cautividad como el remonte artificial de los esturiones chinos se hará más necesaria. No así ocurre con el *esturión del Yangtze* cuyas zonas de desove se encuentran aguas arriba del embalse y que no se verá afectado por el proyecto.

Para proteger la biodiversidad de la cuenca del Yangtze se han adoptado una serie de medidas proteccionistas como lo son la creación de tres reservas naturales, tres reservas de plantas raras, cuatro reservas acuáticas de fauna piscícola amenazada, una reserva seminatural de fauna acuática rara, y tres estaciones de reproducción y suelta de especies acuáticas raras.

SEDIMENTACIÓN

Desde 1950, las estaciones hidrológicas en la cuenca del Yangtze, incluyendo sus principales afluentes, dispone de mediciones regulares de sedimentos. Asimismo, se llevaron a cabo estudios sistemáticos de las características de los mismos, procedencia, contenido y movimiento de los mismos.

Los pasados siglos y en particular las últimas décadas han sido testigos de la tala de extensas áreas en la cuenca alta. Sorprendentemente no se detecta entre 1950 y 1989 una tendencia en el incremento de la carga. Incluso hay un descenso entre 1991 y 1997. La causa de no observarse un incremento del aporte sólido está todavía en debate. No obstante, se han

adoptado los datos hasta 1989 para ser conservadores con un valor medio de 524 millones de toneladas anuales. Entre mayo y octubre, se recibe un 80.4% de la aportación líquida pero un 97.8% de la aportación sólida.

La mayor parte de los sedimentos consisten en carga suspendida a largo plazo con diámetro de 0.033 mm. Un 88% del total es inferior a 0.1 mm y la carga de fondo con diámetro superior a 1 mm constituye menos del 1% del total.

La regla de operación en avenidas consiste en no desaguar caudales que conjuntamente con los tributarios de aguas abajo hagan desbordar el Yangtze hacia el lago Dongting, ni se superen ciertos niveles en secciones específicas del río aguas abajo. Ello significa aproximadamente 50.700 m³/seg.

Las condiciones topográficas y morfológicas de este embalse-canal lo hacen especialmente favorable para la descarga natural de los sedimentos. Las suficientes compuertas de desagüe específicas para evacuación de sedimentos y las normas de explotación, con desagüe sistemático de fangos en la estación húmeda, permiten alargar la vida útil del embalse de forma considerable. Se estima que tras 80-100 años de operación quedará el 86% de la capacidad de control de avenidas y el 92% de la capacidad útil. En ello juega un papel importantísimo la capacidad de los desagües de fondo y medio que poseen conjuntamente una capacidad de 60900 m³/seg a la cota mínima de explotación.

La retención exclusiva de los excesos sobre 55.000 m³/seg., salvo para grandes avenidas en que el desembalse podría aumentar, significa, por lo general, cortos periodos intermitentes de llenado con duración de uno dos días. Raramente, pues, la curva de remanso se halla por encima de la correspondiente al caudal citado con nivel de resguardo en la presa y la decantación debería producirse por debajo de ésta. Como la capacidad útil de laminación es la comprendida entre

las curvas de remanso para los niveles de resguardo y de máximo embalse normal, la sedimentación en la franja de laminación sería excepcional, lo que garantiza la larga vida útil del embalse para este fin. La modelación matemática da como resultado una pérdida del 14% de la capacidad de control de avenidas en 100 años de operación.

Los estudios muestran que puede llevarse a cabo un vaciado parcial de sedimentos aprovechando los grandes caudales. La poca anchura del embalse con velocidades no despreciables permitirá, en ulteriores estadios de colma-

tación, el transporte de sedimentos en épocas monzónicas con niveles bajos del embalse. Ello significa que se alcanzará una situación de equilibrio y el nivel de sedimentos quedaría estacionario, con una pendiente de 0.0005%-0.0007% parecida a la del lecho en los tramos inmediatos aguas abajo, siempre, claro está, que se opere adecuadamente el sistema de desagües proyectado.¹ Este perfil intersectaría el lecho actual aguas abajo de la cola, en el interior del embalse.

La sedimentación en la zona situada entre los extremos aguas arriba de las curvas de remanso extremas podría comprometer la navegación en las épocas críticas al final de la estación seca, cuando el caudal es mínimo. Para minimizar el problema se prevé el dragado de puertos fluviales y regulación de canales fluviales preferenciales, así como la optimización de la operación del embalse. Los modelos prevén un calado navegable mientras los niveles en la presa sean se mantengan por encima de la cota 155. Un aterramiento superior exigiría el incre-

(1) Nótese que hay una vasta experiencia en la operación de desagües para este fin en China, sobre todo en la cuenca del río Amarillo donde el problema es más acuciante. En el Yangtze, la operación de la presa de Ghezou, desde 1970, con el mismo sistema de desagües garantiza la viabilidad del método.

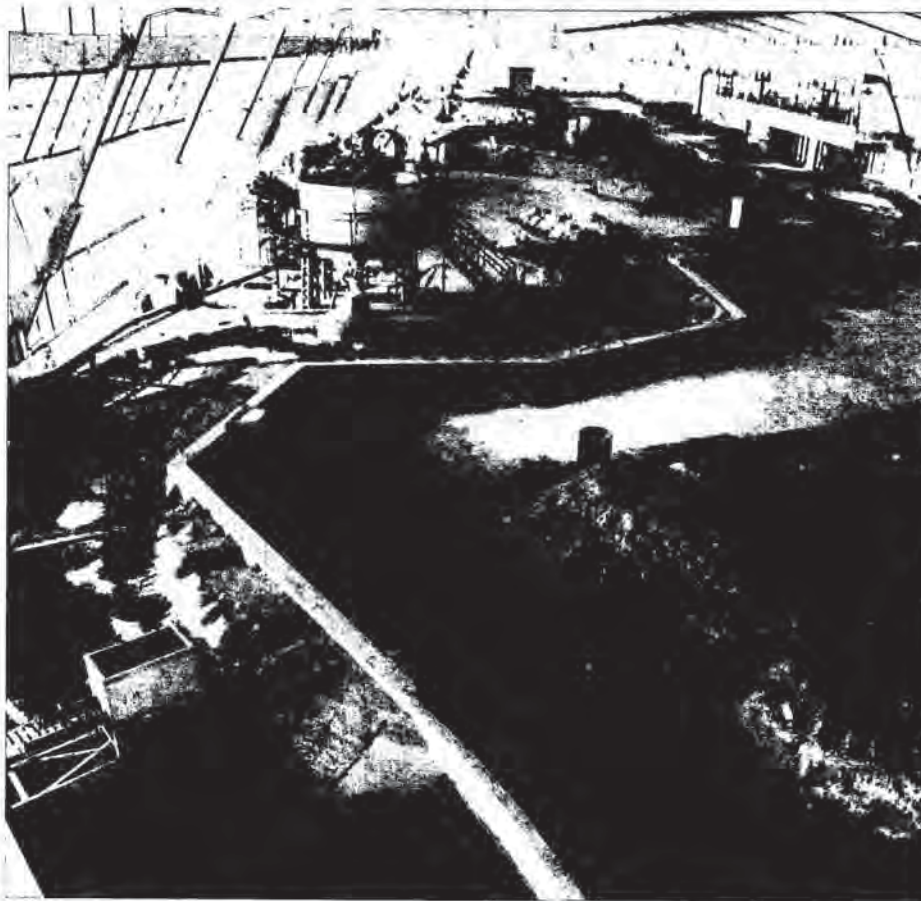


Foto 9: Uno de los modelos físicos utilizados en los estudios de arrastres sólidos.

mento de nivel en la presa para elevar la curva de remanso y una reducción del resguardo hasta que los caudales entrantes garantizaran el calado de mínima navegabilidad. La operación en la presa quedará parcialmente condicionada por la formación de depósitos, e incluso lechos secundarios y móviles en la región de fluctuación de la cola del embalse.

En esta zona, el punto estratégico más importante es el puerto de Chongqing. Sobre el año 2030 la deposición en el mismo puede ser ya considerable. Otros proyectos como la presa de Xiloudu en el principal afluente, cuya terminación se prevé para el 2013, con una capacidad de embalse

de 14.000 Hm³., retrasará el proceso de forma que en 2063, según los cálculos, la deposición en el puerto será del 20% de la que se hubiera producido solo con el PTG. Otros proyectos en la cuenca reducirán todavía más este efecto.

Con la entrada en servicio de las Tres Gargantas, inicialmente se reducirá la cantidad de aportes sólidos aguas abajo un tercio y el tamaño medio de la partícula disminuirá. Ello conllevará el movimiento de parte del sedimento del lecho aguas abajo para después intercambiar con el existente, ya que el más fino tenderá a viajar más hacia aguas abajo. Esta degradación, a lo largo de más de 1000 km, se extenderá hasta el estuario.

ESTIMACIÓN DE IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIAL

PAISAJES NATURALES, RELIQUIAS CULTURALES E HISTÓRICAS

Los parajes del tramo de las Tres Gargantas del Río Yangtze son uno de los más famosos y atractivos puntos turísticos de China por sus magníficos paisajes.

Donde se dan ensanchamientos se concentran las aldeas con campos aterrazados, y bosques de bambú que se alternan con los naranjos.

Tras el llenado, aparecerá un lago de una superficie de 1.084 Km², que reducirá la altura relativa de los cerros que lo rodean y reducirá el efecto de verticalidad del cañón. No obstante, la anchura del embalse es pequeña por lo que el efecto global será débil.

Desaparecerán los rápidos y remolinos del río y el paisaje turístico será muy parecido fuera de la época de monzones, en la que el resguardo frente avenidas dejará expuesta la franja árida de unos 30 metros.

El área es una de las cunas de la cultura china, lugar de nacimiento de la cultura Ba-Chu. Siendo el Yangtze la vía de comunicación por excelencia entre la china litoral e interior, y por su importancia estratégica política, militar y económica, son sus márgenes albergue de gran cantidad de restos culturales de todas las épocas. Al menos 10 yacimientos se remontan a las dinastías legendarias de Xia, Shang y Zhou.

En la zona se pueden encontrar 1056 reliquias culturales e históricas y sepulcros subterráneos de diferentes dinastías. Entre ellas la inscripción Baiheliang protegida a nivel nacional y seis reliquias de interés provincial. Las medidas protectoras son de relocalización, reconstrucción, réplica e inventariado fotográfico o cercado dependiendo del valor de cada una. Se han acelerado los procesos de excavación arqueológica de enclaves que van a ser inundados, como los de cuales la cultura Daxi, que hace casi de 6000 años, marcó la transición de la sociedad matriarcal a la patriarcal.

