

Cuestiones del Congreso

Q-71: DETERIORO DE LOS SISTEMAS DE DESAGÜE

José Alberto Herreras Espino.

Dr. 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 71: Deterioro de los Sistemas de Desagüe, así como la contribución española a la misma en el Congreso de Grandes Presas de Durban (Sudafrica) en noviembre de 1994.

ABSTRACT

This article summarizes the General Report of Item 71 : "Deterioration of Drainage Systems", with the Spanish contribution to the subject during the Congress on Large Dams held in Durban (South Africa) in November, 1994.

1. TEMARIO DE LA CUESTIÓN 71

En 1992 -dos años antes de la celebración del Congreso en Durban- se eligió, como es habitual en ICOLD, el título general de la de Cuestion 71 que figura en cabecera y además se seleccionaron los aspectos sobre los que debían versar los informes que se presentaran; estos temas fueron los siguientes:

- a) Análisis del proceso de deterioro.
- b) Medidas tomadas durante la etapa de Proyecto para reducir el deterioro futuro.
- c) Explotación y mantenimiento de los sistemas hidráulicos: aliviaderos y desagües de fondo; detección de averías.
- d) Casos históricos de reparaciones, incluyendo los costes incurridos.

Antes de describir el informe del Ponente General -el brasileño Dr. Nelson Pinto- conviene citar que a esta Cuestión se presentaron cuarenta (40) informes, procedentes de veintiséis (26) países. De estos cuarenta informes España ha aportado cinco (5) lo que constituye la mayor contribución de un solo país; en páginas posteriores se describirán, brevemente, las aportaciones de los ingenieros españoles.

2. INFORME DEL PONENTE GENERAL

2.1. DEFINICIÓN Y DESGLOSE DE TEMAS

El Ponente General -en lo sucesivo P.G.- establece como definición del deterioro ...cualquier comportamiento defectuoso desde el punto de

vista de la seguridad o del funcionamiento... A continuación señala que el deterioro suele ser progresivo y puede incrementarse por mala explotación o incluso por las modificaciones que introduce la actualización de los Reglamentos que, normalmente, introducen condicionantes cada vez más exigentes por cuanto a la seguridad se refiere. A partir de estas premisas, y teniendo en cuenta que debe ceñir su exposición al temario ya citado, el P.G. desarrolla su ponencia en los tres grandes capítulos siguientes:

- a) El Proceso de deterioro
- b) Disposiciones del Proyecto para reducir el grado de deterioro
- c) Explotación y mantenimiento

El P.G. hace, como es lógico, frecuentes alusiones a los informes presentados -citándolos por su número- con el fin de apoyar las ideas expuestas. Si bien acaba con unas conclusiones generales aquí se ha preferido fundirlas con su descripción para evitar las repeticiones que de otra manera se producirían.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS INFORMES PRESENTADOS

En el cuadro adjunto se indica, para cada uno de los cuarenta informes presentados, las presas que en ellos se comentan, la altura de cada una de ellas, el año en que fue construida, el país donde está situada y, lo que es de fundamental importancia, tanto la estructura afectada por el deterioro como la tipología de éste. Debe tenerse en cuenta que algunos de los informes son de índole general y no se refieren a una presa, o grupo de presas, específico por lo que en el cuadro no se incluyen referencias a ellas, pero sí se reflejan el resto de datos del informe correspondiente.

2.3. EL PROCESO DE DETERIORO

El P.G. ha dividido el proceso de deterioro en cuatro temas diferentes: a) Cimentación; b) Hormigón; c) Procesos Hidráulicos, y d) Deterioro del equipamiento. Los dos primeros -Cimentación y Hormigón- los trata con menor detalle que el resto porque no eran los objetivos fundamentales de la Cuestión y, además, habían sido tratados excelentemente en Congresos recientes. En todo caso a

continuación se reseñan las principales declaraciones y conclusiones que al respecto establece en su informe.

2.3.1. Cimentación

Los comentarios se refieren únicamente a la deformación de la cimentación de las obras del aliviadero y de los dispositivos de disipación de energía, cuando son independientes de la propia presa, y se centran, fundamentalmente, en las filtraciones, erosiones internas y rotura de los sistemas de drenaje. Indica que en estos casos -obras independientes de la presa- es frecuente que tanto las rápidas de los aliviaderos como las obras de disipación de energía se cimenten sobre rocas de calidad cuestionable, o incluso sobre suelos, de manera que se producen asentamientos diferenciales que ocasionan desplazamientos de las placas, fisuras en el hormigón y apertura de las juntas; la acción de las presiones del agua a alta velocidad, a través de estos accidentes, acelera el proceso de deterioro de la cimentación.

También llama la atención sobre las filtraciones y el sifonamiento de materiales erosionables por cuanto pueden afectar al sistema de drenaje y generar subpresiones que amenacen la estabilidad de las estructuras. Las filtraciones pueden provocar la disolución de materiales yesíferos, u otras sales solubles, ocasionando el deterioro progresivo de las obras e incluso una erosión catastrófica.

2.3.2. Hormigón

Tanto los aliviaderos como las obras de disipación de energía se deterioran con la edad del hormigón por cuanto las características de éste se modifican con el tiempo y, eventualmente, pueden sobrepasar los límites de un funcionamiento aceptable. La mayoría de los casos de deterioro del hormigón provienen de su excesiva porosidad; esta circunstancia es mucho más frecuente en las estructuras construidas en la década de los años veinte cuando la tecnología del hormigón estaba en plena evolución y, además de colocarse con exceso de agua, no se utilizaban aireantes. La frecuencia del problema fue la razón por la que la primera Cuestión del primer Congreso de ICOLD -celebrado en 1933 en Estocolmo-tuvo por título, precisamente, *Deterioro en las presas de gravedad debido a la anigüedad del hormigón*.

PROCESOS DE DETERIORO

INFORME	PRESA		AÑO	PAIS	ESTRUCTURA AFECTADA	TIPO DE DETERIORO
	NOMBRE	ALTURA				
R.1	Jesenice	22	1961	República Checa	Rápida del aliviadero	Cimentación
R.1	Hracholusky	34	1964	República Checa	Rápida del aliviadero	Cimentación
R.1	Terlicko	28	1962	República Checa	Rápida del aliviadero	Cimentación
R.1	Mostiste	36	1961	República Checa	Aliviadero	Erosión
R.2	Burgkhammer	22	1932	Alemania	Aliviadero en sifón	Posible cavitación
R.3	Moehne	41	1910	Alemania	Desagüe de fondo	Sustitución de equipamiento
R.4	Ujjani	40	1980	India	Trampolín sumergido	Abrasión/Erosión
R.5	Soyang	123	1973	Corea	Colchón amortiguador	Deslizamiento de taludes//Erosión
R.6	Panix	53	1993	Suiza	Desagüe de fondo	Posible cavitación
R.7	Vidraru	166	1955	Rumania	Túnel de desagüe	Subpresión/Colapso del túnel
R.7	Baciu	34	1966	Rumania	Desagüe de fondo	Obstrucción por sedimentos
R.7	Vâlsan	24	1966	Rumania	Desagüe de fondo	Obstrucción por sedimentos
R.7	Cumpănita	33	1968	Rumania	Desagüe de fondo	Obstrucción por sedimentos
R.7	Vidra	121	1973	Rumania	Desagüe de fondo	Equipamiento/Abrasión
R.7	Negovanu	62	1961	Rumania	Válvula Howell Bungler	Equipamiento/Vibración
R.7	Isvorul Muntelui	127	1960	Rumania	Compuertas deslizantes	Equipamiento/Vibración
R.7	Jidoaia	50	1977	Rumania	Válvula de mariposa	Equipamiento/Vibración
R.7	Obrejii de Capalna	42	1986	Rumania	Compuerta radial	Equipamiento/Vibración
R.8	Mav_i_e	38	—	Eslovenia	Compuerta radial	Equipamiento/Autoapertura
R.9	Keban	163	1975	Turquía	Colchón amortiguador	Erosión
R.9	Karakaya	173	1987	Turquía	Colchón amortiguador	Erosión
R.9	Kiliçkaya	105	—	Turquía	Colchón amortiguador	Erosión
R.9	Menzelet	136	—	Turquía	Colchón amortiguador	Erosión
R.10	Seyhan	77	1956	Turquía	Trampolín	Subpresión
R.11	Hugh Keenleyside	58	1968	Canadá	Cuenca amortiguador	Abrasión/Cavitación
R.12	—	—	—	Canadá	Paramentos de presas	Abrasión/Erosión
R.13	Isle Maligne	40	1926	Canadá	Aliviadero	Deterioro del hormigón
R.14	Crestuma	37	—	Portugal	Aliviadero	Erosión
R.15	Guri	—	1968	Venezuela	Aliviadero	Cavitación
R.16	Mohamed V	64	1967	Marruecos	Cuenca amortiguador	Abrasión
R.17	Mellah	33	1931	Marruecos	Aliviadero	Deterioro del hormigón
R.18	Virdejavri	145	1987	Noruega	Túneles del aliviadero	Erosión
R.19	—	—	—	España	Mecanismos de desagüe	Cavitación

PROCESOS DE DETERIORO

INFORME	PRESA		AÑO	PAIS	ESTRUCTURA AFECTADA	TIPO DE DETERIORO
	NOMBRE	ALTURA				
R.20	Tranquera	81	1959	España	Desagüe de fondo	Equipamiento/Rehabilitación
R.21	Forata	68	—	España	Aliviadero/Desagües de fondo	Equipamiento
R.21	Foix	—	—	España	Desagüe de fondo	Obstrucción por sedimentos
R.21	Forcadas	21	—	España	Aliviadero/Desagües de fondo	Equipamiento/Substitución
R.21	Santolea	45	1930	España	Aliviadero/Desagües de fondo	Equipamiento
R.21	Guadarranque	71	—	España	Desagüe de fondo	Equipamiento
R.21	Camporredondo	76	—	España	Desagüe de fondo	Equipamiento
R.22	Orellana	63	1963	España	Desagüe de fondo	Equipamiento/Substitución
R.23	Varias	—	—	España	Mecanismos de desagüe	Equipamiento
R.24	Keban	163	1975	Turquía	Rápida del aliviadero	Cavitación
R.25	Saint-Pierre-de-Boeuf	28	1977	Francia	Cuenca amortiguador	Abrasión/Erosión
R.26	Tolla	88	1961	Francia	Desagüe de fondo	Equipamiento/Obstrucción por sedimentos
R.26	Peligre	70	1956	Haití	Cuenca amortiguador/Desagüe	Obstrucción por sedimentos / Abrasión
R.26	Djorf—Torba	37	1968	Argelia	Cuenca amortiguador	Subpresión
R.26	Saint—Frambault	16	1978	Francia	Cuenca amortiguador	Subpresión/Erosión
R.26	Vouglans	130	1969	Francia	Colchón amortiguador revestido	Subpresión
R.27	Tarbela	—	1975	Pakistán	Compuerta radial del aliviadero	Equipamiento/Caída de compuerta
R.28	—	—	—	Japón	Desagües de fondo	Obstrucción por sedimentos
R.29	Mistigau Site 4	—	—	Estados Unidos	Aliviadero en tierra	Erosión
R.29	Clear Creek Site 6	—	—	Estados Unidos	Aliviadero en tierra	Erosión
R.30	Painted Rock	55	1959	Estados Unidos	Aliviadero de emergencia	Erosión
R.31	Scheldt Oriental	—	—	Holanda	Compuertas	Equipamiento/Mantenimiento
R.32	Condorama	101	1985	Perú	Cuenca amortiguador	Subpresión
R.33	Paredão	21	1975	Brasil	Cuenca amortiguador	Subpresión
R.33	Poroy	29	1972	Bulgaria	Desagües de fondo	Cimentación
R.34	Mita Hills	—	1950	Zambia	Aliviadero sin revestir	Erosión
R.35	Varias	—	—	China	Aliviadero/Desagües de fondo	Carbonatación del hormigón
R.36	Curnera	153	1966	Suiza	Desagües de fondo	Cavitación potencial
R.37	Marico Bosveld	—	—	Sudáfrica	Aliviadero sin revestir	Erosión/Rotura del vertedero
R.38	Itaipu	196	1982	Brasil - Paraguay	Colchón amortiguador	Erosión
R.39	Sirikit	113	1974	Tailandia	Pilas en los desagües	Cavitación
R.40	Pitt 6	56	1965	Estados Unidos	Cuenca amortiguador	Cavitación/Daños estructurales

El P.G. ha clasificado los procesos de deterioro del hormigón en los tres grupos siguientes: a) Ciclos de hielo y deshielo; b) Reacción álcalis - áridos, y c) Aguas agresivas.

