

COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

PROPUESTA DE GUÍA TÉCNICA PARA EL EQUIPAMIENTO DE ÓRGANOS DE DESAGÜE

Arturo Gil¹, Juan Carlos de Cea² y Fernando Abadía³

RESUMEN: Los elementos hidromecánicos de una presa no suelen constituir la parte de mayor entidad de la misma y a menudo se les suele conferir una importancia secundaria en su diseño. No obstante se ha puesto de manifiesto en ocasiones que, por muy variados orígenes, los fallos en estos órganos han dado lugar a incidentes de gran importancia. Tradicionalmente, sobre los órganos de desagüe se han fomentado y divulgado aspectos de diseño y la construcción, pero curiosamente, todas estas cuestiones se han venido tratando casi exclusivamente sobre la obra civil. Parece como si los ingenieros civiles obviaran en cierto modo estos elementos y confiaran muchos de sus aspectos a técnicos de otras disciplinas. No obstante la responsabilidad de la concepción, construcción, explotación y seguridad de la presa recae tradicionalmente en el ingeniero civil. El presente artículo pretende llamar la atención sobre la necesidad de elaboración de una guía técnica acerca del diseño, montaje, explotación y conservación de estos elementos y propone un índice para la misma.

¹ Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Iberdrola Generación

² Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Ministerio de Medio Ambiente

³ Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Dragados S.A.

1. INTRODUCCIÓN

Los elementos de alivio, entre los que no vamos a considerar a las tomas de agua, tienen un carácter decisivo en la operación del embalse así como en la gestión de las avenidas, desempeñando una función vital dentro de la seguridad de la presa. No suelen constituir la parte de la obra de mayor entidad pero su importancia se viene demostrando a través de la explotación continuada de las presas, tanto en situaciones normales como en las extraordinarias de riesgo, manteniendo una correcta funcionalidad de la obra y el nivel apropiado de seguridad.

Por desgracia, su relevancia también se ha puesto de manifiesto en casos en que, por muy variados orígenes, los fallos en estos órganos han dado lugar a incidentes de distinto alcance que, en ocasiones, han llegado al nivel de catástrofe. Las consecuencias sufridas se han localizado en única parte o en varias, habiéndose dado afecciones aguas arriba, en la presa, en el propio órgano de alivio o en el cauce.

2. ESTADÍSTICA E INCIDENTES

2.1. Estadística

La estadística mundial sobre incidentes en presas (término que agrupa accidentes y roturas, es decir pérdidas parciales o totales de agua, respectivamente) debidos a fallos de funcionamiento de sus elementos auxiliares, a maniobras inadecuadas de apertura de válvulas o compuertas o mal funcionamiento de los propios órganos de desagüe, señala que el sobrevertido generado en esos casos ha sido causa del 31% de las roturas de las presas de materiales sueltos y del 43% de las de mampostería. Sin embargo, y a pesar de lo anterior, un análisis detallado de dicha estadística pone de manifiesto que en la mayor parte de los casos, dichos incidentes han sido debidos a problemas relacionados con un inadecuado diseño del aliviadero; el porcentaje de roturas en las que el bloqueo de los sistemas de descarga, de las válvulas o compuertas de cierre de desagües de fondo o intermedios o aliviaderos, es muy reducido. En efecto, en el conocido Boletín de ICOLD del año 1.973 de título Lessons from Dam incidents, de los 534 incidentes reportados, que se corresponden con un total de 426 presas, 6 son debidos a problemas de explotación, y de forma más detallada, tan sólo 2 son debidos a los bloqueos del sistema de descarga.

En el año 1.996 se efectúa la actualización del boletín de 1.973. El nuevo boletín, de título Rotura de Presas. Análisis estadístico, incluía 178 casos de incidentes de presas ocurridos en el período, y como modo de fallo posible, la rotura de compuertas, ya que algunos accidentes habían causado un elevado número de muertos. Las roturas ocasionadas como consecuencia de una consigna inadecuada de las maniobras de los órganos de desagüe o de un mal funcionamiento de los órganos de evacuación, se produce en dos ocasiones como causa principal, y en otras 2 ocasiones como causa secundaria por un mal funcionamiento de los mismos.