REASENTAMIENTO DE POBLACIÓN

El PTG es el mayor proyecto de realojamiento hasta ahora abordado en el mundo. Aunque el proyecto en sí mismo supone

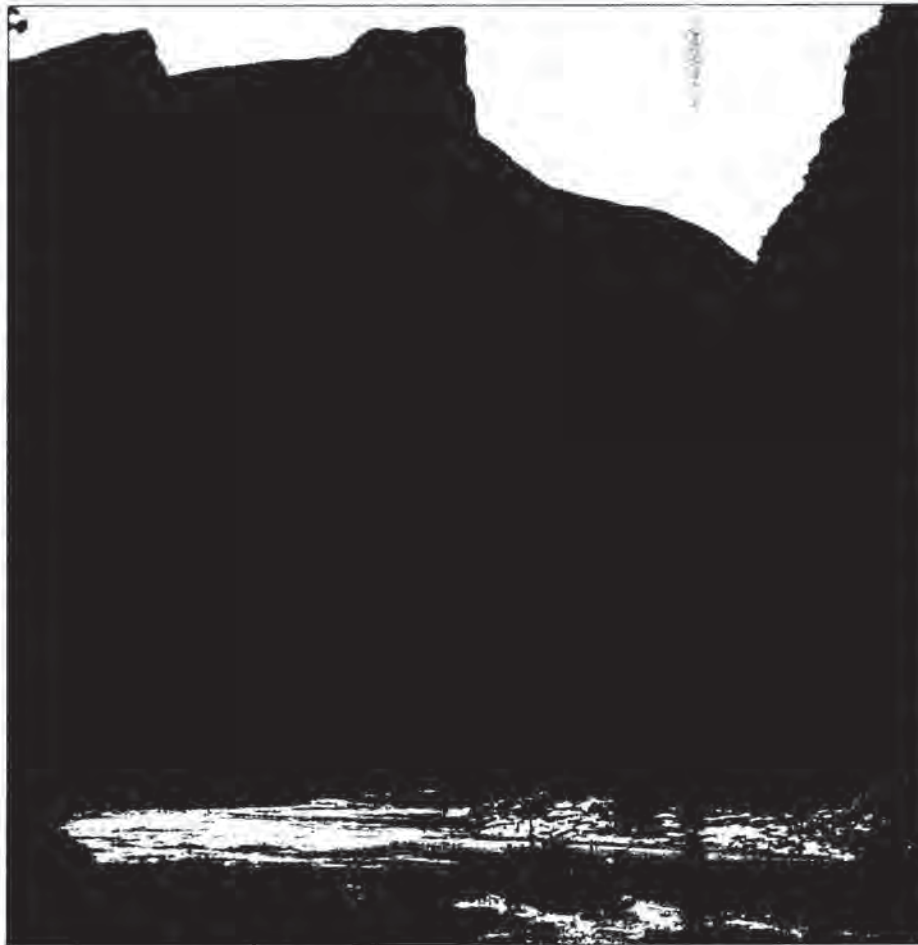


Foto 10: Río Yangtze fluyendo por la garganta Qutang.

importantes pérdidas por inundación, proporciona una excelente oportunidad para el desarrollo de la región en que se ubica. Es uno de los principales retos del proyecto ya que se trata de una región subdesarrollada debido a la falta de inversión en el pasado. La necesaria atención a la gestión medioambiental del mismo exige el reajuste de la estructura productiva para promover un desarrollo armónico y sostenible de la economía y el medio ambiente.

La puesta en explotación del embalse conlleva la inundación de 21 condados, ciudades y distritos, representando 28.000 Ha de tierra cultivada y forestal, 34.6 millones de me-

tros cuadrados de edificación, 1.599 fábricas y afectando a 844.000 personas (57% de los cuales de ámbito urbano) según datos de 1991,. No obstante, por crecimiento natural y diversas otras causas, se ha planificado la operación para 1.130.000 personas con una inversión de 40.000 millones de Yuanes de 1993.

El reasentamiento fue definido en 1984 según experiencias de proyectos piloto ya efectuados con éxito en la zona con una inversión de 100 millones de yuanes, bajo la filosofía de *desarrollo orientado*.

La filosofía del programa es cambiar los métodos tradicionales basados en el pago de compensaciones. Se destinan fondos para la explotación y desarrollo racional basados en los recursos locales; promoción de empresas en condiciones ventajosas y la implantación de la eco-agricultura de alto rendimiento. La premisa es la garantía de un reasentamiento adecuado que asegure un nivel de vida al menos con las condiciones anteriores aunque con las bases para su futuro desarrollo.

Para ello las reglas básicas son:

▼ 1. Mecanismo de liderazgo y control centralizado (Beijing), responsabilidad provincial y ejecución a nivel local o



Foto 11: Excavaciones arqueológicas en zona inundable. Abajo, Foto 12: Aspecto de los poblados a trasladar.



de condado, con el fin de dar juego a iniciativas tanto nacionales como locales.

▼ 2. Gestión de los fondos para reasentamiento a nivel provincial, para asegurar que el dinero se destina a cada objetivo específico a través de los diferentes niveles de ciudades, distritos o condados.

▼ 3. Respecto al reasentamiento de la población rural, lo más práctico es su desplazamiento a nivel local y reubicarlos en agricultura abogando por la eco-agricultura de alto rendimiento para ayudar a su mejora de nivel de vida en base a su propia producción. Alguna parte de la población rural se moverá a provincias del medio y bajo Yangtze y a zonas más desarrolladas económicamente en la costa. De acuerdo



Fotos 13 y 14: Vivienda de 140 m² para cuatro personas relocalizadas procedentes del área de la cerrada.

con los planes preliminares, éstos suponen una cifra de 125.000. La mayor parte, a reasentar en el área del embalse, se llevan a cabo bajo el principio de un *Plan Unificado con ejecución progresiva*, conforme las reconstrucción de infraestructuras y la financiación vaya habilitando ciudades en condiciones de funcionamiento.

▼ 4. Aprovechando la oportunidad del realojo, algunas fábricas y empresas serán cerradas por falta de beneficios o mercado o por la polución medioambiental que producen. Hasta 20 provincias han desplegado su participación en los programas de reindustrialización. Las principales industrias comparten riesgos financieros de la operación.

Las cifras, a julio de 2000, son optimistas respecto al éxito de la operación de reasentamiento. Se han realojado 248.000 personas y se dan las condiciones para otras 90.000, lo que indica que se alcanza el 30% de los objetivos en los 8 años que lleva en marcha el programa. Se han reconstruido 577 factorías y cerrado definitivamente 36. Además ya se ha completado la traslación de 2 ciudades, 11 cabezas de partido y 114 aldeas. La mayoría de ellas ya están tomando forma. Se ha completado la nueva cabecera de condado de Zigui en la provincia de Hubei y está próxima la de Yunyang en la ciudad autónoma de Chongqing. En general los trabajos no presentan retrasos respecto a la planificación inicial.

La relocalización de población ha promovido el desarrollo económico del área del embalse. Las casas tienen mayor superficie y calidad con una media bruta per cápita de 56.7 m². Las fábricas que malgastaban recursos, no presentaban viabilidad económica o polucionaban el medio ambiente han sido cerradas.

La cooperación y la renovación tecnológica ha dado otra perspectiva económica a la zona.

Se ha prohibido la transformación de tierras cultivables a costa del sacrificio de zonas forestadas. Los cultivos en pendientes menores del 25% han sido transformadas a terrazas y se ha promovido la eco-agricultura de alto rendimiento. Todo ello contribuye a sentar las bases para un desarrollo sostenible de la economía en la zona del embalse.

PROGRESO DEL REASENTAMIENTO EN EL ÁREA DE LA PRESA

Se han establecido hasta ahora 41 áreas o núcleos de reasentamiento tras la expropiación inicial en la zona de la cerrada, primera afectada por la construcción, con un área de 702.400 m² y una media per cápita de 56.7 m²/persona.

Tuvimos la oportunidad de visitar personalmente alguna de las familias reubicadas en su nueva vivienda confirmando la información documental de que disponíamos sobre la calidad de la construcción y dotaciones. La célebre hospitalidad china hizo posible esta visita no contemplada en los programas oficiales de visitas al área de la presa.

SEGUIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y ECONOMÍA EN EL ÁREA DEL EMBALSE

El área de seguimiento abarca una extensión de 58.000 Km² en donde se asienta una población de 14.7 millones de habitantes. Desde 1998 se ha producido un crecimiento económico sostenido del 10.98% anual, principalmente gracias al sector secundario, pese a situaciones tan desfavorables como



Foto 15: Plantación experimental.

las inundaciones de 1998 y la crisis financiera del sudeste asiático. La renta per cápita es de 1.852 y 1.799 yuanes en las zonas de Hubei y Chongqing para la población rural y de 4.883 y 5.276 para la urbana respectivamente. El total de habitantes por debajo del umbral de pobreza se redujo en 450.000 solamente durante 1998.

SALUD PÚBLICA

La población residente en el ámbito de la zona de estudio es relativamente pobre no gozando de las condiciones higiénicas deseables. La tasa de vacunación en el ambiente rural es apenas del 40% frente al 80-90% del urbano. Las inversiones en salud pública de la zona han sido históricamente inferiores a la media nacional así como el personal sanitario.

Se está llevando un control especial para prevenir la prevalencia de enfermedades endémicas. Principalmente preocupan la esquistosomiasis y la malaria. Mientras la primera ya no está implantada en el área del embalse y no se prevé su reproducción, la segunda está presente aunque con tasas muy bajas. Se prevé que las condiciones de la superficie del embalse, con pequeño oleaje debido al viento y la navegación, no favorecerá las condiciones para el incremento de mosquitos transmisores de la malaria y la encefalitis B, salvo en la cola de algunos tributarios.

La migración de ratas desde la zona inundable a cotas más altas concentrará su presencia y podrá transitoriamente incrementar el riesgo de la leptospirosis y otras enfermedades transmitidas por este animal.

Las malas condiciones sanitarias en aglomeraciones de campamentos de construcción o provisionales en una mala or-

ganización del reasentamiento podría incrementar la tasa de enfermedades como la disentería, hepatitis u otras infecciones intestinales.

Las medidas preventivas van relacionadas con la creación de oficinas de *protección y educación de la salud pública* en las zonas de reasentamiento, la limpieza del lecho inundable, desratización y medidas antimosquitos.