▼ CICLOS DE HIELO Y DESHIELO

El hormigón -como es bien sabido- puede deteriorarse debido a la acción del hielo, ya que la expansión que sufre el agua infiltrada en sus poros al helarse puede causar fisuras e incluso la desintegración de su superficie. Se han detectado casos en presas antiguas -construidas con hormigón sin aireantes- donde el deterioro del hormigón en masa ha llegado a tener una profundidad superior al metro, mientras que gran número de estructuras delgadas han sido completamente destruidas.

▼ REACCIÓN ÁLCALIS-ÁRIDOS

Los álcalis disueltos en el agua de mezclado -retenida más tarde como agua intersticial-pueden generar problemas en base a su eventual reacción con algunos componentes de los áridos como son los silicatos y carbonatos. El hecho de que en el Boletín 79 de ICOLD (1991) -*Reacción de los álcalis en las presas de hormigón*- se incluya una completa descripción del estado del arte sobre este tema y que, además, la Cuestión 65, *Envejecimiento de presas y métodos de reparación*, del Congreso inmediatamente anterior al de Durban -celebrado en Viena en 1991- también tuviera gran relación con este problema justifica que no se haya tratado más extensamente en este Congreso. En todo caso debe tenerse en cuenta que, por cuanto se refiere a los aliviaderos y a las obras de disipación de energía, el deterioro producido por este fenómeno se centra en las fisuras de las pilas de los aliviaderos, en la corrosión potencial de las armaduras del hormigón y en los desplazamientos que pueden descentrar las guías de las compuertas y producir su acodamiento.

▼ AGUAS AGRESIVAS

El P.G. comenta que el agua puede reaccionar agresivamente contra el hormigón ya sea debido a su pureza o a consecuencia de los componentes químicos disueltos. Recuerda que en el Boletín de ICOLD nº 71 (1989), *El hormigón de las presas expuesto a aguas agresivas*, se incluye un excelente estado del arte sobre este tema, basado en casos

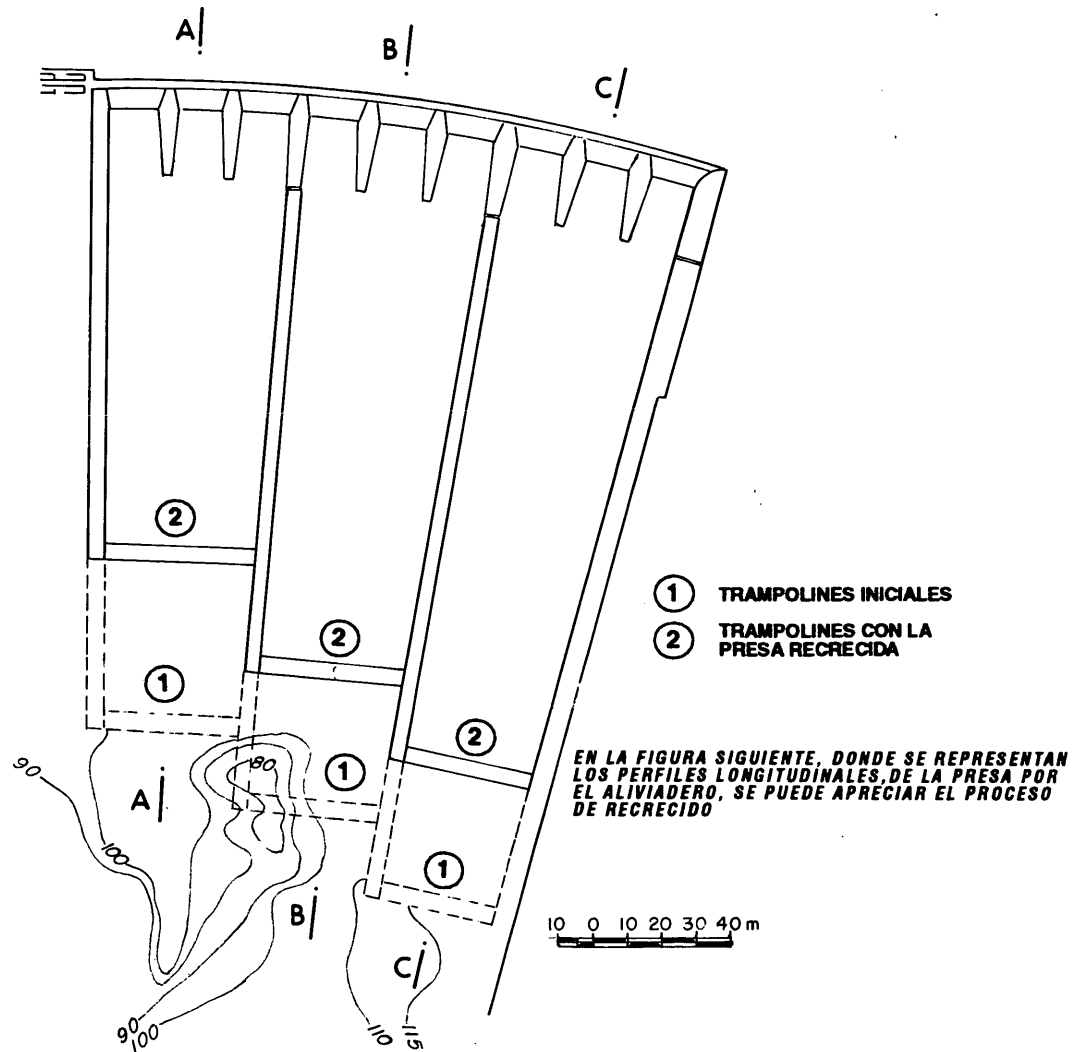
históricos, donde se describen los efectos agresivos del agua, se indican las áreas de alto riesgo, se comentan las consecuencias de tal ataque y se describen las medidas preventivas y los posibles métodos de recuperación.

Refiere que si bien las filtraciones no suelen causar problemas serios desde el punto de vista estructural, ni en los aliviaderos ni en las obras de desagüe, debe tenerse en cuenta que las dificultades inherentes a la colocación del hormigón en las zonas próximas a las juntas de estanqueidad puede hacerlas altamente vulnerables. Indica también que los depósitos de carbonatos suelen ser la causa principal de los desastres debido a que las irregularidades que producen estos depósitos ocasionan fenómenos de cavitación en las rápidas, donde se producen altas velocidades, y también en los aliviaderos en túnel y en los desagües de fondo.

Llama la atención sobre el ácido sulfuroso que se puede generar debido a la descomposición de la vegetación y de los suelos orgánicos en el embalse, ya que puede producir ácido sulfúrico que atacará al cemento y a los áridos calizos. Informa que el agua polucionada por usos domésticos e industriales -lo que es una realidad en todos los países industrializados- suele contener gran cantidad de sulfatos y nitratos que pueden conducir a la producción de ácidos sulfúrico y nítrico; finalmente comenta que aunque la lluvia ácida -que contiene dióxido sulfúrico- ha llegado a ser una fuente importante de acidez en los embalses no se ha registrado, hasta el momento, ningún caso de ataque al hormigón por esta causa.

2.3.3. Procesos hidráulicos

El P.G. trata sucesivamente cinco aspectos relacionados con los procesos hidráulicos que generan deterioros; se trata de los siguientes: a) Cavitación; b) Abrasión; c) Erosión; d) Sedimentos y materiales flotantes y e) Subpresión. Es natural que, en el marco de esta Cuestión 71, comente todos ellos de forma mucho más amplia que los dos anteriores; en todo caso se concentra principalmente en la cavitación para la que no solamente describe el proceso físico sino que también proporciona información sobre los resultados y consecuencias más frecuentes debidos a este fenómeno y acaba ilustrándolos con ejemplos muy recientes.



PRESA DE GURI. VENEZUELA
Aliviadero. Planta

▼ CAVITACIÓN

La cavitación ocurre en un líquido cuando la presión disminuye por debajo de cierto límite porque, en ese momento, las pequeñas burbujas de gas que existen dentro del flujo se hacen inestables y crecen rápidamente debido a la vaporización. Aunque la presión crítica para que crezcan las burbujas de vapor depende de la cantidad de gas no disuelto en las burbujas se puede suponer -desde el punto de vista práctico que interesa a las estructuras hidráulicas- que esta presión crítica es la del vapor de agua. Las condiciones críticas, por cuanto a la inestabilidad se refiere, ocu-

rren en las regiones de menor presión y mayor velocidad; las burbujas son barridas hacia regiones de alta presión y allí colapsan. La implosión de las burbujas genera ondas de presión, ruidos, vibraciones y, en definitiva, deterioros. Dado que los daños ocurren, más frecuentemente, en regiones donde se produce la separación de la capa límite debe tenerse en cuenta que las irregularidades abruptas en zonas de altas velocidades producen separación del flujo y bajas presiones.

La erosión por cavitación comienza con la corrosión de la superficie del mortero de cemento, de manera que las partículas de los áridos del hormigón quedan sueltas y son arrastradas por la co-

riente de agua. La erosión se profundiza progresivamente y se incrementa en dirección hacia agua abajo; a continuación la propia cavidad producida por la erosión actúa como una irregularidad e induce un proceso secuencial que erosiona zonas más grandes. Es característico de las áreas donde se ha producido cavitación que la erosión haya generado superficies de textura muy rugosa en la que incluso han desaparecido partículas de los áridos; cuando las superficies afectadas son de acero lo típico es que la textura sea granular.

El desarrollo de la capa límite es un aspecto básico en el fenómeno de la cavitación y afecta a la magnitud de los daños que produce. Las condiciones críticas se producen inmediatamente aguas abajo de los desagües de fondo donde se está formando la capa límite, las velocidades están uniformemente distribuidas y son muy altas porque corresponden a la máxima carga hidráulica. Por el contrario, en los flujos sobre los aliviaderos la velocidad se incrementa gradualmente y la capa límite crece progresivamente, de forma que las pequeñas irregularidades superficiales están protegidas de las altas velocidades. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que para velocidades cercanas o superiores a 40 m/s las variaciones de presión, debidas a fluctuaciones de turbulencia, son lo suficientemente intensas como para neutralizar la protección de la capa límite.

En las curvas verticales cóncavas la redistribución del flujo reduce en gran manera el efecto favorable de la capa límite; en tales lugares se producen velocidades muy altas cerca de la superficie del hormigón y es probable que la cavitación aparezca cerca de la salida de tal curva, donde la presión cerca de la solera se reduce repentinamente y se incrementa el grado de turbulencia. Numerosos deterioros en aliviaderos en túnel se han producido mediante este proceso.

La cavitación también se genera en aquellas regiones donde se crean vórtices de velocidades muy altas; el fenómeno es frecuente cuando la capa límite supera un obstáculo, o en las zonas donde se mezclan caudales con velocidades diferentes. Es frecuente que en los dispositivos de disipación de energía se produzcan vórtices, en forma de herradura, en las pilas y dados de disipación; si la presión se reduce hasta la presión de vapor se generan daños por cavitación tanto en la solera, cerca de los bloques de disipación, como en sus paredes laterales. Los cuencos de disipación de longitud reducida -donde la disipación de energía está encomendada a una solera inclinada o a da-

dos de choque- son muy proclives a que aparezcan zonas de cavitación, en especial si las velocidades exceden los 25 ó 30 m/s.

Flujos transversales, como los que se originan en cuencos sumergidos de longitud reducida debido a la explotación asimétrica de las compuertas del aliviadero, producen vórtices muy fuertes. Las aguas profundas, situadas aguas abajo de las compuertas cerradas, son arrastradas hacia la zona de flujo de aguas con velocidad elevada provenientes de la compuerta vecina abierta. El cizallamiento entre las dos masas de agua engendra vórtices, a lo largo de la superficie de contacto entre las dos corrientes, y crea una trayectoria a lo largo de la cual se producen bajas presiones. De esta manera se han producido daños por cavitación en cuencos anegados para cargas hidráulicas del orden de veinte metros. Condiciones similares se producen en los trampolines situados por debajo del nivel de aguas abajo como ocurrió en el aliviadero inicial de la presa de Guri (Venezuela).

Un fenómeno semejante ocurre en aquellos desagües de fondo que vierten en la misma zona de los aliviaderos cuando se explotan simultáneamente ambos dispositivos. Los vórtices también se generan por cizallamiento, a la salida de las compuertas, donde se mezclan los flujos a diferentes velocidades y los daños se concentran en el camino de los vórtices. El P.G. comenta después el ejemplo de la presa de Segredo en Brasil donde se han producido daños por cavitación recientemente -durante una avenida ocurrida en Mayo de 1992- en las tomas de los dos túneles de derivación debido a vórtices inducidos por corrientes transversales (1).

▼ ABRASIÓN

El problema de la abrasión se presenta con frecuencia en los cuencos amortiguadores debido al efecto que producen los residuos capturados en el cuenco sobre la solera y los bloques de disipación. Los residuos proceden de restos de armaduras y herramientas utilizadas en la construcción, de objetos arrojados por los visitantes y de trozos de roca introducidos, desde aguas abajo, por los remolinos generados durante la explotación asimétrica de las compuertas del aliviadero.