Tradicionalmente, sobre los órganos de desagüe se han fomentado y divulgado aspectos de diseño y la construcción así como las experiencias sobre su explotación, incluidos los fenómenos de deterioro y sus consiguientes

reparaciones. Pero curiosamente, todas estas cuestiones se han venido tratando casi exclusivamente sobre la obra civil, no dedicando prácticamente atención al equipamiento principal electromecánico y a sus sistemas complementarios. Parece como si los ingenieros civiles obviarán en cierto modo estos elementos y confiarán muchos de sus aspectos a técnicos de otras disciplinas, sobre todo las relativas a calderería, valvulería, montajes metálicos, accionamientos y sistemas auxiliares.

Pero no hay que olvidar que la responsabilidad de la concepción, construcción, explotación y seguridad de la presa recae tradicionalmente en el ingeniero civil, que deberá considerar a estos equipos de manera especial, teniendo presente que de nada servirá un correcto diseño y una adecuada capacidad de un elemento de alivio si sus equipos de control presentan deficiencias de origen o sobrevenidas en el tiempo que los pueden llegar a hacer inseguros en cuanto a su operatividad o integridad.

Dentro de la explotación de una presa tipo, los elementos que conforman el equipamiento de los órganos de alivio son componentes críticos que requieren mucha más atención y cuidados que la obra civil, y esto viene motivado tanto por su complejidad como por la delicada naturaleza de los materiales que los constituyen, sin olvidar, sobre todo, los riesgos a que puede conducir cualquier fallo en ellos.

Del análisis de las experiencias recogidas se deduce que el mantenimiento es vital para la fiabilidad de la explotación. Teoría y práctica coinciden en que la correcta operación de los equipos está relacionada con la adecuada conservación de todos sus componentes.

También es de resaltar la cantidad de presas antiguas que poseen desagües profundos inutilizados o inoperantes, muchos de los cuales han llegado a esa situación por falta de mantenimiento y/o por la falta de confianza de que en caso de su apertura no fuera posible su cierre. En el casi centenar de primeras revisiones de seguridad preceptuadas por el vigente Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses para las presas comprendidas en su ámbito de aplicación, y examinadas por el área de Vigilancia e Inspección de presas, se ha comprobado que dicha situación tiene lugar en un 53% de las presas examinadas. Es una situación a resolver, aunque no siempre se presenta de manera fácil.

Por otro lado, los avances en las tecnologías de comunicaciones, informática y electrónica están permitiendo la adopción de automatismos y del telecontrol, que en otro tiempo no eran fiables pero que requieren unas disposiciones que garanticen la seguridad en su funcionamiento.

2.2. Algunos ejemplos

2.2.1. Presas Españolas

Si bien no han generado incidentes destacables desde que entrara en explotación, los 7 desagües de fondo de 2.350 mm de diámetro de la presa de Iznajar, capaces de evacuar un caudal máximo de 950 m³/sg, y cerrados aguas arriba mediante unas compuertas de oruga y con válvulas Howell-

Bunger aguas abajo, desde su instalación, estas últimas, por sus grandes dimensiones, no han funcionado correctamente nunca, habiendo generado, además, numerosos problemas: acodamientos, aumentos de presión por encima de la de trabajo de los sistemas oleo-hidráulicos de accionamiento, etc. Esas válvulas han sido remplazadas, recientemente, por otras de menor tamaño.

Incidentes como tal, si han tenido, sin embargo, las presas de Santa Teresa, en el año 1.963, Torrejón Tajo (1.965), San Martín (1.974) y Urdalur (1.999).

La presa de Santa Teresa, por un fallo de los automatismos de elevación de 5 de sus compuertas Taintor -de 16 m de anchura y 3,5 de altura- sufrió un proceso de desbordamiento lateral del agua que provocó importantes daños por erosiones en el estribo.

Durante la construcción de la presa de Torrejon Tietar se produjo, como consecuencia de su inadecuado diseño, la rotura de una compuerta, hecho que ocasionó 30 muertos e importantes daños, por erosión, en el estribo derecho de la presa.

En la presa de San Martín se produjo la rotura de una compuerta Taintor de 17 m de anchura y 10 m de altura, con el embalse lleno, como consecuencia del fallo de una soldadura. La compuerta apareció a una distancia de 300 m aguas abajo. La rotura dio lugar a una revisión de todas las soldaduras y al recálculo de las compuertas de todas las presas situadas en la cuenca del Sil.