IMPACTOS DE LA CONSTRUCCIÓN

El gobierno chino exigió en la aprobación de la construcción que tanto la obra como su integración medioambiental fuera un ejemplo de primera clase en el mundo.

Para ello se dictó las normas "*Regulation for Environmental Protection in Construction sites Implementation*" y "*Planning for Environmental Protection in Construction Sites*". Dado que la extensión de este artículo no lo permite, y que la evaluación de impactos y medidas correctoras relativos a la propia construcción son convencionales, no haremos más referencia a ellas.

SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA AMBIENTAL

Para coordinar y reforzar el control sobre los aspectos relacionados con el Impacto Ambiental del Proyecto, el Consejo de Estado creó el Grupo de Coordinación Ecológica y Ambiental del PTG en agosto de 1995. Desde enero de 1994 ya venía funcionando el Comité de Protección del Medio Ambiente y Reliquias Culturales que supervisa toda la zona de actuación.

Desde 1995 opera el sistema de monitorización ambiental del proyecto, abarcando, desde tramos situados aguas arriba, hasta el propio estuario del Yangtze. Este sistema es dinámico y va incorporando mejoras conforme evolucionan los trabajos y el propio conocimiento. Entre otras tareas tiene la de difundir un informe anual público sobre el seguimiento medioambiental del proyecto que no solo tiene por objeto la ayuda a la toma de decisiones de tipo social, económico y ambiental, sino también el fomento de la participación pública en el proceso. Para ello se ha dividido la zona en 11 subsistemas y se han establecido 5 estaciones ecológicas experimentales.

ESTACIONES EXPERIMENTALES.

Se han puesto en marcha, de acuerdo con El programa de seguimiento, cuatro estaciones experimentales para la investigación e implementación sobre:

- ▼ suelos y microorganismos en el área del embalse para la fertilización de suelos,
- ▼ demostración de procedimientos de eco-agricultura de alto rendimiento (nuevas especies de trigo, experimentos de arroz, maíz y patata ecológica..)
- ▼ rehabilitación y reconstrucción de ecosistemas degradados.
- ▼ fertilización rápida de transformaciones con especies adecuadas y fertilización razonable de las cosechas para plantaciones de fuera de temporada según cotas.
- ▼ fertilización del arroz, mejorando la producción por hectárea.
- ▼ selección y recuperación de tierras salinizadas en el estuario para plantación de algodón.
- ▼ repoblaciones rápidas de pinos, robles y cipreses y su efecto en la conservación de humedad y suelo en zonas montañosas

El objetivo es promover la producción e incrementar los beneficios de los agricultores del área del embalse con bases para la reducción del área cultivada con la misma producción, pero bajo controles medioambientales para ajustar y controlar el reasentamiento rural y la influencia de la migración en la socioeconomía rural del área del embalse.

Gracias a los métodos investigados para la rápida puesta en explotación de transformaciones, se ha incrementado la producción de arroz, trigo y maíz, promoviendo la migración y elevando el nivel de vida de los emigrantes.

Otros experimentos son tendentes a la relocalización "ex-situ" de 39 especies raras de plantas localizadas en el área inundable

COMENTARIO FINAL

Quiero terminar este artículo reproduciendo, con la exactitud que mi memoria me pueda permitir, un comentario que solo hace unos meses, el profesor Zhang Guangdou, Académico de las Ciencias nos contaba, no sin algo de nostalgia en su voz.

Era el relato de un reciente reencuentro en las proximidades de la presa en construcción con un ciudadano, como él ya

nonagenario, residente en las Tres Gargantas al que había conocido en los años cincuenta durante la participación del profesor en los estudios que por entonces ya se llevaban a cabo. Su edad ya no le permitirá ver culminadas las obras ni disfrutar de la prosperidad que el proyecto iba a llevar a la región y que había sido su esperanza durante décadas mientras envejecía. Cuando le preguntó por qué habían tardado medio siglo en autorizar las obras, el profesor no pudo sino responder:

"Tuvimos que hacer estudios geológicos, hidrológicos, ambientales, económicos...para saber si las debíamos hacer"

En la mirada muda, respuesta de aquel compatriota, dice que vio el sufrimiento, la pobreza, las muertes y enfermedades que solo en esos cincuenta años, este viejo anhelo chino podría haber evitado.

REFERENCIAS

- Environmental Impact Statement for the Yangtze Three Gorges Project*. EIA Dept., Chinese Academy of Sciences and Research Institute for Protection of Yangtze Water Resources. Science Press, Beijing,
- Ecology and Environment of the Three Gorges Project*². Science Press, Beijing, 1994.
- Charte CIGB sur les Barrages et L'Environnement*. Commission Internationale des Grandes Barrages. ICOLD. Paris 1997.
- Speech at the 20th Congress of International Commission on Large Dams*. Guo Shu-yan. Beijing 2000.
- Proceedings of China Yangtze Three Gorges Project*. China Yangtze TGP Devlp. Corp. Beijing, 2000.
- Bulletin on Ecological and Environmental Monitoring Results of the Three Gorges Project*. State Environmental Protection Administration, 1999.
- El río Yangtze y la Presa de las Tres Gargantas*. Luis Berga, Jesús Yagüe, Gaspar Zaragoza y Enrique Cifres. Revista de Obras Públicas, Enero 1988.
- Energía 2000*. Foro de la Industria nuclear española. Madrid, 2000.
- Libro Blanco del Agua*. Ministerio de Medio Ambiente. Diciembre 1998. ■

(2) De esta publicación proceden las fotografías números 2, 3, 5, 7, 9, 11, y 16

PRESAS Y DESARROLLO

EL INFORME DE LA WORLD COMMISSION ON DAMS

J. Alberto Herreras Espino
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de SYNCONSULT, S.L.

RESUMEN

El artículo explica, en primer lugar, las diferencias entre la INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (I.C.O.L.D.) a la que pertenece el COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL desde hace cincuenta años y la WORLD COMMISSION ON DAMS creada hace menos de tres años con el fin de encontrar medios para racionalizar la polémica entre los partidarios y los contrarios a las grandes presas. El Informe PRESAS Y DESARROLLO que se describe y analiza en el artículo tiene dos partes bien diferenciadas. En la primera se trata de revisar la eficacia que han tenido las presas para lograr el desarrollo de los recursos de agua y energía; si bien se reconocen los beneficios logrados se llega a conclusiones generales en base a datos procedentes de muestras del orden de cien presas sobre el total de cuarenta y cinco mil que existen en el mundo y se resaltan los fallos ocurridos, especialmente los relativos a los aspectos sociales y ambientales. La segunda parte es mucho más constructiva y se dedica a proponer estrategias prioritarias, criterios, directrices y normas para conseguir decisiones acertadas, y consensuadas por todos los afectados, sobre los proyectos de desarrollo del agua y la energía.

ABSTRACT

The article sets out to explain the differences between the INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (I.C.O.L.D.), to which the SPANISH NATIONAL COMMITTEE joined fifty years ago, and the WORLD COMMISSION ON DAMS which was established less than three years ago; with the aim of channelling discussion between the supporters and opponents of large dams. The report DAMS AND DEVELOPMENT, summarized in this article, is divided into two separate sections. One dealing with the contribution of large dams to the development of water and energy resources and which while acknowledging the benefits obtained, then goes on to give general conclusions - based on information gained from some one hundred dams of forty-five thousand existing in the world - which emphasise errors and failures, particularly with regards to social and environmental issues. The second part of the report is far more constructive and proposes priority strategies, criteria, guidelines and rules in an attempt to achieve consensus on all water and energy development projects.

1. ¿QUÉ ES LA WORLD COMMISSION ON DAMS (W.C.D.)?

Antes de concretar lo que es la **WORLD COMMISSION ON DAMS (W.C.D.)** hay que apresurarse a decir que **no se debe confundir con la INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (I.C.O.L.D.)** que es la institución -con más de setenta años de vida- dedicada, según recoge su Constitución, a fomentar el progreso en la planificación, proyecto,

construcción, explotación y conservación de las grandes presas, e infraestructuras anexas, *mediante la información y el estudio de los temas relacionados con ellas incluyendo los aspectos, técnicos, económicos, financieros, ambientales y sociales.*

I.C.O.L.D. -como todos los expertos relacionados con las presas saben- reúne a los Comités Nacionales de ochenta (80) países, entre ellos obviamente España, y puede presentar el siguiente *curriculum operis*.

▼ Veinte (20) Congresos Mundiales, realizados normalmente cada tres años, a los que acuden, cada vez, más de dos mil expertos de todo el mundo. Al último, celebrado en China, es precisamente al que se dedica este número extraordinario de la **R.O.P.**

▼ Setenta y nueve (79) temas específicos, analizados en dichos Congresos, a los que se han presentado en total más de quince mil (15 000) artículos, lo que proporciona una inapreciable información sobre la inmensa mayoría de las grandes presas.

▼ Sesenta y ocho (68) reuniones anuales en las que se reúnen sus Comités Técnicos para debatir los temas que les ha encargado **I.C.O.L.D.**

▼ Ciento diez y siete (117) Boletines Técnicos, realizados por los citados Comités Técnicos y publicados después de la revisión y sugerencias realizadas por todos los Comités Nacionales.

Una vez que se ha puesto de manifiesto la experiencia y realizaciones de **I.C.O.L.D.** se puede describir que es la **W.C.D.** y responder a las preguntas de ¿Por qué?, ¿Cómo y dónde? y ¿Cuándo? se funda, para reseñar después sus objetivos declarados antes de analizar su informe, denominado **PRESAS Y DESARROLLO (PyD)**, que es el verdadero fin de este artículo.

¿Por qué se funda la **W.C.D.**? Entre los años 1994 y 1997 se produjeron varios informes de **ONG's** –especialmente la Declaración Manibeli– criticando la actividad, en relación con las grandes presas, del Banco Mundial (**B.M.**), arguyendo que este organismo no tenía suficientemente en cuenta los aspectos sociales y ambientales al valorar las posibilidades de financiación de estas infraestructuras. El Departamento de Evaluación de Operaciones de dicho Banco realizó un estudio en 1996 sobre una muestra de cincuenta (50) presas financiadas por el **B.M.** en el que concluía que el 75% de dichas presas no cumpliría las normas sobre reasentamientos de población a las que ahora se obliga el **B.M.**, aunque sí habían cumplido las que se exigían en su momento; el estudio indicaba también que aunque en su día se hubieran utilizado los métodos actuales previstos para mitigar los efectos adversos, sociales y ambientales, no se hubiera visto comprometida la viabilidad económica de los proyectos. Este informe produjo una gran crítica por parte de las **ONG's**, exacerbando la polémica ya existente entre algunas de estas organizaciones y otras de tipo profesional y gubernamental.