La amplitud de los daños producidos por la abrasión en los cuencos amortiguadores es función de la calidad del hormigón, de la cantidad y naturaleza de los residuos citados, de las condiciones hidráulicas de funcionamiento y de la ex-

plotación del embalse. Debe tenerse en cuenta que la erosión más profunda no siempre se produce con los caudales máximos sino que algunos menores, pero obviamente más frecuentes, pueden generar los mayores daños. Los bloques y dientes de disipación intensifican, generalmente, la acción erosiva porque incrementan la oportunidad de que se produzcan choques de los residuos introducidos, y generan vórtices y flujos secundarios muy intensos.

Los sedimentos transportados por el agua rozan las superficies de los aliviaderos y de los desagües de fondo; las consecuencias son tanto más serias cuanto más alta es la concentración de sólidos, mayor la velocidad del agua, mayor dureza tienen la arena y las partículas de grava y, como es lógico, más tiempo duran los vertidos o desagües. Sin embargo, la acción erosiva de los sedimentos que transportan las aguas es mucho más previsible que la de los residuos y normalmente se tiene en cuenta durante la etapa de proyecto. Aunque es imposible evitar todos los daños sobre las estructuras se pueden reducir mediante la adopción de medidas adecuadas relativas a la calidad de los materiales y a los métodos constructivos.

El P.G. comenta a este respecto el caso de la presa de Sanmenxia -en el río Amarillo, en China- donde la concentración normal de sedimentos es del orden de 40 kg/m^3 , con velocidades de 18 ó 20 m/s, pero puede alcanzar hasta 500 kg/m^3 durante las puntas de las avenidas. Después de doce años de explotación se ha comprobado que las juntas de estanqueidad han sido dañadas y que incluso partes que estaban embutidas en el hormigón han sido arrancadas dificultando sobremanera la explotación de las compuertas. Los daños fueron achacados a los vórtices, altas velocidades y choques que se producían en la embocadura cuya forma no era la más adecuada; la sección rectangular de las ranuras de las compuertas facilitó la formación de remolinos muy fuertes y la separación del flujo intensificando la acción abrasiva.

▼ EROSIÓN

El término erosión se identifica, normalmente, con la socavación que se produce en suelos y rocas a causa de flujos muy rápidos o aguas turbulentas. Dos son los principales mecanismos que la producen:

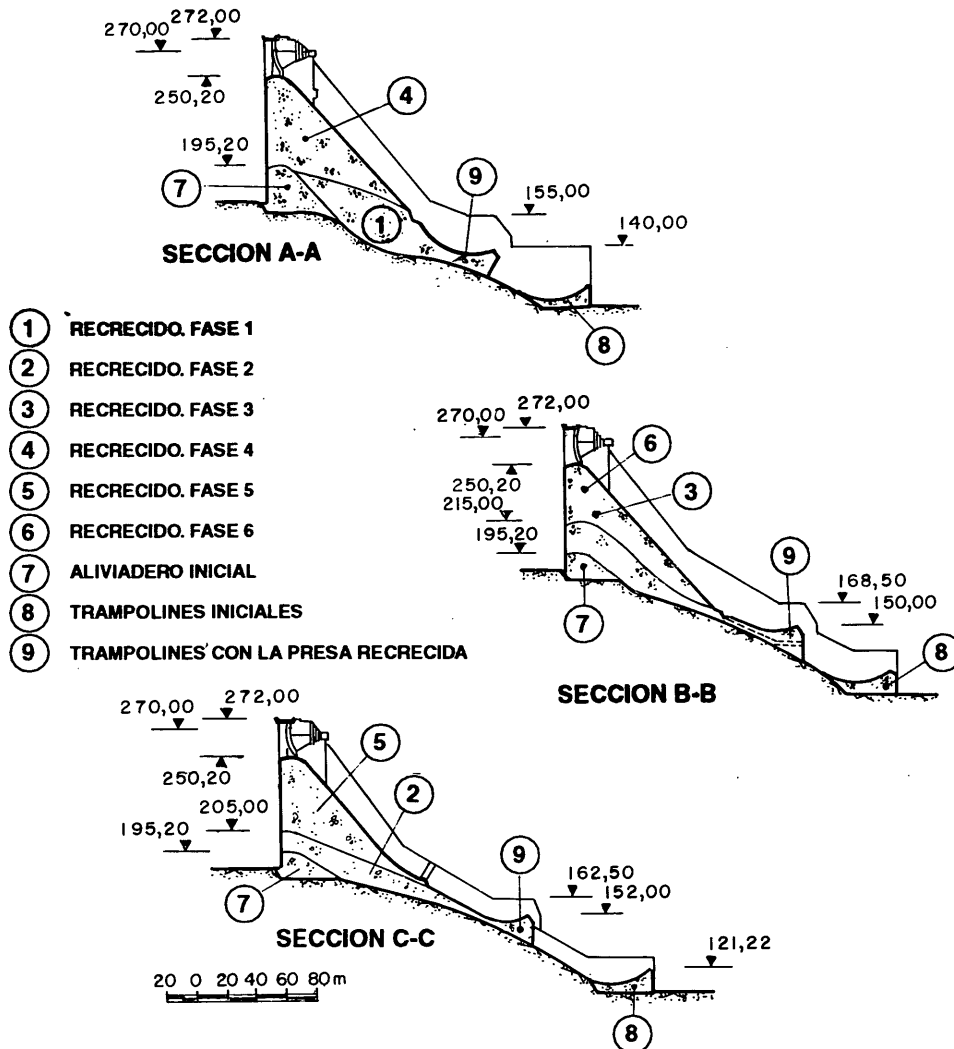
a) Desplazamiento de las rocas y materiales sueltos debido a corrientes impetuosas producidas por las fuerzas de arrastre, turbulencias y la acción de las olas.

b) Desmantelamiento de las formaciones de rocas en los colchones amortiguadores (2) debido a las fluctuaciones de presión y al proceso de disipación de energía de los chorros de agua que inciden a alta velocidad.

El primer tipo de erosión se produce aguas abajo de los cuencos amortiguadores donde las velocidades son relativamente altas y la turbulencia residual suficiente como para erosionar las riberas o la protección de escollera de los cauces de desagüe; los efectos son más fuertes cuanto más reducida es la longitud de los cuencos amortiguadores. Las corrientes secundarias y los vórtices que se generan en la superficie de contacto entre el flujo desaguado y las aguas relativamente tranquilas de aguas abajo son importantes agentes de socavación que pueden incluso afectar a lechos rocosos; sus efectos se extienden al umbral sumergido, mediante erosión remontante, y socavan las cimentaciones de los muros guía.

La erosión en los colchones amortiguadores es consecuencia de la disipación de energía del chorro de agua. La fluctuación de las presiones dinámicas alcanza el fondo del río y se trasmite a través de las fisuras de la roca que puede fracturarse ocasionando el desplazamiento, e incluso levantamiento, de grandes bloques; éstos se desmenuzan posteriormente, debido a acciones dinámicas y de abrasión, para ser finalmente alejados del colchón por el caudal. El proceso de socavación en colchones amortiguadores no revestidos es una consecuencia natural de decisiones tomadas durante el Proyecto y no se puede considerar como un deterioro, a menos que afecte a la cimentación de las obras principales o cause la inundación de las estructuras de explotación.

El P.G. comenta que el proceso de disipación de energía es muy complejo y evidentemente no se puede resumir en unas cuantas frases; ICOLD decidió hace tiempo publicar un Boletín sobre este tema que será publicado probablemente a finales del presente año porque está actualmente en las últimas etapas de redacción, comprobación y edición. En todo caso el P.G. destaca que los aliviaderos sobre rocas sin revestir son alternativas muy atractivas cuando las cimentaciones están formadas por rocas muy resistentes; debe tenerse en cuenta que la erosión se concentrará sobre las zo-



PRESA DE GURI. VENEZUELA
Recrecido de la presa

nas más débiles -fallas de la roca o áreas fracturadas- y que los trabajos de reparación sobre estas zonas débiles, después de las primeras avenidas, resulta muy efectivo. Cita a este respecto el caso de la presa de Segredo, en Brasil, sobre el río Iguazu; la rápida del aliviadero -de trescientos metros de longitud y ciento ocho metros de anchura- está construida sobre basalto muy sano y ha llegado a desaguar hasta 5.000 m³/s, con velocidades de hasta 30 m/s, sin problemas en la explotación y con un mantenimiento insignificante.

La erosión que se produce en los aliviaderos de tierra en presas pequeñas es una consecuencia

natural de la solución elegida, pero debe tenerse en cuenta que los riesgos de vertido son, generalmente, muy altos. Los efectos de la erosión varían mucho en función del tipo de suelo, cubierta vegetal, pendiente y tiempo de exposición al vertido sobre el aliviadero; en todo caso está claro que los suelos arenosos son los más vulnerables a este tipo de erosión.

▼ **SEDIMENTOS Y MATERIALES FLOTANTES**

El progresivo atarquinamiento de los embalses puede ocasionar el deterioro de los disposi-

tivos de desagüe, particularmente cuando se trata de pequeños embalses localizados en regiones montañosas. Las rejillas pueden sufrir daños y la acumulación de residuos -especialmente en las ranuras de las compuertas- impedir la explotación normal de válvulas y compuertas. El cierre total es más probable en desagües pequeños y poco utilizados; es frecuente que cuando están largos períodos sin maniobrar se lleguen a obstruir completamente las aberturas eliminando cualquier posibilidad de desagüe. Los residuos que arrastran las aguas durante las avenidas pueden sobrecargar las rejillas y causar su fallo. Las válvulas de control de aguas abajo con sección restringida pueden ser bloqueadas por trozos de madera y ramas y quedar inutilizables.

Aunque los aliviaderos son menos vulnerables a los deterioros producidos por los sedimentos se conocen casos de compuertas de sector donde la acumulación de limo en las cadenas Galle entorpeció su explotación; también existen referencias de compuertas de tambor donde los sedimentos acumulados en las cámaras dificultó su empleo durante las avenidas.

Los residuos flotantes pueden obstruir los vanos de los aliviaderos y reducir su capacidad de desagüe hasta niveles muy peligrosos. Como es lógico tanto los vanos pequeños como las formas inapropiadas de las compuertas agravan el problema e incrementan la probabilidad de obstrucción; los vanos estrechos, que se utilizaban a menudo en los puentes antiguos sobre los aliviaderos, son peligrosos porque favorecen la acumulación de residuos durante las avenidas. Los troncos flotantes pueden acodarse en las compuertas, o en las ranuras de las ataguías, e impedir su explotación normal; por otra parte su impacto puede dañar los umbrales, los brazos de las compuertas y las propias superficies del hormigón. Es preciso tener en cuenta también que en algunas regiones el crecimiento de cañas puede ser una dificultad seria.

▼ SUBPRESIÓN

Los tipos más frecuentes de fallo originados por la subpresión son: a) levantamiento y dislocación de las placas de hormigón en los cuencos amortiguadores; b) arranque y vuelco de las placas en las rápidas de alta velocidad, y c) alabeo de los revestimientos de acero debido a presiones externas.

Los cuencos amortiguadores son particularmente susceptibles a los efectos de la subpresión debido al emplazamiento de la estructura, situada a cotas más bajas que el nivel de aguas abajo, lo que expone las placas de la solera a fuerzas de subpresión muy altas; éstas fuerzas pueden incrementarse debido a las presiones que se desarrollan a la entrada del cuenco motivadas por el desplazamiento de las juntas. Los asientos diferenciales de las placas pueden inducir presiones que se transmiten debajo de ellas a través de las fisuras y pueden hacerlas volcar fácilmente. El crecimiento de vegetación y el drenaje inadecuado incrementan el problema.

En algunos casos se han alabeado y deformado los revestimientos de acero de los conductos de los desagües de fondo. Cuando la compuerta de guarda o la ataguía se cierran se producen filtraciones a través de la estructura de hormigón, que pueden causar presiones externas contra las placas impermeables de acero, produciendo su deformación si no son autoresistentes o están suficientemente bien ancladas.

2.3.4. Deterioro del equipamiento

El equipo electro-mecánico es intrínsecamente más vulnerable que las obras de hormigón. Los procesos más comunes que causan deterioro son: a) la corrosión de las partes metálicas; b) la abrasión ocasionada por los caudales sólidos; c) la fatiga producida por las cargas repetidas; d) la cavitación y vibración generadas por las condiciones hidráulicas; e) el deterioro de las juntas, y f) el fallo de los componentes eléctricos. Sin embargo, debido al mantenimiento preventivo la mayoría de los procesos de envejecimiento no evolucionan hasta plasmarse en accidentes importantes.