¿Cómo y dónde se funda la **W.C.D.**? Ante la tensa polémica creada, el **B.M.** y la **WORLD CONSERVATION UNION** –que reúne a más de 800 instituciones, entre gobiernos, agencias gubernamentales y **ONG's**– patrocinaron, en 1997, una reunión, entre los grupos partidarios y contrarios a las grandes presas, con el fin de debatir el citado informe del **B.M.** En esta reunión, celebrada en Gland (Suiza), participaron treinta y nueve (39) representantes de gobiernos, del sector privado, de

instituciones financieras internacionales, de organizaciones civiles, y del personal afectado por las citadas presas; los participantes convinieron en formar entre ellos un Grupo de Trabajo –denominado **Reference Group**, para seguir analizando el tema.

¿Cuándo se funda la **W.C.D.**? El Grupo de Trabajo finalizó sus tareas en Febrero de 1998 y llegó a la conclusión de que lo mejor era formar un grupo independiente que es el que, finalmente, pasó a denominarse **W.C.D.** En Mayo de dicho año se anunció que la **W.C.D.** comenzaba sus trabajos bajo la presidencia del Prof. **KADER ASMAL** –que en ese momento era el Ministro de Obras Hidráulicas y Bosques en South Africa– asistido por diez (10) –miembros de los que tres (3) son estadounidenses; dos (2) hindúes; dos (2) australianos; uno (1) brasileño; una (1) filipina y un (1) sueco– asistidos por un Secretario General alemán. La selección de estos miembros se produjo mediante procedimientos que, como mínimo, pueden calificarse de poco transparentes; por otra parte, la forma en que la **W.C.D.** se ha organizado posteriormente no se ajusta a lo que fue aprobado en la reunión de Gland, ya que ha incrementado enormemente sus efectivos a través del llamado **FORUM** en el que se han integrado hasta cerca de setenta (70) miembros, muchos de ellos elegidos entre conocidos antagonistas de las presas. En todo caso han hecho un trabajo, el informe **PyD**, que, como ya se ha indicado, es el que se analiza en este artículo.

2. OBJETIVOS DE LA **W.C.D.**

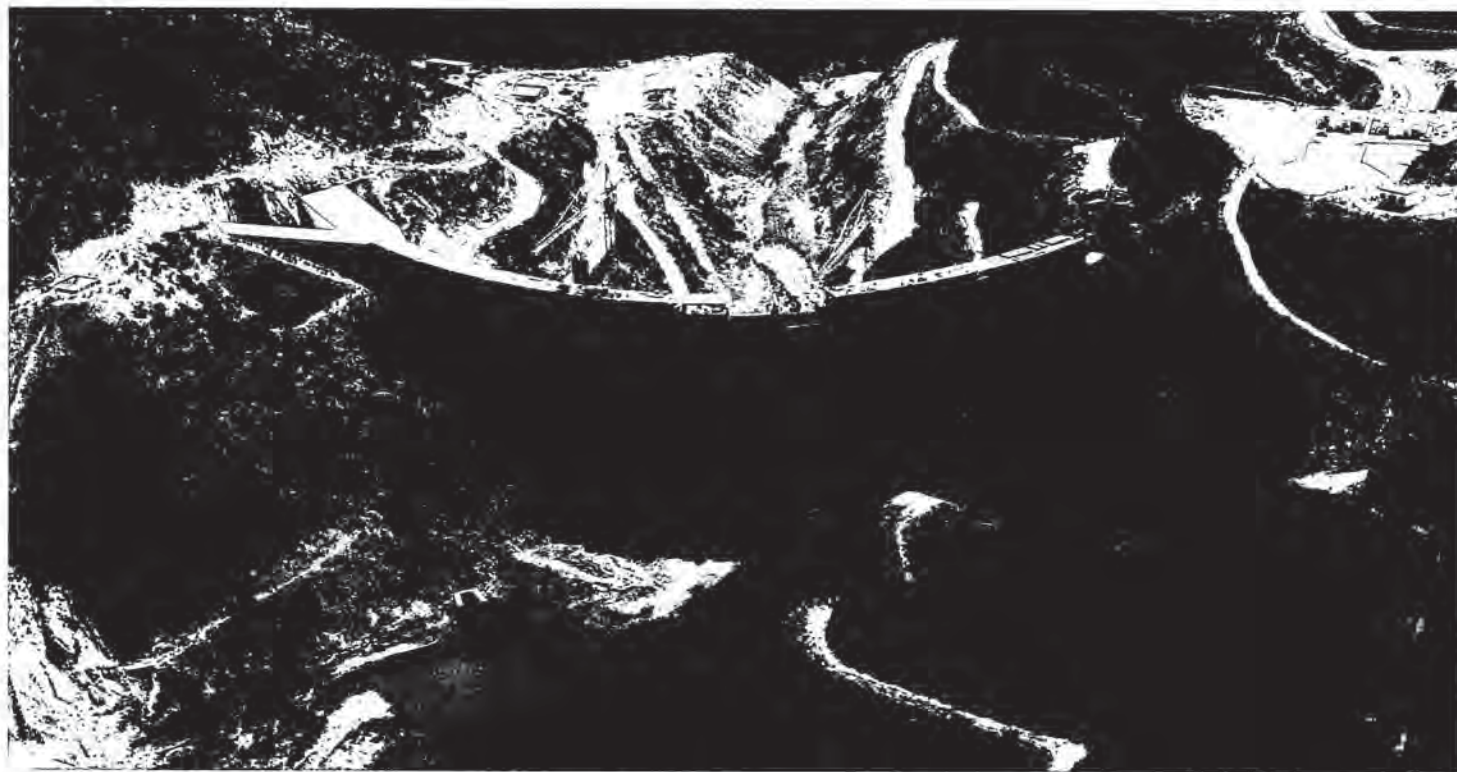
De acuerdo con lo acordado en la citada reunión de Gland los dos objetivos de la **W.C.D.** debían ser:

▼ a) Revisar la eficacia en el pasado de las grandes presas y determinar alternativas para el desarrollo de los recursos de agua y energía.

▼ b) Desarrollar criterios, directrices y normas –internacionalmente aceptadas donde fueran aplicables– para la planificación, proyecto, selección, construcción, explotación, auscultación y puesta fuera de servicio de las presas.

El trabajo realizado por la **W.C.D.** durante dos años y medio –que ha costado del orden de 10 M \$ y ha sido financiado por el **B.M.** y otras instituciones públicas y privadas– ha concluido con la publicación –en Noviembre 2000– del mencionado **PyD**, cuyo contenido y conclusiones se basan en los datos obtenidos mediante los siguientes trabajos:

▼ Análisis detallado de ocho (8) casos de grandes presas en cuatro continentes. Se trata de las presas de: Grand Coulee (**USA**); Tarbela (Pakistán); Aslantas (Turquía); Kariba (Zimbabue); Tucurui (Brasil); Pak Mum (Tailandia); Glomma and Laagen (Noruega) y Orange River (South Africa).



Presa de José Torán. Objetivo: Regadío.

- ▼ Estudio general sobre dos (2) países (India y China).
- ▼ Contraste de ciento veinticinco (125) presas localizadas en cincuenta y dos (52) países.
- ▼ Revisión de diecisiete (17) temas relativos a cinco (5) aspectos del debate; social; ambiental; económico y financiero; técnico y de planificación.
- ▼ Cuatro (4) reuniones regionales.
- ▼ Novecientos cuarenta y siete (947) informes enviados por instituciones y personas de manera voluntaria y sin que mediara petición, al menos oficial, de la W.C.D.

3. CONTENIDO DEL INFORME PRESAS Y DESARROLLO (PyD)

Es muy probable que, desde el principio, los redactores del PyD se dieran cuenta de que los objetivos previstos para su trabajo en la reunión de Gland no eran los más adecuados porque si empleando las palabras de su propio Presidente se centraban en responder a la pregunta *¿Son las presas nuestra única herramienta, nuestra mejor herramienta para resolver los problemas de agua y energía?* no se necesitaba mucha investigación para contestarla, ya que es evidente que las presas no son la única alternativa para resolver los problemas de suministro y energía y pueden ser, o no, la mejor solución según sean las circunstancias específicas de cada caso. Es muy probable que por ello hayan derivado su informe hacia temas más

ligados al desarrollo de los recursos naturales, teniendo que hacer en muchas ocasiones *juegos malabares* en el PyD para introducir referencias a las presas.

En definitiva el PyD se divide en dos partes; en la primera se intenta contestar al primero de los dos mandatos recibidos –es decir, al relativo a *revisar la eficacia de las grandes presas y determinar alternativas para el desarrollo de los recursos de agua y energía*–, mientras que en la segunda introducen una *propuesta marco para la identificación de alternativas y la determinación de procesos de decisión en el desarrollo de dichos recursos naturales*, que acompañan de los criterios, directrices y normas que les solicitaron en principio pero que, en la mayoría de los casos, se pueden aplicar tanto a las presas como a cualquier otra alternativa.

4. PRIMERA PARTE DEL PyD. LA REVISIÓN GLOBAL

4.1. DESGLOSE EN CAPÍTULOS

El PyD adjudica el pomposo título de **Revisión Global** de las Grandes Presas a la primera y extensa parte –ciento treinta páginas del documento– que, como se comprobará posteriormente, de **global** tiene poco; ni por el número de presas analizadas, ni por los aspectos revisados y desde luego mucho menos por su imparcialidad. Se desglosa en cinco capítulos, cada uno de los cuales tiene el siguiente objetivo:

▼ a) **Comportamiento técnico, financiero y económico;** como su propio nombre indica trata de *revisar* estos aspectos a lo largo de la trayectoria de las presas en el pasado.

▼ b) **Comportamiento ambiental;** analiza los procedimientos utilizados y su repercusión sobre los ecosistemas y el clima.

▼ c) **Comportamiento social;** se evalúa la repercusión de las presas sobre las personas afectadas –especialmente sobre los reasentados– así como sobre la distribución de beneficios y costes de los proyectos de presas.

▼ d) **Alternativas para el desarrollo de los recursos de agua y energía;** se estudian, muy someramente por supuesto, otras posibilidades de satisfacer las necesidades de agua para los riegos, el abasto a poblaciones, la generación de energía y el control de avenidas.