Aunque las compuertas proyectadas con criterios actuales y bien conservadas no sufren funcionamientos defectuosos, los dos incidentes reseñados en informes presentados a esta Cuestión -compuerta de sector de la presa de Mavcice y el cierre repentino de la de Tabela- advierten sobre la necesidad de imponer algunas limitaciones a la explotación automática o centralizada, cuya complejidad implica ciertos riesgos. Estos dos accidentes, y otros previamente registrados, demuestran la necesidad de imponer una rutina estricta en la inspección y enfatizan la importancia de vigilar de forma continua los movimientos reales de las

compuertas, incluso cuando existe control automático o telemando.

Los desagües de fondo de presas antiguas es muy posible que no se hayan utilizado durante largos períodos, de forma que es frecuente la existencia de deterioros muy serios en sus compuertas, que los hace completamente inútiles y puede conducir a su reposición en condiciones muy complicadas. En estas presas tanto el acceso para la inspección y conservación como los trabajos de reparación son a menudo muy difíciles, ya que algunas partes permanecen sumergidas casi permanentemente.

No cabe duda que los defectos provenientes del proyecto y de una mala construcción pueden acelerar el proceso de envejecimiento. Los componentes poco robustos de las compuertas pueden deteriorarse rápidamente debido a sobrecargas y fatigas; también se pueden producir -particularmente en proyectos antiguos- debilidades estructurales generadas por las soldaduras defectuosas de los componentes. Frecuentemente se produce el deterioro del equipamiento debido a las siguientes características del Proyecto: a) circuitos eléctricos no protegidos; b) sistemas automáticos diseñados de manera poco eficiente; c) juntas frágiles y poco fijadas en sus lugares oportunos, y d) formas inadecuadas, desde el punto de vista hidráulico, que pueden producir vibraciones.

El P.G. señala también que si los dispositivos de ventilación no están bien diseñados se puede acumular aire en los puntos altos de los circuitos hidráulicos; las emisiones repentinas del aire así atrapado pueden afectar a compuertas y rejillas y hacerlas salir de sus guías.

2.4. DISPOSICIONES DEL PROYECTO PARA REDUCIR EL GRADO DE DETERIORO

Los informes presentados indican numerosos criterios de proyecto y describen casos históricos de trabajos de recuperación para obtener el grado de seguridad deseado; también incluyen información sobre el coste de estos trabajos que varían entre las decenas de millones de pesetas y varios miles de millones. El P.G. utiliza para este apartado el mismo desglose que para el Proceso de Deterioro y analiza, sucesivamente, los mismos temas: a) Cimentación; b) Hormigón; c) Procesos Hidráulicos, y d) Deterioro del equipamiento.

2.4.1. Cimentación

Las juntas de contracción deben ser las mínimas e incluso, si es posible, eliminarse completamente ya que son puntos débiles en las placas de los aliviaderos que, generalmente, son delgadas y están bien ancladas; por esta razón es preferible que la solera sea continua. Cuando sea necesario incluir juntas de construcción deberán utilizarse armaduras pasantes, de manera que la placa funcione como una membrana sin discontinuidades abruptas. Las juntas deben estar provistas de dispositivos de estanqueidad para asegurar la separación entre el agua vertida por el aliviadero y las subterráneas de filtración; estas juntas deben ser machiembradas a fin de impedir desplazamientos relativos.

Es esencial que la placa de la rápida esté anclada de forma sistemática; el tamaño, espaciamiento y longitud de las barras de anclaje debe ser función de la masa de roca afectada. Es preferible un anclaje denso que otro que utilice la misma cantidad de acero, pero a base de cables de mayor sección más espaciados, ya que el primero proporciona una conexión más continua entre la roca y el revestimiento de hormigón.

La excavación previa de la zona del aliviadero -excepto la parte final cuya profundidad debe ser del orden de un metro- es beneficiosa porque permite la expansión del suelo antes de que se coloque el hormigón; es preciso tener en cuenta, sin embargo, que los movimientos debidos a la relajación de tensiones pueden desarrollarse a lo largo de varios años. En las rocas sensibles a la humedad la excavación final debe realizarse inmediatamente antes de colocar el hormigón, con objeto de impedir el deterioro de la superficie del lecho rocoso. Una placa de hormigón pobre, de diez a treinta centímetros de espesor, proporciona protección y condiciones favorables para el anclaje, armado y hormigonado de la placa principal.

Para facilitar la inspección y mantenimiento del drenaje principal es muy importante prever galerías o conductos accesibles. El trazado de los drenes deberá ser lo más rectilíneo posible a fin de facilitar su limpieza. Cuando los efectos del hielo pueden producir consecuencias graves es necesario, a menudo, colocar un espeso tapiz drenante.

Cuando los desagües de fondo se sitúan debajo de las presas de materiales sueltos es preciso -tanto en el Proyecto como durante la construcción- reducir, al máximo posible, los asenta-

mientos diferenciales; a tal fin conviene que las juntas entre los diferentes tramos del conducto sean estancas y chaveteadas. Los conductos blindados de acero deben estar calculados teniendo en cuenta los eventuales asentamientos de la cimentación.

2.4.2. Hormigón

También en este caso el P.G. ha desglosado los comentarios y conclusiones en los mismos tres temas analizados en el caso del deterioro: a) Ciclos de hielo y deshielo; b) Reacción álcali-áridos y c) Aguas agresivas.

▼ CICLOS DE HIELO Y DESHIELO

El hormigón impermeable resiste bien los ciclos de hielo y deshielo; para que adquiera esta condición deben utilizarse áridos sanos de baja porosidad, introducir aireantes en la pasta de cemento y emplear una relación agua-cemento muy baja. Por otra parte deberá evitarse el hielo durante el proceso de curado. Los trabajos de reparación implican la demolición de todo el material meteorizado, hasta exponer el hormigón sano, y la colocación posterior de hormigón armado y con aireante que se una bien a la estructura principal.

Como es bien sabido la técnica del hormigón compactado con rodillo (R.C.C.) es relativamente nueva y por consiguiente existe poca experiencia todavía sobre su comportamiento en relación con el hielo. Seguramente por esta razón lo normal es que las estructuras hidráulicas que se realizan con R.C.C. se revistan con hormigón ordinario a fin de proporcionarles la deseada resistencia a la acción del hielo.

▼ REACCIÓN ÁLCALI-ÁRIDOS

El P.G. expone -en relación con los aliviaderos y desagües de fondo- que las medidas de recuperación incluyen ajustar las compuertas y reubicar las guías para asegurar una buena explotación, así como la introducción de ranuras en las estructuras con objeto de aislar las zonas expansivas y acomodar temporalmente la expansión. Señala que los modelos matemáticos de elementos finitos tridimensionales han sido muy útiles para estimar las deformaciones que pueden producirse debido a la reacción álcali-áridos y también para evaluar las medidas potenciales de restauración.

▼ AGUAS AGRESIVAS

El Proyecto debe incluir especificaciones técnicas relativas a la calidad que debe tener el hormigón para resistir la acción de las aguas agresivas. El empleo de cementos especiales adecuados al agente agresivo y, simultáneamente, de áridos apropiados pueden reducir el grado de deterioro. Se reseña que en la presa de Ouéd Mellah, en Marruecos, se utilizó con éxito completo la inyección de resinas, para controlar las filtraciones a lo largo de las juntas de construcción, y de hormigón proyectado para reemplazar la superficie deteriorada de su aliviadero.

A fin de garantizar que se conseguirá un hormigón bien compactado e impermeable en las intermediaciones de las juntas de estanqueidad -donde las condiciones para que se produzcan filtraciones son críticas- es importante que se prevean las características oportunas en el Proyecto y se utilicen los procedimientos adecuados de construcción que, en todo caso, debe ser atentamente inspeccionada.

2.4.3. Procesos Hidráulicos

El Boletín 58 de ICOLD, *Aliviaderos*, (1987) está dedicado a la actualización del estado del arte sobre el proyecto y construcción de los aliviaderos por lo que aquí solamente se destacan los procesos relacionados con el deterioro. Como siempre el P.G. ha clasificado los temas, por cuanto a este aspecto se refiere, en: a) Cavitación; b) Abrasión; c) Erosión; d) Sedimentos y residuos flotantes, y e) Subpresión.

▼ CAVITACIÓN

Las características de diseño que pueden minimizar los peligros inherentes a la presencia de la cavitación incluyen el empleo de formas simples, líneas de separación bien definidas y ausencia de bloques de disipación de energía. La prescripción, en el Proyecto, sobre la obligación de emplear hormigones de alta resistencia y especificaciones muy severas para el acabado de las superficies también reducen los riesgos de cavitación.

Para reparaciones de reducida extensión se utilizan normalmente cementos y morteros de epoxy. Dado que los fabricantes no suelen proporcionar especificaciones detalladas sobre los materiales es difícil generalizar conclusiones a partir de las experiencias obtenidas en casos reales. No

obstante, las investigaciones sistemáticas realizadas sobre cementos y morteros utilizados para proteger las superficies de hormigón contra la abrasión y erosión hidráulica han destacado la problemática de su adherencia a las estructuras de hormigón. Las dificultades se presentan, especialmente, cuando las estructuras de hormigón están sujetas a amplias variaciones de temperatura puesto que, generalmente, el coeficiente de expansión térmica del epoxy es más elevado.

En las rápidas, donde se desarrollan altas velocidades, la capa superficial -15 a 20 cm de espesor- debe ser de hormigón de alta calidad, con tamaño máximo del árido de 19 mm y resistencia de 30 a 35 MPa. Para las capas subyacentes pueden emplearse hormigones de menor calidad, con menos cantidad de cemento, que tienen la ventaja adicional de que el calor de hidratación es menor. El recubrimiento sobre las armaduras debe ser suficientemente amplio con objeto de impedir que las barras de acero queden expuestas y se produzcan daños a causa de su vibración. La ausencia de juntas transversales de contracción es beneficiosa; las fisuras de retracción normales que se desarrollan en las placas continuas armadas no generan cavitación.

Las especificaciones que se deben fijar, relativas al acabado de la superficie de las rápidas de hormigón, dependen de la velocidad máxima previsible para el agua y deben relacionarse con el índice σ , denominado de cavitación incipiente, deducido mediante la fórmula:

$$\sigma = 1.8 (L/H)^{-0.7}$$

H = altura del saliente
L = longitud del bisel

Los biseles que no superen pendientes de alrededor de 1 a 20 proporcionan superficies de hormigón aceptablemente terminadas y se pueden conseguir con métodos normales de construcción; a tal pendiente le corresponde un índice de cavitación de 0,20 a 0,25, o velocidades medias de flujo de 30 a 32 m/s. Cuando las velocidades son superiores a estas cifras resulta más efectivo, para impedir la cavitación, airear el flujo que imponer especificaciones de acabado más estrictas.

No cabe duda que la aireación del flujo es una técnica efectiva para impedir la cavitación en estructuras con altas velocidades. A este respecto

son conclusivas las experiencias de las presas de Foz do Areia, en Brasil, y de Colbun, en Chile, así como el aliviadero de la presa de Guri en Venezuela que está en explotación normal desde 1986; todos estos casos se detallan en informes presentados al Congreso. Los datos sobre presas en explotación son, por el momento, el mejor procedimiento para estimar la cantidad de aire que se debe introducir. El análisis por regresión múltiple realizado sobre los aireadores de trece presas ha conducido a la relación que se indica en la fórmula siguiente; debe tenerse en cuenta, sin embargo, que esta fórmula proporciona cifras aproximadas que sólo se pueden utilizar en etapas muy iniciales del Proyecto:

$$B = Q_a/Q = 0,29 (Fr - 1)^{0,62} (D/h)^{0,59}$$

Q_a = Caudal de aire

C = coeficiente de caudal en

$$Q_a = CA \sqrt{2\Delta p / \rho_a}$$

Q = Caudal de agua

A = Superficie de la sección que controla el flujo de aire en la tubería de aducción

$$Fr = V / \sqrt{gh}$$

V = Velocidad media del agua

B = Anchura de la rápida

h = Calado

Δp = Diferencia de presión entre los extremos del chorro de agua afectado

D = CA/B

ρ_a = Densidad del aire

Aunque se ha presentado (R5) un procedimiento analítico para estimar el flujo de aire necesario, que parece bastante prometedor, es evidente que no podrá sustituir a los modelos físicos. Los modelos son el único camino que existe actualmente para comprobar, de manera concluyente, las condiciones hidráulicas del flujo sobre el aireador, especialmente en los casos donde las rápidas tienen poca pendiente y la posibilidad de sumersión es crítica.

Dado que la concentración de aire tiende a un equilibrio a alguna distancia aguas abajo del aireador puede ocurrir que sea necesario introducir una segunda unidad. De la experiencia disponible se deduce que un aireador bien diseñado debería proporcionar protección adecuada hasta una dis-

tancia en la rápida del orden de cincuenta a cien metros, e incluso de cien a doscientos metros en rápidas muy estrechas.