▼ e) **Toma de decisiones, planificación y acuerdos institucionales;** reseña y comenta la forma en que estos aspectos influyen sobre el desarrollo de los recursos de agua y energía y sobre la selección, proyecto, construcción y explotación de las presas.

4.2. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Los comentarios que el análisis de esta primera parte del **PyD** han suscitado al autor del artículo se han dividido en dos grupos: a) los de tipo general y b) los relativos a los temas específicos que se *examinan* en esta parte del **PyD**.

4.2.1. Matizaciones de carácter general

Del análisis de los cinco capítulos dedicados a la *revisión global* se extraen las siguientes conclusiones de índole general.

▼ i) El tamaño de la *muestra* utilizada es inaceptable, desde el punto de vista estadístico, para proporcionar conclusiones generales como el **PyD** se atreve a hacer en numerosas ocasiones. Para justificar esta aseveración basta tener en cuenta que, como es bien sabido, **I.C.O.L.D.** tiene registradas más de cuarenta y cinco mil (45 000) presas en todo el mundo y el número utilizado en cada uno de los análisis de temas específicos –que luego se detalla al comentarlos– es siempre inferior a cien (100).

▼ ii) Aunque el **PyD** reconoce explícitamente, en breves frases, que *...las presas han hecho una importante contribución al desarrollo humano y los beneficios derivados han sido muy considerables...* no existe la mínima cuantificación relativa a estos beneficios, en contra de la postura del **PyD** relativa a la identificación y cuantificación de los daños producidos por las presas a las que dedica la mayor parte de su discurso.

▼ iii) La lectura del **PyD** produce la impresión de que las presas siempre se han construido como si fueran un fin en

si mismas. Nunca se acepta, explícitamente, que son una solución a un problema de suministro de agua o energía que en su momento fue seleccionada como la más adecuada teniendo en cuenta la información, los medios y las tecnologías disponibles.

▼ iv) La mayor parte de las conclusiones que obtiene no son aplicables a los países industrializados ni por supuesto a España ya que en nuestro país existen instrumentos legales desde 1902 –sucesivamente actualizados– para el proyecto, construcción y explotación de presas, donde cualquier infraestructura a construir debe pasar por un proceso de información pública y donde las evaluaciones de impacto ambiental son obligatorias hace ya quince años.

▼ v) El **PyD** parece entender que las presas solamente afectan –por supuesto negativamente– a las personas cuyas casas o tierras quedan inundadas o su procedimiento de ganarse la vida queda modificado por ellas. En ningún caso hace referencia a las poblaciones, generalmente mucho más numerosas, que mejoran sus condiciones de bienestar ni a la creación de riqueza que se produce con el suministro de agua o energía que garantiza la presa. Esto no quiere decir que las compensaciones que deben recibir los afectados negativamente hayan sido siempre las justas –ni las económicas ni las sociales– lo que, obviamente, es un aspecto a evitar siempre en el futuro re-entendiendo, hasta donde sea posible, los errores del pasado.

▼ vi) Los costes medios que el **PyD** deduce para las presas –8.000 M pta por unidad– son una exageración sin ninguna base de datos cuantificados. En España las estimaciones realizadas¹ indican que, para nuestras más de mil doscientas presas, un precio medio bastante ajustado es el de 2 200 M pta en valores actuales.

▼ vii) El análisis efectuado –aún con la amplitud insuficiente de las muestras– sugiere, sin embargo, que existe considerable campo para incrementar las técnicas de selección de proyectos así como para mejorar la explotación de las grandes presas existentes. También se demuestra que no se han realizado suficientes análisis *ex post* lo que dificulta la obtención de conclusiones objetivas. Estas observaciones, que son ciertas, no son específicas ni propias sólo de las grandes presas; en la inmensa mayoría de las construcciones, infraestructuras, equipamientos, etc, realizadas por el hombre en décadas pasadas hay posibilidades de perfeccionamiento –entre otras cosas porque las tecnologías avanzan– y sería conveniente, desde luego, que proliferaran mucho más los análisis realizados después de su puesta en explotación. El nuevo **Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses** de España (1996) obliga a que se hagan revisiones, con una periodicidad que depende de la clasificación frente al riesgo potencial de la presa; esta

(1) **EL PATRIMONIO DE LAS OBRAS PÚBLICAS.** Revista O.P. n.º 40. Eugenio Vallarino y J. Alberto Herreras.



Presa de Aldeadávila. Objetivo: Generación eléctrica.

revisión se refiere lógicamente a la seguridad de la presa, por lo que sería conveniente incluir el análisis relativo al cumplimiento de los objetivos del embalse, de sus efectos sobre el medio ambiente y de las repercusiones sociales que ha producido.

4.2.2. Comentarios específicos

Con objeto de proporcionar una idea más clara de la parcialidad y tendenciosidad de esta primera parte del **PyD** se incluyen y comentan a continuación algunas de sus afirmaciones relativas a aspectos específicos.

Sobrecostes. El **PyD** indica que el resultado global obtenido en las ochenta y una (81) presas analizadas es que el incremento sobre el presupuesto inicialmente previsto es del 56%. Destaca que, de todas formas, la mayor parte de la infravaloración inicial se debe a errores en los valores estimados para la inflación, lo que no deja de ser bastante sorprendente teniendo en cuenta que en su mayoría son presas financiadas por Bancos y Agencias de Crédito; en todo caso esta cifra de sobrecoste disminuye al 21%, siempre según el **PyD**, cuando se corrigen los efectos de la inflación. Una desviación del orden

del 20% en una estructura tan compleja como una presa sujeta a *sorpresas* en las características estimadas para la cimentación no es, en mi opinión, una cifra exagerada ni se puede comparar, como hace el **PyD**, con las menores desviaciones que se producen en proyectos industriales como son las plantas térmicas.

Ampliación de los plazos previstos. De una muestra de noventa y nueve (99) presas el **PyD** llega a la conclusión de que solamente la mitad iniciaron su servicio en los plazos previstos. Otro estudio del **B.M.** dedujo que el retraso de una serie de presas hidroeléctricas financiadas por él fue del 28%, prácticamente igual al 30% que se produjo en el caso de plantas térmicas.

Presas para el riego. El **PyD** revisa al tema de las zonas regables y, curiosamente, adjudica a las presas que suministran el agua que las alimenta todos los males que observa: desde el retraso en lograr el desarrollo de todo el área regable inicialmente prevista hasta la falta de eficacia en el riego de las parcelas, pasando por los tipos de cultivos seleccionados o el rendimiento conseguido en las explotaciones agrícolas. Es cierto que todas estas circunstancias se han producido en el desarrollo de zonas regables ...pero no será por culpa de las

presas. Antes al contrario, lo que ha sido más frecuente es que las presas se hayan terminado sin que toda la infraestructura de riego esté disponible; claro está que una zona regable de gran extensión como es a las que se refiere generalmente el **PyD** tarda varios años en *madurar* y no siempre se pueden construir las presas por etapas, adecuando su puesta en servicio a las necesidades del riego. Se supone que este aspecto es uno de los que se debe estudiar en los análisis económicos previos a la decisión de ejecutar el proyecto.

El **PyD** analiza después los problemas económicos y financieros de las zonas regables –que obviamente no son sólo ni mucho menos los de las presas involucradas en el suministro de agua– y llega a la conclusión de que en el pasado se ha medido su viabilidad económica y financiera mediante la aplicación de los **T.I.R.** –tasa interna de retorno– y que muchas de ellas no han alcanzado los valores inicialmente estimados; así, por ejemplo, cita análisis *expost* realizados por el **B.M.**, a los seis u ocho años después de la terminación, en los que un **T.I.R.** medio inicial de 17,7 % había descendido al 9,3%. En esta ocasión el **PyD** reconoce paladinamente que esta disminución no es toda aplicable a las presas ...pero no la cuantifica.

El **PyD** llama la atención sobre el hecho de que muchos desarrollos de zonas regables no han recuperado los costes de inversión –en algunos casos ni siquiera todos los de explotación y conservación–, pero reconoce que los gobiernos tienen derecho a subsidiar determinados sectores productivos. A partir de esta observación –y de otras semejantes para presas dedicadas a otros servicios– llega a una conclusión que repite después innumerables veces; se trata del reparto de los beneficios que producen las presas, ya que en su opinión las personas directamente afectadas –especialmente en los países en vías de desarrollo– no participan en dicho reparto en la medida adecuada.

Presas hidroeléctricas. Se supone que el **PyD** estaba tratando de encontrar conclusiones de tipo general, lo que mal se puede hacer con una muestra de sesenta y tres (63) presas. En esta ocasión no tienen más remedio que admitir que **como media** las presas hidroeléctricas alcanzaron sus objetivos pero, tal vez para que no falte siempre algún matiz negativo, añaden enseguida ...*pero que con una gran variabilidad y muchas de ellas en el lado negativo.*

Nuevamente señalan que existen muy pocos estudios de evaluación *expost* –lo que sin duda es verdad y debería ser remediado– y comentan que muchas presas hidroeléctricas han incrementado su eficacia y rentabilidad debido al incremento de potencia instalada posterior al previsto inicialmente; no indican que en muchos casos tal incremento es posible gracias a una mayor regulación conseguida por otras presas situadas aguas arriba. Sí comentan, sin embargo, que es frecuente que las presas tengan una vida útil superior a la prevista, pero no hacen ninguna estimación de lo que supone tal circunstancia en el rendimiento económico; tampoco se llama la atención sobre el incremento del precio de los combustibles fósiles y su

influencia sobre el rendimiento económico supuesto al evaluar alternativas térmicas a las presas de generación eléctrica.

Presas para el abastecimiento de poblaciones. A partir del análisis de una muestra de veintinueve (29) presas dedicadas a prestar este servicio concluyen que existe una tendencia al sobredimensionamiento de los embalses correspondientes debido a estimaciones erróneas, ya sea sobre el crecimiento de la población o de las dotaciones unitarias previstas; como casi siempre el **PyD** *se cubre* añadiendo que los análisis fueron realizados en los primeros años después de la puesta en servicio de las presas ...por lo que evidentemente podían no haber llegado todavía a la situación de *crucero* prevista para su servicio.

El **PyD** indica que gran parte de las presas para abastecimiento –en general los proyectos de abasto y saneamiento– no recuperan los costes de inversión como consecuencia de que las tarifas que se utilizan son demasiado bajas. Con independencia de que ésta sea una conclusión mucho más aplicable a los países en vías de desarrollo –donde los gobiernos acometen, o acometían, este tipo de proyectos como un *gasto social*– es bien sabido que la política actual de las Agencias de Crédito es la de privatizar la gestión de estos servicios, de manera que las necesarias inversiones se realicen con capital privado y los gobiernos subsidien a una parte importante de la población –de forma directa o indirecta– a fin de que las tarifas utilizadas sean las necesarias para conseguir el equilibrio económico-financiero.

Presas de laminación de avenidas. En el análisis que ha hecho la **W.C.D.** sobre las presas que tienen como objetivo la protección contra las inundaciones es donde, probablemente, se muestra más tendencioso el **PyD**. Basta para demostrarlo extraer literalmente algunas de sus aseveraciones; por ejemplo cuando reseña las siguientes frases:

- ▼ a) La evidencia confirma que mientras las presas han proporcionado importantes beneficios en el control de avenidas *algunas presas han incrementado la vulnerabilidad de las comunidades ribereñas ante las inundaciones.*
- ▼ b) Al comentar el incremento del peligro dice, textualmente, *Aunque son casos raros, las roturas de presas ocurren durante tormentas excepcionales y las comunidades de aguas abajo quedan sujetas a inundaciones extremas amplificadas por la rotura de la presa.*
- ▼ c) *A menudo las comunidades se han adaptado al nivel de protección normalmente proporcionado y los planes de emergencia –o su desarrollo– han sido inadecuados.*

El **PyD** sigue analizando la cuestión de las inundaciones en general y llega a la sorprendente conclusión de que probablemente es mejor dejar que sigan produciéndose, y la gente esté acostumbrada a ellas, porque en caso contrario –además de afectar a los ecosistemas– cuando llegan las crecidas excepcionales se producen daños mucho mayores. **Deben referirse a la gente que sobrevive a las inundaciones.**

El problema con el **PyD**, como ya se ha dicho, es que hace un análisis adecuado de la situación –como es la conclusión de que lo mejor para luchar contra las inundaciones es hacer un estudio integral y emplear, en cada caso, alternativas estructurales y/o de gestión–, reconoce de pasada los beneficios que introducen las presas y luego emplea páginas y páginas en describir las dificultades para resolver el problema o presenta casos aislados negativos, procurando dejar la impresión de que *las malas de la película* son las presas.

Aspectos adicionales. En el tema de la sedimentación se llega a la conclusión –después del análisis de una *amplia* muestra de cuarenta y siete (47) presas– que la capacidad de los embalses disminuye el 1% anualmente. Los estudios, mucho más serios, realizados por el **CEDEX** (C. Avendaño *et al*) sobre una muestra de más de cien (100) presas de nuestro país permitieron concluir que la vida útil media de nuestras presas más amenazadas a este respecto sería superior a los doscientos (200) años. Se llama la atención sobre el hecho de que para que los estudios realizados por la **W.C.D.** fueran de precisión comparable al citado para España –ya que pretende extraer conclusiones generales para todo el planeta– deberían haber analizado del orden de cuatro mil quinientas (4 500) presas; es decir **cien veces más de las que ha revisado**.

La tendencia negativa del **PyD** sobre las presas se demuestra, una vez más, cuando analiza el problema del incremento de salinización y de pérdida de permeabilidad que sufren muchas superficies bajo riego en el planeta ¿También es culpa de las presas? ¿No será un problema de falta de drenaje y de mal manejo del agua?.

Aspectos ambientales. Como era de esperar teniendo en cuenta las razones que motivaron la reunión de Gland el **PyD** dedica una gran extensión y atención al tema de los efectos sobre el medio ambiente. Aunque, como siempre, sus conclusiones están basadas en el análisis de un número inaceptablemente pequeño de datos para una *revisión global* merece la pena reseñar sus conclusiones y recomendaciones al respecto. Las más destacables son las siguientes:

▼ a) La inundación que produce el embalse genera pérdidas de bosques y hábitat para la *vida salvaje*, así como la disminución del número de especies y la degradación de la cuenca vertiente. Si bien las dos primeras aseveraciones son evidentes es difícil imaginar las razones por las que un embalse degrada a su cuenca afluente.

▼ b) Las grandes presas producen la emisión de gases de efecto invernadero debido a la putrefacción de la vegetación. Además de que es evidente que si como es obligado se deforesta el vaso antes de embalsar no se producirá putrefacción de los árboles, lo más asombroso de esta conclusión es que se basa en el análisis de quince (15) casos y aunque el propio **PyD** dice que algunos de los valores de emisión encontrados son extremadamente bajos, y pueden ser hasta diez (10) veces menores que los de la planta tér-

mica alternativa, se apresura a incluir el comentario de que *en algunas circunstancias* las emisiones pueden ser considerables y *posiblemente* mayores que dichas alternativas térmicas.

▼ c) Las grandes presas generan la pérdida de biodiversidad acuática, de pesquerías aguas arriba y aguas abajo y los servicios de las llanuras de inundación, zonas húmedas, estuarios y de los ecosistemas marinos adyacentes.

▼ d) Algunos embalses facilitan la creación de zonas húmedas periféricas con oportunidades para los peces y las aves acuáticas. Este efecto es bien conocido y extremadamente amplio en España como se indica y cuantifica en el libro **EMBALSES Y MEDIO AMBIENTE** que después se glosa.

▼ e) Los efectos sobre los ecosistemas son más negativos que positivos y han conducido, en muchos casos, a la pérdida irreversible de especies y ecosistemas. De acuerdo con el análisis del **PyD** –sobre una muestra pequeña– las dos terceras partes de los efectos registrados sobre los ecosistemas fueron negativos y sólo una tercera parte positivos.

Los resultados y recomendaciones que hace respecto a los aspectos ambientales son los siguientes:

▼ i) No es posible mitigar muchos de los efectos de la creación del embalse sobre los ecosistemas terrestres y la biodiversidad; los esfuerzos realizados para *rescatar la vida salvaje* han tenido poco éxito sostenible.

▼ ii) El empleo de *escalas de peces* para superar la interrupción del cauce natural ha tenido poco éxito debido a que la tecnología empleada no ha sido específicamente estudiada para los casos y especies involucrados.

▼ iii) Los buenos resultados en las medidas de mitigación exigen de la existencia de una buena información básica y de la temprana colaboración entre los ecólogos, el equipo de proyectistas y el personal afectado. También es necesario controlar y evaluar, regularmente, la eficacia de las medidas previstas.

▼ iv) Se está incrementando, en numerosos lugares, el empleo de caudales *ecológicos* –incluyendo la creación de avenidas artificiales– a fin de reducir los impactos que producen los cambios en el régimen hidrológico de los ríos sobre los ecosistemas, tanto fluviales como de las llanuras de inundación y de los costeros.

▼ v) Los efectos negativos sobre los ecosistemas pueden eliminarse, al menos minimizarse, mediante medidas legislativas que reserven determinados tramos de los ríos para que permanezcan en condiciones naturales, o empleando los afluentes para situar las presas en lugar de emplazarlas sobre los ríos principales.

El **COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL**, en colaboración con la **DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS**, publicó



Presa de El Atazar. Objetivo: Abastecimiento a Madrid.

en 1994 el libro denominado **Embalses y Medio Ambiente** en el que se analiza –con mucha mayor profundidad que en el **PyD**– toda la problemática ambiental de presas y embalses; a este fin se describen las actuaciones en ciento sesenta y tres (163) presas sobre veintiún (21) afecciones que se refieren a la modificación del régimen del río, la deforestación previa del vaso, la calidad del agua, los reasentamientos, las afecciones al patrimonio cultural, la integración paisajística, etc. Por supuesto también se analiza en dicho documento la normativa legal actual y los resultados que se han producido desde su aplicación. Puede concluirse, por lo tanto, que el conocimiento que tenemos de la realidad de nuestro país sobre el tema ambiental es muy superior a la que nos puede proporcionar el **PyD** y que la mayoría de sus recomendaciones hace tiempo que han sido normalizadas y se ejecutan continuamente.

Aspectos sociales. El **PyD** dedica también gran número de páginas a este respecto –más de treinta– que es de enorme trascendencia en algunos países en vías de desarrollo, ya que en numerosas ocasiones los derechos de los pueblos afectados no se han tenido en cuenta; precisamente la defensa de estos pueblos está en la base de muchas de las actividades de las **ONG's** contrarias a las presas. La polémica está, en mi opinión, desenfocada porque no se trata de si las presas eran ne-

cesarias, o no, o de si eran la mejor solución; la realidad estriba en que no se respetaron los derechos de la gente afectada. Ni se les reasentó de una forma digna, teniendo en cuenta sus peculiaridades culturales, ni se les proporcionó un procedimiento para ganarse la vida semejante al que conocían y había sido la base de su existencia durante siglos.

De lo expuesto se deduce que la inmensa mayoría de las conclusiones relativas a este tema no son aplicables en nuestro país. Es interesante, sin embargo, destacar la frecuencia e intensidad con que el **PyD** reclama que en los beneficios que producen las presas se incluya a los pueblos directamente afectados porque esta propuesta si podría ser aplicable en España.

4.3. ALTERNATIVAS PARA EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE AGUA Y ENERGÍA

Este capítulo no añade nada nuevo y es completamente convencional; además está mucho menos actualizado que la realidad española donde los trabajos realizados con motivo de la redacción de los Planes Hidrológicos de cuenca y del Plan Hidrológico Nacional han desarrollado, de forma muy destacada, las tecnologías de identificación y evaluación de alternativas. En todo caso se indican a continuación sus propuestas

que, como puede comprobarse, no son prácticamente aplicables en nuestro país.

▼ a) **Sector de riego y agrícola.** Incrementar la productividad de los sistemas de riego existentes, y emplear alternativas a las presas basadas en los cultivos de secano y el empleo de métodos locales –pequeños y tradicionales– en el manejo y recolección de agua, incluyendo métodos de recarga de acuíferos.

▼ b) **Energía.** Incrementar la eficiencia en el uso y emplear energías renovables. Los sistemas descentralizados y opciones de pequeña escala basadas en las energías renovables ofrecen las mejores posibilidades a las áreas rurales, tanto a medio como a largo plazo.

▼ c) **Abastecimiento a la población.** Revitalizar las fuentes existentes, introducir estrategias apropiadas de precios, animar la creación de mercados del agua justos y sostenibles, reciclar y reusar el agua y emplear procedimientos locales para recoger las aguas de lluvia.

▼ d) **Control de inundaciones.** Manejar las avenidas para minimizar los daños y maximizar los beneficios ecológicos. Utilizar estrategias integradas, basadas en el empleo conjunto de medios estructurales, de gestión, tecnológicos y políticos con el fin de reducir la vulnerabilidad de las comunidades amenazadas.