▼ ABRASIÓN

La abrasión que produce la circulación de sólidos en los cuencos amortiguadores se puede minimizar mediante un Proyecto apropiado y utilizando procedimientos adecuados de explotación. Los modelos hidráulicos son muy útiles para identificar las contracorrientes que pueden arrastrar piedras hasta el cuenco así como para definir las condiciones de explotación óptimas. La mejor opción es, generalmente, el cuenco amortiguador normal, sin dientes de disipación sobre la solera ni dados de amortiguamiento, ya que tales dispositivos, previstos para incrementar la disipación de energía, probablemente aumentan también los daños por abrasión.

Es fundamental evitar, durante la explotación, condiciones asimétricas de flujo. Por otra parte es preciso eliminar -antes de comenzar la explotación del aliviadero- todas las rocas sueltas en las proximidades del cuenco, así como los residuos procedentes de la construcción, y revestir con hormigón todas las pendientes de las rocas erosionables cercanas.

Los daños que producen los sedimentos son inevitables ya que las superficies de hormigón son erosionables y no se ha encontrado hasta el momento ningún revestimiento protector totalmente efectivo; los ahora existentes retrasan el proceso de abrasión pero no son una solución definitiva, de forma que exigen un mantenimiento periódico y aún así es normal tener que realizar ocasionalmente trabajos de reparación.

Teniendo en cuenta la conclusión anterior es normal que se hayan efectuado numerosas investigaciones para tratar de encontrar materiales resistentes a la abrasión. Así, por ejemplo, en el R.12 se resumen las investigaciones, de campo y de laboratorio, realizadas por Hydro-Quebec a fin de encontrar productos que permitan reparaciones superficiales en condiciones climáticas muy severas. De la misma forma en el R.28 se detallan las investigaciones realizadas en Japón donde han llegado a la conclusión que los coeficientes de resistencia a la abrasión relativos al del acero -que se toma como patrón- son del siguiente orden: a) poliuretano: tiene del orden de cinco veces menos; b) piedra: hasta 20 veces, y c) hormigón de alta resistencia: hasta 400 veces menos. Debe

considerarse, sin embargo, que el poliuretano es susceptible de sufrir graves daños por impactos.

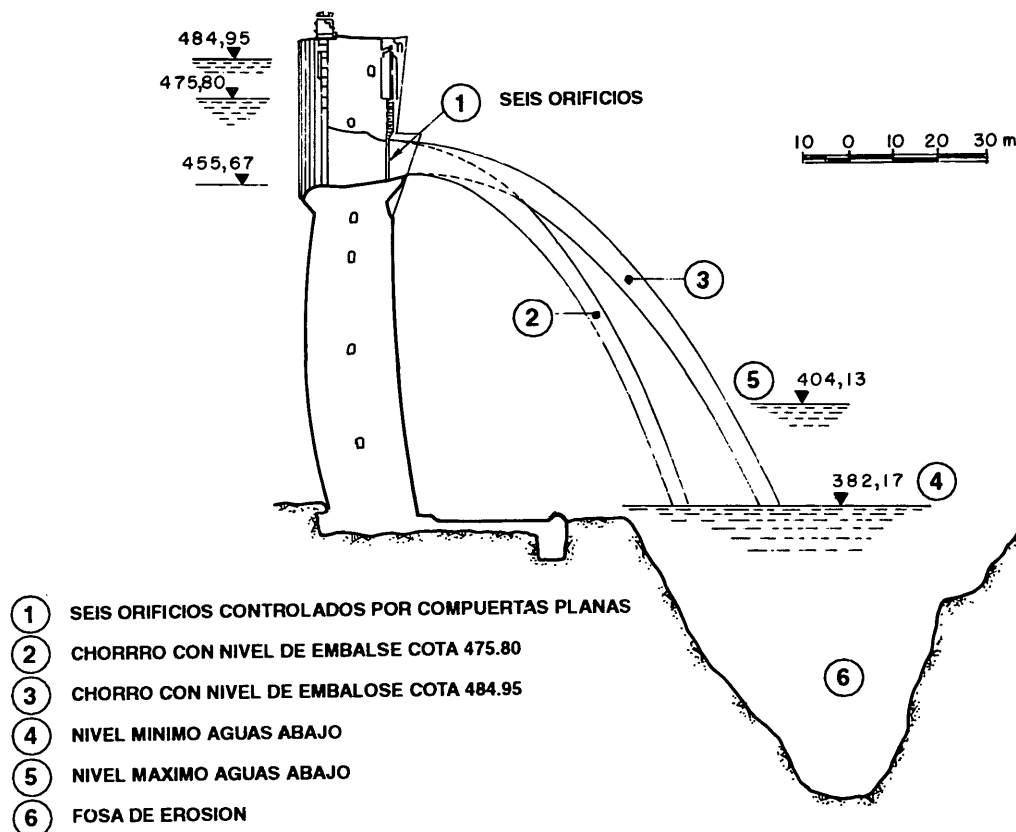
El P.G. describe, finalmente, las experiencias obtenidas en las presas de Kashm y Girba, en Sudán, y la de Sanmenxia, en China, para concluir que en las presas donde las aguas tienen una concentración de sedimentos muy alta y, además, discurre a velocidades muy elevadas es extremadamente importante organizar la explotación para que la duración de los períodos de desagüe se reduzca al mínimo viable.

▼ EROSIÓN

Los efectos de la erosión sobre el lecho del cauce y de las riberas -aguas abajo de los aliviaderos y obras de desagüe, así como al pie de las presas de materiales sueltos- deben analizarse durante la redacción del Proyecto mediante su estudio en modelos hidráulicos físicos. Al determinar la escala y las características de los modelos es preciso tener en cuenta que la naturaleza y estructura de las formaciones rocosas es uno de los factores fundamentales que determinan la profundidad de socavación, afectan a la estabilidad de las pendientes y al desarrollo de la erosión remontante.

El criterio básico de Proyecto por cuanto se refiere a los colchones amortiguadores es permitir que se desarrolle la socavación natural. La protección debe limitarse a las estructuras principales, si bien debe tenerse en cuenta que, en función de la clase de roca, puede ser necesario proteger el pie del trampolín. El P.G. reseña el caso de Itaipú, Brasil, donde al ser la roca un basalto muy sano sólo se han necesitado obras relativamente simples de revestimiento; por el contrario, en la presa de Keban, Turquía, que está cimentada sobre esquistos blandos ha sido preciso instalar una cortina de pilotes, de hasta 60 metros de profundidad, con objeto de enlazar con una formación caliza de características resistentes mucho mejores.

En las presas bóveda dotadas de aliviadero en caída libre la protección de la cimentación exige, a veces, el revestimiento del fondo con una placa de gran espesor. El Proyecto debe tener en cuenta la posibilidad de que se produzcan subpresiones debido a la situación relativa del cuenco, respecto al nivel de aguas abajo, y a las fluctuaciones de presión que causa el chorro incidente; la instalación de un azud aguas abajo puede incrementar significativamente el caladío y resultar beneficioso para limitar el deterioro.



PRESA DE KARIBA. ZAMBIA-ZIMBABWE Sección por aliviadero

La preexcavación de la hoya del colchón amortiguador hasta un nivel adecuado se puede justificar como una medida para controlar el flujo y reducir la tendencia a que se forme una barra aguas abajo durante la primera fase de la explotación. Así en la presa de Tucurui, Brasil, cuyo aliviadero está previsto para desaguar $110\,000\text{ m}^3/\text{s}$, la preexcavación realizada hasta el máximo nivel calculado en el Proyecto ha demostrado ser un éxito. La conocida fórmula de Veronese se puede utilizar para estimar la profundidad de socavación; cuando en esta fórmula se utiliza el coeficiente 1,2 se obtienen resultados acordes con la profundidad observada en las estructuras reales, mientras que si se utiliza el coeficiente 1,9 -como fue originalmente propuesto a partir de los estudios en modelo realizados sobre lechos de arena- se obtiene una envolvente que encierra la mayor parte de los datos procedentes de la realidad.

La socavación es función de numerosos parámetros relacionados con la resistencia del material, el tamaño de los bloques de roca, la tipología de las discontinuidades de ésta, las propiedades del material de relleno, el coeficiente de resistencia a la fricción entre los bloques, etc. Si a todas éstas variables se añade la complejidad del fenómeno hidráulico se comprende que los cálculos basados en fórmulas sean, en el mejor de los casos, estimaciones aproximadas, de tipo más bien cualitativo y que, además, no es probable que, por el momento, se produzcan mejoras significativas en la precisión de los resultados que proporcionan.

Los cuencos amortiguadores situados sobre cimentaciones erosionables requieren protección de escollera en la región inmediatamente aguas abajo del azud final, a fin de impedir la erosión remontante; la pantalla de hormigón que se suele

utilizar a estos efectos en formaciones rocosas fracturadas puede reemplazarse con ventaja por un sistema de anclajes verticales muy denso, que se inyecte posteriormente.

▼ SEDIMENTOS Y RESIDUOS FLOTANTES

Aunque la obstrucción de los desagües de fondo ocasionada por los sedimentos puede evitarse mediante una explotación apropiada, la realidad es que ocurre frecuentemente. Los trabajos de rehabilitación requieren a menudo operaciones de dragado por lo que es preferible, cuando es posible, eliminar los sedimentos mediante desagües controlados.

En todo caso la realidad es que un Proyecto apropiado minimiza la probabilidad de que ocurran grandes problemas de obstrucción. Aberturas amplias y sin obstáculos son la solución ideal. Las rejillas, en el caso de que se utilicen, deben tener grandes áreas abiertas, del orden del 60% al 90% de la sección transversal del desagüe; no obstante, si se utilizan válvulas de chorro hueco resulta obligado emplear rejillas con aberturas más estrechas y es perentorio establecer los procedimientos adecuados de vigilancia durante la explotación.

Si el Proyecto prevé que los sedimentos se desagüen de forma regular, las obras de desagüe deben ser estudiadas en modelo hidráulico para definir los procedimientos más adecuados de explotación del embalse, así como la localización y geometría de la toma, el procedimiento de transporte del sedimento a través del dispositivo y las especificaciones para la protección de las superficies. Los dobles conductos y los revestimientos realizados con materiales reemplazables exigen un mantenimiento mucho más fácil.

El vaciamiento de un embalse -suponiendo que sea posible- es rara vez justificable desde el punto de vista económico; esta conclusión obliga a efectuar los trabajos de reparación con el concurso de submarinistas. Sin embargo, la frialdad del agua, la falta de visibilidad y los largos plazos necesarios para la decompresión contribuyen a que este proceso resulte costoso y dilatado en el tiempo. No es de extrañar, por lo tanto, que en Japón se esté evaluando un procedimiento alternativo para reducir los depósitos de sedimentos; se trata de instalar un azud en los tramos superiores del embalse con objeto de capturar parte de los sedimentos afluentes y transportarlos -hasta la zona de aguas abajo de la presa principal- mediante

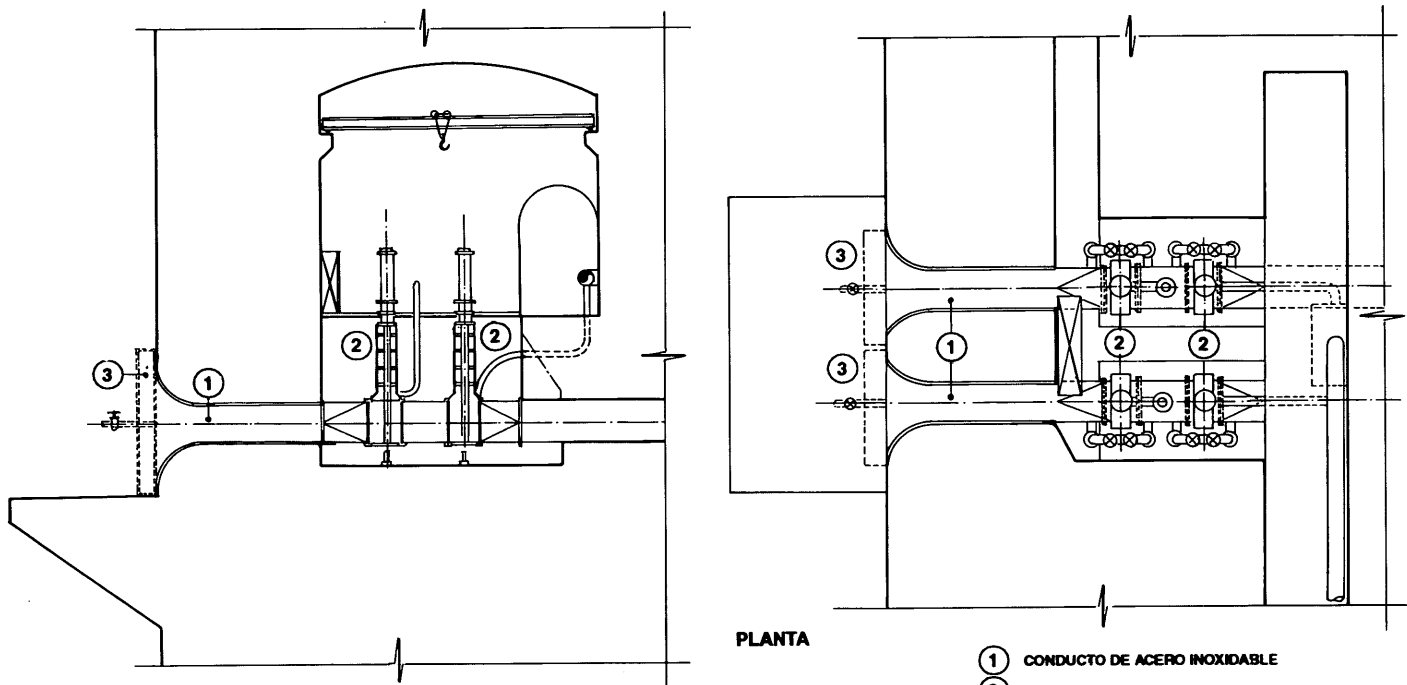
un canal de desvío que contornee el embalse. Actualmente se están estudiando los impactos de ésta solución sobre las reglas de explotación del embalse y se están analizando los costes de inversión y conservación.

Los residuos flotantes pueden pasar sobre los aliviaderos si los vanos son amplios y el proyecto de las compuertas es adecuado. Las compuertas de clapeta son ideales para permitir el paso de materiales flotantes como bloques de hielo y grandes árboles. Aunque las compuertas de sector deben estar casi completamente abiertas para permitir el paso del material flotante tienen la ventaja de que sus aberturas son muy grandes. En Brasil, donde la vegetación flotante es muy abundante, es prácticamente el único tipo de compuertas que se utiliza, sin que hasta el momento se haya producido ningún problema de seguridad debido a la obstrucción por troncos. Se puede instalar una barrera flotante para los troncos y arrastrarlos fuera del embalse como una consigna más de explotación.

▼ SUBPRESIÓN

El efecto de la subpresión sobre las placas de los cuencos amortiguadores se resiste, normalmente, debido al peso de las placas, a los anclajes y al drenaje. Sin embargo, la realidad es que la instalación de sistemas eficaces es difícil ya que el drenaje por gravedad rara vez es posible y el desagüe dentro del cuenco -en la zona de aguas arriba, donde el calado es menor debido al lanzamiento del flujo- es poco probable que tenga éxito. Por otra parte si la salida de los drenajes está situada debajo del agua todo el sistema está anegado y el flujo entra y sale de acuerdo con el cambio de los gradientes de presión que puede tener intensas fluctuaciones -debido a los procesos de disipación de energía- y afectar e incluso destruir completamente el sistema.

Aún en el caso de que se puedan instalar galerías debajo de las placas, a las que se envíe el agua de drenaje, la transmisión de las fluctuaciones de presión a través de las juntas abiertas -debido a problemas de estanqueidad o de fisuras en las placas- puede dañar grandes zonas del cuenco. El tema es especialmente importante cuando se instalan cuencos amortiguadores para cargas hidráulicas muy grandes, como ilustra el caso de la presa de Malpaso, en Méjico, donde las placas -que estaban ancladas y tenían dos metros de espesor- fueron arrancadas y arrastradas por el



SECCION LONGITUDINAL

PLANTA

- ① CONDUCTO DE ACERO INOXIDABLE
- ② VALVULA BUREAU
- ③ ATAGUIA DURANTE LAS OBRAS DE REPARACION

PRESA DE ORELLANA. ESPAÑA
Reparación de los desagües de fondo.
Situación final

agua, y apiladas aguas abajo del cuenco. Igualmente en la presa de Sayano, en Siberia, el cuenco amortiguador fue completamente destruido -a pesar de que las placas tenían un espesor de 2,5 metros- durante una avenida en la que el agua alcanzó velocidades de 50 m/s; incluso cuando fue reconstruido con placas cuya superficie tenía la cuarta parte de las anteriores y en espesor era de seis metros fue destruido parcialmente por la siguiente avenida. De estos casos se deduce que para aliviaderos de más de 120 metros de carga hidráulica el uso de un colchón amortiguador es una alternativa más deseable que la del cuenco.

El alabeo de los blindajes de las compuertas de acero puede evitarse si, en el Proyecto, se considera la necesidad de resistir las fuerzas de presión; los blindajes deben ser suficientemente fuertes para resistir la presión total externa en la peor hipótesis de explotación de las compuertas. El objetivo se puede conseguir mediante un Proyecto en el cual los tramos libres entre rigidizadores sean autoresistentes. Aunque la pérdida de resistencia

por corrosión es un suceso poco frecuente se conocen casos -presa de Orellana, en España- donde ocurrió este fenómeno.

2.4.4. Deterioro del Equipamiento

Las válvulas y compuertas deben ser simples y robustas y su proyecto suficientemente conservador como para evitar las consecuencias de la sobrecarga y la fatiga. Aunque el P.G. hace algunas mínimas indicaciones sobre el tema de la vibración, debe tenerse en cuenta que en la Reunión Ejecutiva de Durban se aprobó la publicación de un Boletín sobre vibraciones que ha culminado, recientemente, el Comité Técnico de ICOLD denominado *Hidráulica de las Presas*.

No cabe duda que las compuertas de sector son la mejor alternativa para los aliviaderos controlados como lo prueba el caso de Itaipú, Brasil, cuyas catorce compuertas, de 20 x 20 metros, funcionan perfectamente después de doce años

de uso continuo. Existen actualmente procedimientos de sellado para las compuertas que controlan las filtraciones con gran eficacia, no vibran y necesitan una conservación mínima. Las clapetas sobre las compuertas de sector deben ser proyectadas de forma que resulten estructuras suficientemente robustas y sean capaces de desaguar hielos y residuos flotantes. Las compuertas deslizantes verticales son algunas veces más eficaces en climas fríos donde la formación de hielo presenta problemas especiales.

Los condicionantes que impone la seguridad durante las avenidas extremas deben dominar las decisiones del Proyecto. Como ejemplos se pueden citar: a) la provisión de fuentes de energía diferentes; b) la disponibilidad durante las emergencias de una fuente de energía local e independiente; c) la existencia de accesos seguros y permanentes a las compuertas durante las avenidas; d) la separación de los circuitos de energía para las operaciones normales y de emergencia.

En relación con las compuertas el Proyecto debe prever los siguientes aspectos: a) sistemas eléctricos y electrónicos que proporcionen información continua y garantizada sobre las condiciones de las compuertas; b) dispositivos que impidan la apertura o cierre accidental; c) indicadores de apertura basados en la posición real de la compuerta y no a través de los mecanismos de elevación. En todo caso las condiciones de explotación deben estar aseguradas incluso bajo las más extremas circunstancias.

Los sistemas automáticos son ventajosos donde es posible la presentación de avenidas repentinas que hagan subir rápidamente el nivel del agua en el embalse; en este tema se puede progresar mucho mediante el empleo de ordenadores y dispositivos electrónicos. Un logical sofisticado, la redundancia en los dispositivos de medida y control y sistemas alternativos de energía son algunas de las precauciones necesarias para que la explotación automática sea viable; de la misma manera es necesario proporcionar un mantenimiento continuo realizado competentemente. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la complejidad técnica y los riesgos inherentes a las compuertas automáticas restringen su uso -particularmente en el caso de las presas de materiales sueltos- a aquellos casos donde se pueda asegurar que existirá un mantenimiento continuo de gran capacidad técnica. En todo caso, durante las avenidas los movimientos telemandados o automáticos de

las compuertas deben ser observados por el personal in situ.

Las válvulas deben ser fácilmente accesibles para su mantenimiento normal. Una geometría simple de la toma, con previsiones para proceder a un ataguamiento simplificado, es un importante objetivo del Proyecto. Dado que los condicionantes económicos impiden normalmente vaciar el embalse es preciso proporcionar ataguías para los trabajos de reparación. El Proyecto debe incluir especificaciones detalladas sobre el hormigonado de segunda fase detrás de las partes encastradas, pero además es necesario comprobar durante la construcción que estas especificaciones se han seguido estrictamente.

Una aireación generosa es esencial para que los desagües de fondo funcionen de manera adecuada. Se pueden aceptar velocidades del aire de hasta 80 m/s; en todo caso, el caudal de aire necesario depende de la abertura de la compuerta, de las condiciones del flujo y de la geometría completa del sistema. Al localizar en el Proyecto las aberturas para las tomas de aire debe tenerse en cuenta que la seguridad del personal de explotación es un factor fundamental.

Tanto las válvulas mariposa como las esféricas son una buena solución como válvulas de guarda; las esféricas se utilizan rara vez en los desagües de fondo, debido a que son más caras, pero tienen la ventaja de que se pueden abrir completamente. En relación con el equipamiento debe tenerse en cuenta que el empleo de materiales nobles, como el acero inoxidable, para los elementos más críticos incrementará sensiblemente la duración del conjunto. La reposición de los elementos más utilizados es a menudo económica. La inspección adecuada y un mantenimiento preventivo son fundamentales para el control del deterioro.

2.5. PROYECTOS PARA RESTABLECER LA SEGURIDAD

La evolución de los criterios de proyecto -especialmente en lo que se refiere a la capacidad de desagüe del aliviadero- es un factor importante que puede afectar a la seguridad de la presa. En numerosos países se han modificado las recomendaciones para estimar el hidrograma de la avenida de proyecto y se impone su aplicación tanto a las nuevas presas como a las que están en explotación; es frecuente que estos nuevos criterios obliguen a incrementar la capacidad de desagüe del aliviadero.

Por otra parte, la obligada revisión de obras antiguas y de su documentación técnica pueden descubrir características que afecten a dicha capacidad de desagüe. En tales casos debe revisarse tanto el comportamiento estructural como los datos de explotación del período anterior conocido. Otros nuevos criterios de proyecto pueden descubrir también la inadecuación de las presas existentes. Así, por ejemplo, condicionantes más estrictos respecto al ritmo de desembalse han obligado, en algunos países, a la instalación de desagües de fondo de mayor capacidad.

No cabe duda, sin embargo, que el problema de mayor envergadura suele ser la necesidad de incrementar la capacidad de desagüe del aliviadero a fin de adecuarse a los resultados de los nuevos estudios sobre avenidas. Además de la eventual incorporación de un nuevo aliviadero el problema puede solventarse utilizando uno, o varios, de los siguientes procedimientos: a) elevación de la coronación de la presa; b) rebaje de la cresta del aliviadero; c) incremento de la longitud de vertido; c) vertido sobre coronación en las presas de materiales sueltos. Dado que todas estas alternativas fueron analizadas en detalle en el Simposio de Granada (1992) sobre *Presas y avenidas extremas* solamente se incluyen algunas breves conclusiones.

▼ ELEVACIÓN DE LA CORONACIÓN DE LA PRESA

El procedimiento convencional para elevar la coronación de una presa de materiales sueltos es añadir más material; aunque puede hacerse sobre cualquiera de los lados del terraplén lo normal es que se añada al de aguas abajo para no interrumpir la explotación del embalse. Con el fin de reducir los costes es frecuente el empleo de taludes de mayor pendiente que los originales así como la instalación de parapetos y muros de tierra armada.

Es evidente que cuanto mayor es el nivel del agua en el embalse mayor es la carga hidráulica; a fin de mantener los coeficientes de seguridad ha sido frecuente utilizar, en las presas de gravedad, cables tensados anclados en la cimentación. La solución basada en ampliar la sección transversal de hormigón requiere métodos especiales a fin de asegurar el enlace con el hormigón de la presa original. En todo caso es obligado comprobar, en las nuevas circunstancias, la resistencia de la cimentación al deslizamiento. Añadir masas de

hormigón al pie de aguas abajo de una presa antigua puede resultar una medida eficaz; una alternativa válida es proporcionar este soporte mediante escollera compactada.

▼ REBAJE DE LA CRESTA DEL ALIVIADERO

Cuando los aliviaderos son no controlados, es decir no tienen compuertas, la reducción del nivel de la cresta del aliviadero proporciona calados más grandes y mayores volúmenes para la laminación de avenidas, lo que, evidentemente, incrementa de manera importante la seguridad de la presa frente a avenidas con hidrogramas mayores que los inicialmente previstos. Dado que esta solución conduce al empleo de niveles de explotación normal inferiores a los iniciales es frecuente que se complemente con la instalación de compuertas.