4.4. TOMA DE DECISIONES, PLANIFICACIÓN Y ACUERDOS INSTITUCIONALES

4.4.1. Toma de decisiones

El **PyD** analiza en primer lugar los procedimientos y los condicionantes mediante los que se ha decidido en el pasado la construcción de las grandes presas. Entre sus conclusiones pueden destacarse las siguientes –la mayoría de las cuales están establecidas en análisis previos ampliamente conocidos– que se matizan para el caso español:

▼ a) La mayor parte de los promotores y ejecutores de presas han sido agencias estatales, centralizadas y burocratizadas, que han utilizado esta alternativa como una de las pocas disponibles para resolver los problemas de suministro de agua y energía. A este respecto debe tenerse en cuenta que no es lo mismo tener que resolver problemas partiendo prácticamente de cero –como ha ocurrido en el pasado– que satisfacer los déficit actuales y los crecimientos previstos para el futuro. Claro está que cuando, como en España, los embalses ya han logrado convertir en disponibles el 40% de las aportaciones medias anuales –frente al 8% que se consigue de forma natural– se pueden encontrar, al menos estudiar, otro tipo de soluciones en algunas ocasiones, pero si no existiera ya esa disponibilidad de agua conseguida con los embalses construidos no se podría reutilizar, ni reciclar,

ni hacer políticas de gestión de la demanda ...sencillamente porque esa demanda no existiría. No es posible suministrar agua a un país de cuarenta (40) millones de habitantes, con sesenta (60) millones de turistas al año y tres millones y medio (3,5 M) de hectáreas en regadío, sin unas disponibilidades mínimas de agua que desde luego no se producen de forma natural. España, y muchos otros países áridos y semiáridos, no existiría como es hoy sin la regulación de sus recursos hídricos que se ha logrado con las presas.

▼ b) La asistencia y financiación exterior ha permitido y estimulado la instalación de grandes presas en los países en vías de desarrollo donde se han invertido más de cuatro mil (4 000) millones de dólares anualmente en la etapa 1975-1985. Esta conclusión no parece que sea un ataque a las presas ya que parece evidente que ni las presas, ni las escuelas, hospitales, carreteras, puertos, etc, se pueden hacer sin los fondos necesarios. Para facilitar los préstamos necesarios, normalmente con créditos *blandos*, es para lo que se crearon las Agencias y Bancos de Crédito.

▼ c) Se ha producido un fallo general por cuanto se refiere a identificar al personal afectado y proporcionarles el derecho a intervenir en la toma de decisiones.

▼ d) La falta de entendimiento entre los Estados de cuencas hidrográficas compartidas ha producido graves enfrentamientos y conflictos, ya que la decisión unilateral de construir presas en un país altera las aportaciones hídricas y produce consecuencias significativas en los de aguas abajo. En realidad lo que ocurre es que los países se han considerado y, en general, siguen considerándose completamente soberanos para decidir la forma de incrementar su producción y utilizar sus recursos naturales de la manera que creen es más adecuada a sus intereses, sin tener muy en cuenta intereses solidarios; pero esto no sólo ocurre con los recursos de agua y, cuando esa es la solución de aprovechamiento, con las presas. Una sugerencia interesante que hace el **PyD** es la de realizar planes de desarrollo regional globales en las cuencas compartidas de manera que se puedan lograr beneficios para todos y no disputar, a menudo inútilmente, sobre el agua. Sería un ejemplo que les brindo el caso de que Turquía e Iraq logaran un acuerdo, sobre la cuenca del Tigris, en base a que Turquía garantizara determinados caudales de su cuenca de aguas arriba contra el compromiso de Iraq relativo a utilizar precios especiales en el petróleo suministrado a Turquía.

4.5.2. Planificación

Conforme se acerca a su segunda parte el **PyD** se desliza hacia la necesidad de realizar planificación previa en la que se analicen todas las alternativas y en cuyo estudio y decisión final participen todos los agentes afectados. No cabe duda de que tal planteamiento es de lo más aceptable y el que se realiza en la inmensa mayoría de los lugares y, por supuesto, en



Presa de El Limonero. Objetivo: Protección contra las inundaciones.

España. Este procedimiento no se debe utilizar sólo con los recursos de agua y energía sino con la satisfacción de cualquier necesidad, especialmente si es pública. El **PyD** –aunque estoy seguro que sus autores lo saben– no se molesta ni una sola vez en glosar que los procedimientos disponibles hoy día no son los mismos utilizables hace años ni por cuanto se refiere a los conocimientos técnicos, ni a la evaluación económica y ambiental ni a la preocupación social. Parece como si fuera en el campo de las grandes presas en el único que ésto ha sucedido ...y la culpa la tengan las presas.

4.5.3. Acuerdos institucionales

Al analizar el papel de las instituciones, y de sus interrelaciones, en el tema de las grandes presas el **PyD** reseña varias consideraciones fruto de su investigación. Algunas de ellas estoy seguro que serán bastante controvertidas y desde luego no creo que tengan el carácter general que el **PyD** pretende conferirles; por ejemplo las siguientes:

- ▼ a) En algunos casos la oportunidad de corrupción que proporcionan ha distorsionado la decisión.
- ▼ b) Los débiles marcos regulatorios y la falta de sanciones a nivel nacional –especialmente para la evaluación de alternativas y las necesidades ambientales y sociales– han contribuido a los pobres resultados alcanzados en los aspectos económicos, sociales y ambientales.
- ▼ c) Los grandes proyectos tienden a que exista poca transparencia pública en las negociaciones entre los gobiernos, los financiadores y los constructores.
- ▼ d) La falta de procedimientos de control limita las posibilidades de escrutinio público y atenúa la responsabilidad.
- ▼ e) No existen sanciones de nivel internacional para la falta de cumplimiento de las normas relativas al uso de las aguas de las cuencas compartidas.
- ▼ f) Entre las instituciones financieras internacionales existen muy pocas, si es que existen, que impongan sanciones a los miembros de sus equipos, o a los países re-

ceptores, cuando no se cumplen los objetivos de los acuerdos.

▼ g) En algunos países no existe oportunidad para que los grupos afectados puedan encontrar las vías del recurso, lo que disminuye la responsabilidad de los encargados del proyecto.

▼ h) La mayor parte de las Agencias de Crédito a la Exportación están empezando a desarrollar criterios y normas sobre los temas sociales y ambientales, pero no las han tenido antes; la falta de coordinación entre dichas normas genera la posibilidad de que proyectos cuya financiación se rechaza en algunas agencias puedan encontrarla en otras agencias con normas menos estrictas.

5. SEGUNDA PARTE. EL CAMINO HACIA EL FUTURO

5.1. CONTENIDO

Esta segunda parte consta de cuatro capítulos cuyo contenido general es el siguiente:

▼ 1. Presentar un marco de normativa dirigido a conseguir un desarrollo sostenible y equitativo y desarrollar una propuesta para negociar los proyectos de desarrollo de agua y energía basada en la consideración de identificar **Derechos** y evaluar **Riesgos**.

▼ 2. Reseñar una serie de siete estrategias prioritarias para guiar las decisiones a tomar.

▼ 3. Desarrollar una serie de criterios y directrices para realizar las estrategias citadas.

▼ 4. Proponer una serie de recomendaciones para lograr una acción concertada y simultánea entre todos los actores envueltos en el debate de las presas.

5.2. COMENTARIOS GENERALES

Así como la primera parte se dedica, fundamentalmente, a resaltar los defectos de las presas, esta segunda –mucho más seria y constructiva– tiene por objeto realizar una propuesta de cómo, a juicio de la **W.C.D.**, debería programarse desde el principio un proyecto de desarrollo de los recursos de agua y energía. Ya no se trata sólo de las presas –que, como es lógico, consideran una más de las alternativas disponibles– y sus propuestas son mucho más generales.

Los principios básicos en los que se basa toda esta segunda parte son los siguientes:

▼ a) Incrementar la eficacia y los resultados de los sistemas existentes

▼ b) Determinar mejor las necesidades de desarrollo y todas las opciones disponibles.

▼ c) Evitar y minimizar los efectos negativos a los ecosistemas.

▼ d) Garantizar que las personas desplazadas y afectadas por el proyecto en sus modos de vida resultan con un resultado netamente positivo.

▼ e) Desplazarse desde el sistema del puro balance para tomar decisiones a un procedimiento de análisis multicriterio.

▼ f) Resolver las pasadas iniquidades e injusticias y transformar al personal afectado en beneficiarios del proyecto.

▼ g) Realizar controles y revisiones periódicas.

▼ h) Desarrollar, ejecutar y regular incentivos, sanciones y mecanismos de recursos por incumplimiento, especialmente en las áreas sociales y ambientales.

Es evidente que este tipo de líneas maestras de planteamiento son plenamente aceptables y, como puede observarse, la **W.C.D.** a partir de este punto se *desmarca* de las presas y se dirige a los proyectos de desarrollo.

5.4. ESTRATEGIAS, CRITERIOS Y NORMAS PROPUESTAS

A continuación se incluye una lista de las siete (7) estrategias prioritarias propuestas por la **W.C.D.** así como de las veintiséis (26) directrices que deberán seguirse a fin de lograr cumplir los criterios que están en la base de su propuesta.

Estrategia 1. Incrementar la aceptación pública

▼ 1. Análisis de los grupos interesados y afectados

▼ 2. Negociar los procesos de decisión

▼ 3. Consenso previo, libre e informado

Estrategia 2. Análisis total de las alternativas

▼ 4. Evaluación de los impactos estratégicos relativos a aspectos ambientales, sociales, de salud y de herencia cultural.

▼ 5. Evaluación de los impactos del propio proyecto sobre los aspectos ambientales, sociales, de salud y de herencia cultural.

▼ 6. Análisis multicriterio.

▼ 7. Evaluación de la vida útil del proyecto.

▼ 8. Emisiones de gases de efecto invernadero.

▼ 9. Análisis de la distribución de costes y beneficios.

▼ 10. Valoración de los impactos sociales y ambientales.

▼ 11. Evaluación de los riesgos económicos.

Estrategia 3. Acondicionamiento de las presas existentes

▼ 12. Asegurar que las normas de explotación reflejan los asuntos sociales y ambientales.

- ▼ 13. Mejorar la gestión de los embalses.

Estrategia 4. Mantener los ríos y los medios de vida

- ▼ 14. Investigar los ecosistemas actuales.
- ▼ 15. Evaluar los flujos ecológicos.
- ▼ 16. Mantener productivas las pesquerías.