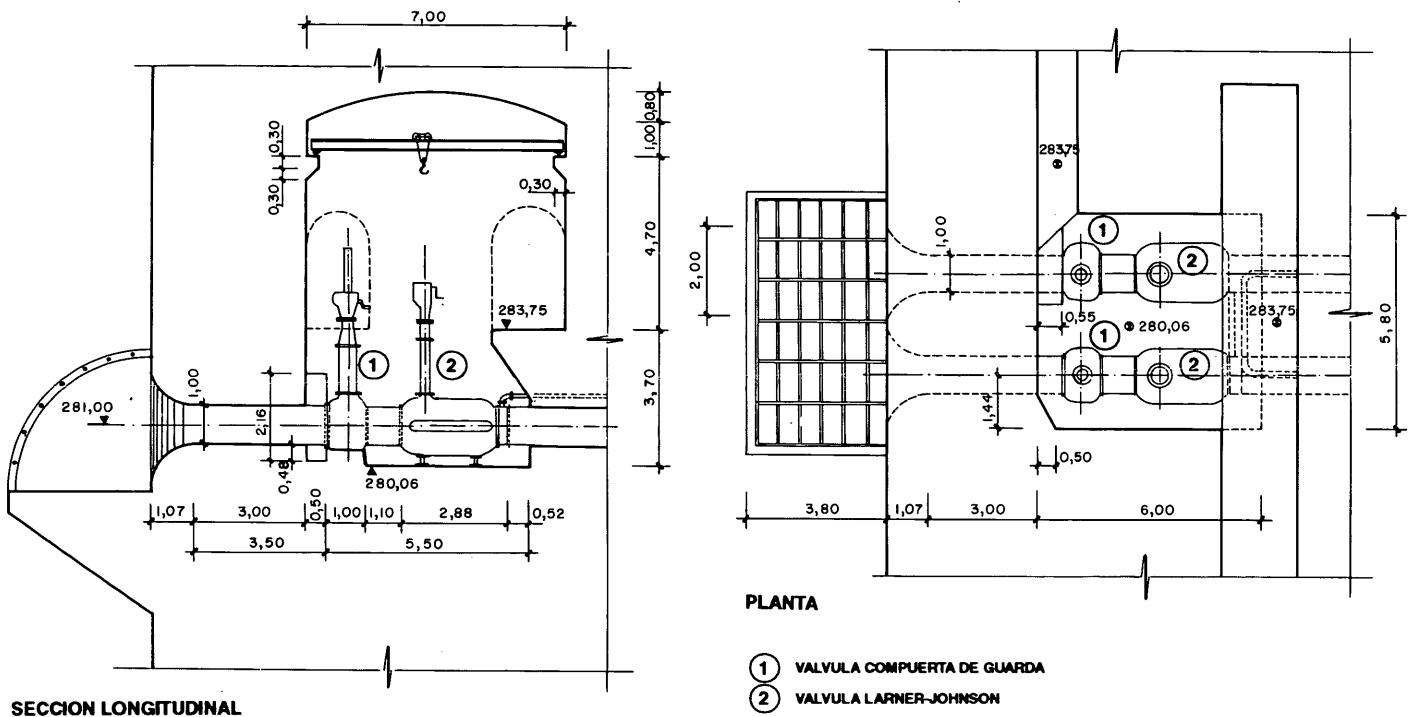
▼ INCREMENTO DE LA LONGITUD DE VERTIDO

La longitud de vertido puede ser incrementada cambiando el tipo del aliviadero a uno en laberinto o algún otro tipo semejante. Algunos ejemplos recientes han demostrado la posibilidad de incluso doblar la capacidad de desagüe para los mismos valores del calado y de la anchura de la rápida.

▼ VERTIDO SOBRE CORONACIÓN EN LAS PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

El paramento de aguas abajo de una presa de materiales sueltos puede ser el camino más directo y económico para desaguar el exceso de caudal durante una avenida e incluso el caudal total. Investigaciones recientes han revelado la eficacia a este respecto de cubiertas de hierba, geotextiles y bloques de hormigón. Mantos de hierba densa bien mantenidos pueden resistir velocidades de hasta 2 m/s e incluso llegar a 3 m/s si el vertido es de corta duración. Cuando la hierba se refuerza con geotextiles el límite de la velocidad admisible sube hasta 5,5 m/s. El sistema de refuerzo más eficaz para la hierba son los bloques celulares articulados de hormigón que han aceptado velocidades de hasta 8 m/s.

A menudo se utilizan bloques de escollera para proteger los paramentos de las presas de materiales sueltos que pueden verter por coronación. La escollera reforzada está limitada a estructuras provisionales como son las ataguías. Los gabiones



PRESA DE ORELLANA. ESPAÑA
Reparación de los desagües de fondo.
Situación inicial

son efectivos para prevenir la erosión durante el vertido, pero son muy susceptibles al vandalismo y a la corrosión por lo que generalmente solo se utilizan para estructuras provisionales.

Cuando las velocidades superan los 10 m/s es obligado que la protección se realice mediante placas de hormigón armado. En Proyectos recientes se han manejado, con resultados satisfactorios, velocidades de hasta 30 m/s con caudales específicos de 30 m³/s/m. Cuando se proyecten este tipo de soluciones deben analizarse en detalle los procedimientos y precauciones formuladas en los prototipos existentes, especialmente de los que hayan funcionado correctamente; esta investigación debe extenderse a detalles relativos a: a) la coronación; b) los anclajes; c) el sistema de drenaje; d) el armado longitudinal continuo, y e) los sistemas de disipación de energía aguas abajo.

El creciente uso del hormigón compactado con rodillo (R.C.C.) ha promovido el empleo de este procedimiento para la protección de los para-

mentos de aguas abajo de las presas de materiales sueltos. El sistema utilizado consiste, normalmente, en la construcción de capas horizontales en escalones sucesivos que se adaptan al talud del terraplén. La anchura horizontal de los escalones es función del equipo de construcción y nunca es inferior a 2,5 m, siendo más frecuentes valores de 3 m a 4 m. Existen casos en que, con objeto de ahorrar hormigón, se ha colocado en bandas paralelas al talud. Si bien el manto de protección no suele estar armado siempre se ancla al terraplén y se le proporciona un buen sistema de drenaje. Los detalles de enlace con el pie de aguas abajo y con los estribos son críticos como, por otra parte, ocurre en todos los otros sistemas de protección. Aunque este procedimiento de protección se utiliza frecuentemente para presas de altura menor de diez metros, existe un caso, la presa de escollera de Xingó, Brasil -altura de cincuenta metros-cuyo paramento de aguas abajo se protegió con R.C.C. a fin de prever el vertido por coro-

nación durante la construcción; no se han podido obtener consecuencias válidas porque no llegó a operar.

El empleo del R.C.C. en escalones ha conducido a la posibilidad de utilizarlo en los aliviaderos escalonados. Como es sabido los aliviaderos escalonados se fundamentan en el hecho de que la turbulencia que se genera en cada escalón permite que la capa límite se forme rápidamente y cause la aireación del flujo casi desde el principio de la coronación, de manera que la disipación de energía es mayor que en una rápida lisa. Pérdidas del 40 al 60% de la carga total en aliviaderos de gravedad son típicos para presas que tienen de 20 a 30 metros de altura y para caudales específicos de 5 a 10 m³/s/m. No cabe duda que es necesario seguir investigando a fin de establecer los valores de altura del aliviadero y del caudal específico con los que pueden comenzar los riesgos de cavitación.

▼ DIQUES FUSIBLES

Los diques fusibles tienen cada vez mayor aceptación -tanto entre las autoridades que regulan la seguridad de las presas como entre los proyectistas- ya que el grado de imprecisión de los parámetros que cuantifican las variables que intervienen en su definición no es muy diferente de otros que se utilizan en el proyecto de grandes presas y, por lo tanto, se puede obtener un grado aceptable de fiabilidad y seguridad. Existen por lo menos dos diques fusibles que han funcionado de acuerdo con las expectativas de su Proyecto: se trata de las presas de Kinzua y Mnjoli (Swazilandia).

La mayor parte de los datos experimentales que existen sobre el mecanismo de destrucción de los diques fusibles procede de las investigaciones realizadas sobre los que tenían núcleos impermeables inclinados. La rotura inicial se produce en una sección de menor altura -proyectada para este propósito- con objeto de que comience el vertido sobre el espaldón de aguas abajo, se erosione rápidamente y se produzca la rotura del dique. El mecanismo de erosión progresa lateralmente hacia los estribos y, si el caudal permanece, la erosión se produce de forma bastante regular hasta que se completa la destrucción.

Los fenómenos de socavación que producen la brecha inicial y su ensanchamiento lateral son bien conocidos. La diferencia entre el potencial erosivo del agua y las condiciones de equilibrio

del material del terraplén pueden proyectarse de forma que se garantice la destrucción. Se pueden utilizar agentes esterilizadores que impidan el crecimiento de plantas, u otros procesos biológicos, que podrían reducir las posibilidades de erosión de la escollera a largo plazo.

2.6. EXPLOTACIÓN Y CONSERVACIÓN

La fiabilidad en el funcionamiento de los aliviaderos y desagües de fondo depende, en gran medida, de que los procedimientos relativos a su explotación y conservación sean los adecuados. El Boletín 49 de ICOLD, *Explotación de estructuras hidráulicas de presas*, (1986) trata las principales cuestiones relativas al personal, inspección y explotación durante las avenidas, pero desde luego puede considerarse sobrepasado por los acontecimientos (3). Teniendo en cuenta que la mayor parte de los accidentes ocurridos en aliviaderos y desagües -especialmente durante la estación de avenidas- se pueden imputar, total o parcialmente, a fallos en la explotación y a procedimientos de conservación inadecuados no es de extrañar que varios países hayan modificado los criterios e instrucciones para la explotación y el mantenimiento de presas. En el informe del P.G. se han incluido los criterios y los principios de las reglas de explotación y mantenimiento que utilizan agencias internacionales tan prestigiosas como son C.E.S.P., en Brasil, T.V.A., en Estados Unidos, y E.D.F., en Francia.

2.6.1. Personal

El personal responsable de la explotación de las presas puede variar desde un equipo de varios técnicos, con sistemas de tres turnos, hasta inspectores individuales que giran visitas periódicas a la presa. Cada vez es más frecuente -conforme se intensifica la explotación automática y el control remoto- que la vigilancia sobre una serie de presas se realice en una oficina donde se centraliza la inspección de forma permanente y continua.

La responsabilidad del mantenimiento y de los trabajos de reparación se asignan a personal de diferente categoría técnica en función de la complejidad del trabajo. La explotación durante las avenidas, particularmente en condiciones extremas o de emergencia, debe ser responsabilidad de la más alta autoridad administrativa involucra-

da. En caso de pérdida de contacto con la oficina principal debe estar prevista la transferencia automática de responsabilidad al Director de Explotación.

Aunque las avenidas extremas son sucesos muy raros, la familiaridad con el equipamiento y el conocimiento exacto de las reglas de explotación en estas circunstancias aumentan, considerablemente, la eficacia y seguridad del comportamiento en emergencias. Por esa razón es necesario que el personal sea entrenado a intervalos regulares y que se incluya en el entrenamiento a los suplentes porque muy bien puede suceder que las avenidas ocurran cuando los agentes principales estén ausentes.

2.6.2. Conservación

La conservación es el trabajo de rutina que se requiere para impedir el deterioro y, en su caso, corregir lo antes posible sus efectos. Los trabajos de mantenimiento deben ejecutarse a partir de las inspecciones realizadas a intervalos regulares tanto sobre las obras civiles como sobre los sistemas mecánicos y eléctricos. La inspección de rutina, diaria o mensual, debe ser responsabilidad del Titular de la presa y efectuada, generalmente, por el personal de explotación. Sin embargo, el análisis completo relativo a la seguridad de la presa debe ser responsabilidad de técnicos independientes que la inspeccionen con mucha menor frecuencia: del orden de uno a cinco años de intervalo. Esta inspección independiente del Titular de la presa es un requerimiento legal en muchos países.

En la conservación de los aliviaderos deben incluirse procedimientos que permitan garantizar que estarán plenamente operativos durante la estación de avenidas. Cuando las compuertas son muy grandes, del orden de veinte metros de altura, no es fácil comprobar -por constricciones de explotación- la apertura total de la compuerta y en tales casos es obligado alcanzar un compromiso entre apertura parcial bajo carga o apertura total con ataguías.

Los desagües de fondo deben ser comprobados de manera similar a las compuertas; es decir, bajo carga total si es posible. Ocurre a menudo, sin embargo, que los encargados de la explotación no están muy dispuestos a utilizar los desagües de fondo para estas comprobaciones porque temen que se produzcan dificultades, debido a las vibraciones, que afecten a la estanqueidad. Debe

recordarse, no obstante, que para que las condiciones de explotación sean fiables el funcionamiento de las válvulas ha debido ser comprobado mediante ensayos efectuados con la mayor carga hidráulica y con el máximo caudal compatibles con las inundaciones aguas abajo.