Estrategia 5. Reconocer Derechos y repartir Beneficios

- ▼ 17. Establecer las condiciones sociales actuales.
- ▼ 18. Análisis de los riesgos de empobrecimiento.
- ▼ 19. Ejecución del plan de acción relativo a la mitigación, reasentamiento y desarrollo.
- ▼ 20. Mecanismos para el reparto de beneficios del proyecto.

Estrategia 6. Asegurar el cumplimiento

- ▼ 21. Planes de cumplimiento.
- ▼ 22. Revisión, por paneles independientes, de los aspectos sociales y ambientales.
- ▼ 23. Avals de realización.
- ▼ 24. Fondos de garantía.
- ▼ 25. Pactos de integridad

Estrategia 7. Ríos compartidos para la paz, el desarrollo y la seguridad

- ▼ 26. Procedimientos para las cuencas compartidas.

5.5. EL FUTURO DE LA W.C.D.

El último capítulo –el décimo– del **PyD** se dedica en primer lugar a reseñar las conclusiones que considera probadas después de su análisis y que, debido a su interés e importancia, se incluyen a continuación:

- ▼ a) Las presas han hecho una importante y significativa contribución al desarrollo humano y los beneficios derivados han sido muy considerables.
- ▼ b) En muchos casos se ha pagado un inaceptable, a menudo innecesario, alto precio para conseguir estos beneficios; especialmente estos costes se han pagado en términos sociales y ambientales por el personal desplazado, las comunidades de aguas abajo, los que pagan impuestos y el medio ambiente.
- ▼ c) La falta de equidad en la distribución de los beneficios suscita la cuestión de si el valor de muchas presas para satisfacer las necesidades de agua y energía ha sido suficiente cuando se compara con otras alternativas.
- ▼ d) La integración en los debates de todos aquellos que tienen derechos involucrados, o pueden sufrir los riesgos asociados, en las diferentes alternativas de desarrollo de los re-

ursos de agua y energía crea las condiciones para alcanzar soluciones positivas a los conflictos y a los intereses en competencia.

- ▼ e) Los resultados de la negociación incrementarán la eficacia de los proyectos de recursos de agua y energía, eliminando alternativas indeseables en las primeras etapas; se seleccionarán solamente aquellas opciones que los afectados clave consideran las mejores para resolver los problemas planteados.

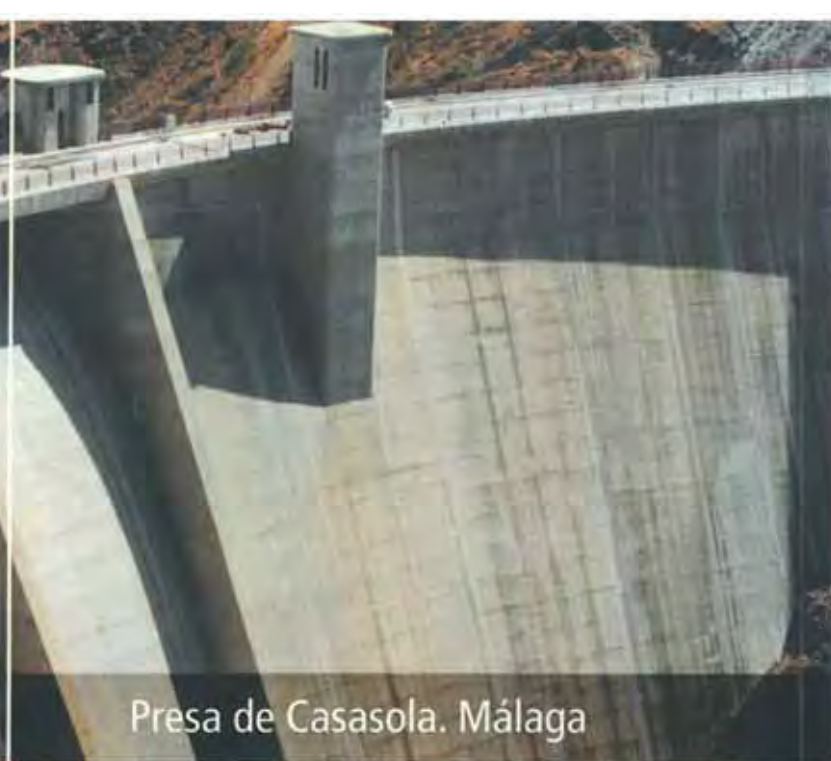
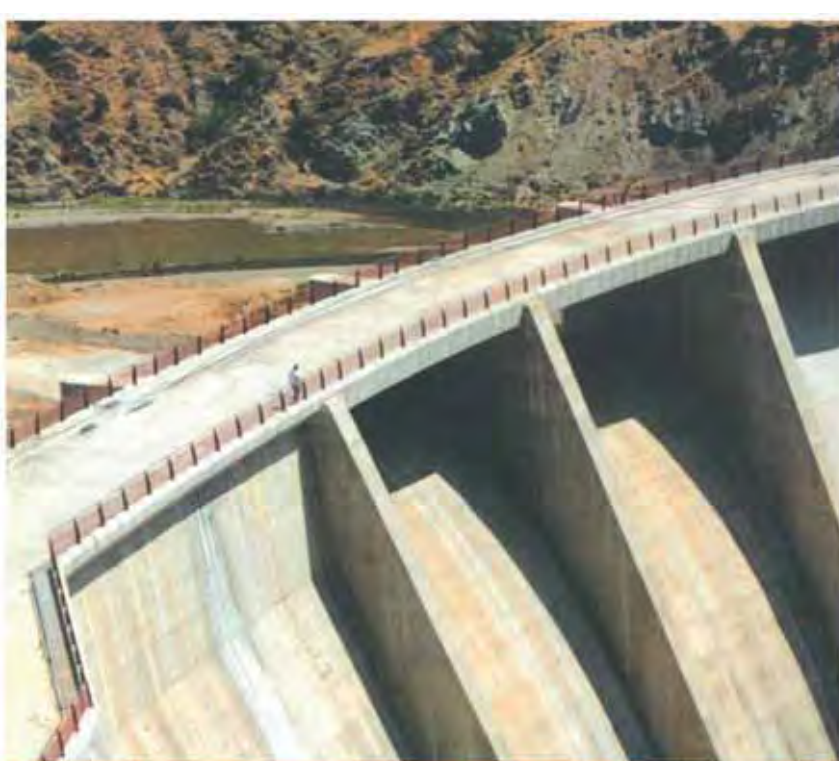
A partir de estas conclusiones, y de las estrategias propuestas, el **PyD** hace una serie de recomendaciones a gobiernos, ministerios involucrados, grupos de la sociedad civil, sectores privados, agencias multilaterales y bilaterales, bancos de desarrollo, organizaciones gubernamentales y centros universitarios y de investigación. De todas ellas es posible que la más sorprendente es la que hace a los gobiernos para que *...Introduzcan y promuevan una resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas para que bendiga la publicación del PyD, invite a los gobiernos a aceptar y ejecutar sus recomendaciones y trasmita el PyD al proceso RIO + 10 como un ejemplo positivo de la cooperación entre los diferentes participantes en un debate, lo que puede resultar en un avance significativo hacia el desarrollo sostenible.*

Finalmente como suele ocurrir con todas las organizaciones creadas para hacer un trabajo determinado y específico cuando lo acaban indican una serie de actividades, relacionadas con los proyectos de desarrollo de agua y energía, que podrían ser realizados por un organismo independiente como es la **W.C.D.**; supongo que es al logro de tal propósito al que están dedicando actualmente sus mayores esfuerzos.

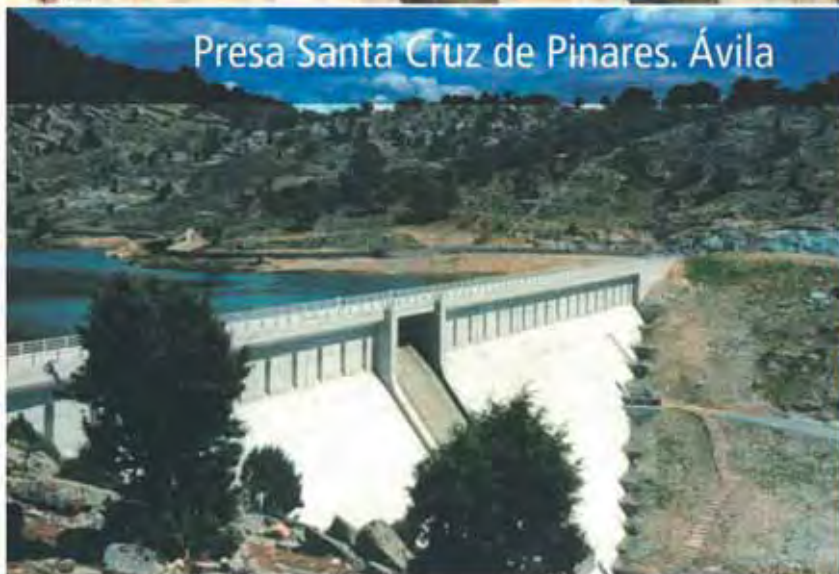
6. CONCLUSIÓN

El análisis de un documento tan extenso y con tantos datos como es el **PyD** no es fácil de resumir, por lo que me limitaré a recordar tres aspectos que considero cruciales:

- ▼ i) La **revisión global** que pretenden haber hecho no tiene suficiente base estadística; sus conclusiones siempre están dirigidas a resaltar defectos de las presas, sin cuantificar nunca los beneficios generados.
- ▼ ii) La inmensa mayoría de las propuestas se refieren a los aspectos sociales y ambientales. Recuerdan que se han cometido injusticias con los pueblos afectados y proponen que intervengan desde el principio en los proyectos de desarrollo y participen activamente en los beneficios y, en la medida que sea posible, que se recompensen los daños causados en el pasado.
- ▼ iii) La segunda parte del **PyD**, **El camino hacia el futuro**, es una propuesta de estrategias, directrices, normas, etc, que recomiendan y solicitan que se empleen en todos los proyectos de desarrollo de los recursos de agua y energía. ■



Presa de Casasola. Málaga



Presa Santa Cruz de Pinares. Ávila



Calidad y Tecnología

El compromiso de calidad, el respeto al medio ambiente, nuestra vocación de servicio y superación, hacen que FCC Construcción sea una apuesta permanente de progreso.

FCC CONSTRUCCION, S.A.

CON VISIÓN DE FUTURO