Las estrategias de conservación intentan obtener el mínimo valor actualizado de la suma de los costes de rotura, inspección y reparación. Suele ocurrir de esta forma que los trabajos esenciales para la conservación y reparación se postponen en función de la pequeña probabilidad de vertido y de las dificultades para la explotación inherentes a las pruebas; debe tenerse en cuenta, sin embargo, que las consecuencias pueden ser muy serias como ilustran los casos de la cavitación ocurrida en los aliviaderos de las presas de Glen Canyon, Estados Unidos, y Karun I, Irán.

2.6.3. Explotación

La inspección y conservación se planifican y realizan de forma que se pueda garantizar una adecuada explotación durante la ocurrencia de avenidas; se recuerda a este respecto que durante las avenidas extremas se generan situaciones atípicas y no contempladas previamente. Sin embargo, es obligado comprobar también la explotación diaria ya que se conocen casos -como el de la presa del Ródano- donde el desagüe de pequeños caudales con aberturas parciales de grandes compuertas ha producido un deterioro prematuro.

Los requerimientos medioambientales pueden incluir el control de los gases disueltos en el tramo del río situado aguas abajo de la presa a fin de evitar, o al menos reducir, los efectos que estos gases pueden producir sobre los peces. Se ha comprobado que los niveles de sobresaturación del gas disuelto aumentan con la profundidad del agua, de manera que cuanto más capaz es el pez de nadar en profundidad menos riesgo tiene de sufrir traumatismos producidos por las burbujas de gas; no debe olvidarse, sin embargo, que cuanto mayor es la profundidad del agua mayor es el riesgo de actuación de los depredadores.

Las normas de explotación de los aliviaderos deben incluir una descripción completa de los dispositivos y de las instrucciones de manejo de cada compuerta y válvula. Los documentos correspondientes deben redactarse de manera tan clara y completa como sea necesario para que el personal responsable de la explotación de la pre-

sa -que puede no estar familiarizado con el Proyecto- pueda operar sin vacilación las estructuras hidráulicas durante las emergencias.

Las Normas de Explotación deben dividirse en tres partes:

▼ 1. Información General. Ha de permitir identificar los casos de emergencia, las responsabilidades, contactos, procedimientos de comunicación, características del equipamiento y de los materiales, personal técnico, etc.

▼ 2. Instrucciones de Explotación. Deben describir, detalladamente, los dispositivos existentes para desaguar las avenidas e incluir planos, fotografías e instrucciones, paso a paso, para la explotación de las compuertas incluyendo la posible necesidad de acudir a otras fuentes de energía y el empleo de los grupos de auxilio.

▼ 3. Inspección y Conservación. Deben incluir instrucciones, con listas de comprobación, tanto para las instrucciones de rutina como para las generales.

Las Normas de Explotación durante las avenidas deben ser establecidas, en cada presa, a partir de las características del hidrograma y de las circunstancias técnicas específicas: volumen de regulación; tipo y capacidad del aliviadero; caudales límites aguas arriba y aguas abajo; limitaciones en el nivel del embalse; etc.

Deben establecerse consignas de explotación -preferiblemente en forma de gráficos- tanto durante las situaciones normales como en emergencias y definir los caudales máximos que se pueden evacuar en función de los caudales afluentes y del nivel del agua en el embalse. Si durante las avenidas se pierden las comunicaciones con el Centro de Emergencia deben existir instrucciones claras disponibles para que las decisiones puedan ser tomadas por los operadores locales. Los sistemas de previsión de avenidas en tiempo real sirven para guiar y optimizar los procedimientos de explotación.

3. CONTRIBUCIÓN ESPAÑOLA

Como ya se ha indicado previamente España fue el país que mayor número de informes presentó a esta Q.71. En las páginas que siguen se describen, brevemente, los cinco pero se recomienda su lectura completa porque contienen gran cantidad de información de enorme interés, tanto sobre

la forma de realizar las investigaciones preliminares como sobre detalles constructivos que es imposible incluir en una visión panorámica como la que se pretende dar en este artículo.

3.1. DETERIORO DE LOS MECANISMOS DE LAS OBRAS DE DESAGÜE DE LAS PRESAS. CAUSAS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Esta comunicación, presentada por *Ángel Araoz*, comienza por indicar los tipos de válvulas y compuertas que, a su juicio, son los más adecuados tanto para el aliviadero como para los desagües de fondo y las tomas de agua. A continuación analiza los criterios de Proyecto y Ejecución y llega a la conclusión de que los errores más frecuentes son la falta de aireación y un diseño poco adecuado desde el punto de vista hidrodinámico. Finalmente comenta los problemas de Explotación y Conservación y destaca la necesidad de que las partes críticas del equipamiento sean de acero inoxidable para evitar deterioros a corto plazo que se concretan después en la reducción de la vida útil de válvulas y compuertas. Destaca que el seguimiento de un programa adecuado de conservación permite extender la vida de los mecanismos hasta cuarenta años, o más, mientras que su ausencia garantiza la ocurrencia de problemas en plazos breves.

3.2. REPARACIÓN DE LAS COMPUERTAS DE LOS DESAGÜES DE FONDO DE LA PRESA DE LA TRANQUERA

El informe ha sido presentado por *José Luis Uceda*, et al, y está dedicado a la descripción de la problemática existente en las compuertas de los desagües de fondo de la presa de la *Tranquera* y a los trabajos realizados para lograr su rehabilitación. En el informe se describen las diferentes alternativas analizadas, sus ventajas e inconvenientes y las razones que condujeron a adoptar la decisión de realizar dos ataguías, una para cada conducto, en la zona de entrada al falso túnel en el que se alojan las compuertas. Se indica que -a pesar de que esta solución facilitó de manera importante la ejecución de los trabajos- fue necesario utilizar submarinistas cuyas labores estuvieron muy dificultadas por la frialdad del agua y la mínima visibilidad disponible.

3.3. REPARACIÓN DE LAS OBRAS DE EVACUACIÓN DE LAS PRESAS

En su contribución *Federico L. Salinas* detalla los trabajos realizados en doce presas a fin de conseguir la reparación y rehabilitación de sus desagües de fondo. A partir de la experiencia obtenida con estos casos propone una serie de recomendaciones sobre los temas que se indican a continuación que, para mayor facilidad de aplicación, desglosa en diferentes subtemas: a) Colocación de ataguías para poder efectuar reparaciones en seco en desagües profundos; b) Accesos a los desagües profundos y de fondo; c) Inspección interior de los conductos metálicos y blindajes; d) Protecciones a tomar por los submarinistas contra el deslizamiento de lodos, y e) Atenciones que es necesario tener en cuenta cuando se realizan trabajos subacuáticos.

3.4. REPARACIÓN DE LOS DESAGÜES DE FONDO DE LA PRESA DE ORELLANA

Francisco Barbancho describe los trabajos que hubo que realizar para reparar los desagües de fondo de la presa de *Orellana*. La obturación de los conductos se realizó colocando dos escudos metálicos en la parte de aguas arriba. El deficiente estado en que se encontraron tanto los tubos como las compuertas sugirió la idea de substituir, completamente, los desagües de fondo. A este fin la primera labor realizada fue la instalación de una capa de acero inoxidable en la superficie interior de las tuberías iniciales mediante su fusión y soldadura a las tuberías primitivas. Posteriormente, con objeto de conseguir la impermeabilidad a lo largo del contacto con el hormigón circundante, se inyectó toda la zona. Finalmente se colocaron nuevas compuertas de control, tipo Bureau, se repararon todos los elementos auxiliares y se instaló un sistema de ventilación completamente nuevo.

3.5. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE DESAGÜE DE LAS PRESAS DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO

Eustorgio Brisomontiano, et al, describen en este informe los estudios realizados en quince

presas de la Confederación Hidrográfica del Duero a fin de evaluar el estado actual del equipamiento de sus sistemas de desagüe. El grupo de presas analizado tiene muchos años de antigüedad ya que las más moderna fue terminada hace más de veinticinco años, mientras que la más antigua empezó a construirse hace ochenta años; ante esta situación se decidió comenzar por efectuar una recopilación de información y de toma de datos con objeto de conocer el estado real en que se encuentra cada una de ellas. La investigación de campo se extendió no solamente a las obras de infraestructura sino, particularmente, a los elementos electro-mecánicos y de explotación y se concluyó con la observación de las maniobras de apertura y cierre. A partir de estas investigaciones, y después de realizar el oportuno trabajo de gabinete, se clasificaron las presas en tres grupos en función de la gravedad que podría derivarse de un mal funcionamiento y de la urgencia con que se deberían acometer los trabajos de reparación.

4. EL CONGRESO DE DURBAN

4.1. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LAS SESIONES

En el Congreso de Durban se ha utilizado, por primera vez, un procedimiento diferente al clásico empleado en los congresos anteriores para el desarrollo de las sesiones; este nuevo procedimiento -que fue adoptado a partir de las recomendaciones de un Grupo de Trabajo, nombrado al efecto entre los miembros de ICOLD- tiene como objetivo fundamental seleccionar los temas del mayor interés para los asistentes y agilizar el desarrollo del debate.

El método se basa en la selección inicial de los temas a tratar en las sesiones del Congreso -que realiza el P.G. a la vista de los informes recibidos- y en la elección por el P.G. de los oradores que considera más interesantes, a la vista de las propuestas recibidas al efecto desde los COMITES NACIONALES una vez que éstos han conocido los temas a debatir en el Congreso. Ni siquiera es necesario que los oradores seleccionados hayan enviado previamente su informe para publicar en los libros del Congreso, sino que el P.G. decide que su intervención es la más interesante para el debate propuesto.

4.2. TEMAS PROPUESTOS PARA EL DEBATE

El P.G., después de revisar todos los informes presentados, decidió que los temas más interesantes se podían agrupar de la siguiente forma.

a) DETERIORO DEL EQUIPO

- ▼ Experiencias de funcionamiento defectuoso de válvulas y compuertas.
- ▼ Rehabilitación de desagües de fondo antiguos; trabajos realizados bajo el agua.
- ▼ Comportamiento de los sistemas automáticos y de control remoto para las compuertas de los aliviaderos

b) CAVITACIÓN Y ABRASIÓN EN ALIVIADEROS Y DESAGÜES DE FONDO

- ▼ Casos históricos de daños por cavitación o abrasión.
- ▼ Revestimientos de alta resistencia. Características y comportamiento.
- ▼ Aireación de la lámina de agua con objeto de evitar o reducir la cavitación.
- ▼ Materiales y productos para las reparaciones de las superficies de hormigón. Características y comportamiento.

c) EROSIÓN AGUAS ABAJO DE LAS OBRAS HIDRAÚLICAS

- ▼ Evolución de la profundidad del agua en el colchón amortiguador. Experiencias en prototipos.
- ▼ Daños causados en los revestimientos de hormigón de los colchones amortiguadores y de los cuencos amortiguadores.
- ▼ Rápidas de aliviaderos sin revestir. Proyecto y comportamiento

4.3. SELECCIÓN DE ORADORES

Una vez distribuida -a finales de Agosto de 1994- a todos los *Comités nacionales* la lista de temas seleccionados por el P.G. para el debate, éstos enviaron sus propuestas de intervención indicando el orador y un resumen de su eventual intervención. A partir de las propuestas recibidas el P.G. de la Cuestión 71 decidió que intervinieran tres oradores españoles, sobre un total de doce, lo que nuevamente nos convirtió en el país con mayor intervención y avala el interés de los temas sugeridos por España. Los oradores seleccionados tuvieron un plazo de doce minutos para exponer su contribución y, además, actuaron como expertos durante el debate global, interviniendo a requerimiento del Presidente de la Sesión.

4.4. DESARROLLO DEL CONGRESO

Con un temario tan interesante como el propuesto por el P.G. y teniendo en cuenta además que pudo elegir los oradores -lo que evitó la, a menudo, tediosa presentación resumida de temas ya publicados en los libros del Congreso que ocurría con el procedimiento anterior- la sesión resultó extraordinariamente interesante con una gran aportación de datos, ideas y conclusiones. En este Congreso culminaron por fin con éxito las gestiones realizadas por el COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL para que existiera traducción simultánea al español y también se pudo intervenir en el debate en nuestro idioma, de forma que tanto la asistencia como la intervención de nuestros compatriotas fue mucho más elevada que en los Congresos previos.

La extensión que ha alcanzado este artículo aconseja no incluir aquí el desarrollo de la sesión que, dado su interés, el autor se compromete a redactar en los próximos meses para un nuevo artículo de la R.O.P. ●

1) Este acontecimiento fue expuesto con cierto detalle durante las Jornadas del Congreso.

2) En todo el artículo se utiliza -de acuerdo con el DICCIONARIO TECNICO DE PRESAS, publicado por ICOLD- la expresión colchón amortiguador como traducción de *plunge pool*; es decir el estanque, producido natural o artificialmente, sobre el que inciden los chorros de agua.

3) En el próximo futuro el COMITE NACIONAL DE GRANDES PRESAS publicará una GUIA TECNICA sobre EXPLOTACION Y CONSERVACION con el objetivo de actualizar los procedimientos y conocimientos a este respecto.