Por último, en junio del año 1999 se produjo el reventón de uno de los conductos de los desagües de fondo de la presa de Urdalur, debido al fallo de algún cordón de soldadura y a un escaso espesor de la tubería que los constituye. Como consecuencia de ese incidente se ocasionaron daños de cierta entidad en numerosos puntos de la presa, y de manera especial en algunos de los elementos de instrumentación instalados.

2.2.2. Proyectos hidroeléctricos del Caroní (Venezuela)

En los años 70 y hasta mediados de los 80 se desarrollaron en el río Caroní en Venezuela los trabajos correspondientes a los desarrollos de Guri 1ª y 2ª fase que darían lugar a, hasta la construcción de Itaipú en Brasil y Tres Gargantas en China, la mayor instalación de generación de energía eléctrica del mundo (10.000 MW).

Dentro de la construcción, el desvío del río estaba planificado a través de una serie de conductos de unos 50 m² en la zona inferior del aliviadero de la presa que posteriormente se cerraban mediante una compuerta de tipo caterpillar para proceder a su sellado con hormigón.

Dichas compuertas fueron diseñadas, construidas e instaladas usando los procedimientos y normas que en aquella época se consideraron adecuadas para el diseño de estos elementos. Al objeto de ganar tiempo en las actividades de cierre del desvío estas compuertas fueron montadas en seco antes de proceder a la puesta en funcionamiento de los conductos, por lo cual

estuvieron sometidas durante un considerable período de tiempo a las vibraciones inducidas por la fuerte corriente a través de los conductos.



Conductos de desvío

El resultado de ello fue que una de las compuertas no pudo ser bajada, presuntamente por los daños originados en el sistema de orugas por las vibraciones sufridas, originando así un problema de gran magnitud. La resolución del mismo comportó un retraso importante en la plena puesta en marcha de la central y un coste adicional de más de 10 millones de dólares de la época.

Años más tarde cuando se planteó la construcción de otras dos centrales aguas abajo en las cuales era imperativo usar el mismo procedimiento de desvío y cierre, las condiciones bajo las que se realizaron el diseño, construcción, montaje y operación de las compuertas necesarias para el cierre tuvo en cuenta la lección aprendida y se exigieron las siguientes condiciones:

- Las compuertas serían de tipo vagón.
- Habría dos compuertas, una de cierre y otra de emergencia que sería actuada solamente en caso de fallo de la primera.
- Se realizaría un modelo dinámico del conducto que presentase las peores condiciones de operación y de sus compuertas, a escala no menor de 1/25. En dicho modelo se sometería a prueba el diseño realizado analizándose las presiones y regímenes hidráulicos en el conducto, su aireación, el comportamiento dinámico frente a vibraciones y los esfuerzos resultantes sobre las compuertas.

El resultado de estos ensayos fue sorprendente e introdujo importantes modificaciones en los diseños y en la operación.



Compuerta de cierre

En primer lugar la aireación del conducto prevista inicialmente era insuficiente y fue necesario incrementar la sección del conducto de aireación en más del 200%.

La compuerta de cierre sufría una vibración de amplitud cercana a 1 m en el momento de iniciar la maniobra de cierre, lo cual hubiese producido la adoración de la misma. Ello era achacable principalmente a la asimetría del flujo de salida ya que el conducto ensayado reproducía el más cercano al muro de configuración del cuenco de amortiguación. Por

ello se cambió el procedimiento alterando el orden de cierre de conductos. Ello exigió modificaciones en las estructuras previstas para el rodaje del puente grúa que manejaba dichas compuertas.

La compuerta de emergencia, en el caso de que tuviera que entrar en acción, se había calculado que sufriría un down-pull (empuje hidráulico hacia abajo) de unas 40 t. La realidad fue que en un primer ensayo dicho empuje fue de 220 t y modificando el labio inferior hasta el límite permitido por su resistencia no fue posible bajarlo de 140 t, lo cual era en principio impensable para una compuerta cuyo peso propio era de 85 t. Ello obligó no solamente a cambiar el pórtico grúa que manejaba dichas compuertas sino también a modificar sustancialmente la estructura del puente del aliviadero en el cual rodaba dicho puente grúa.



Compuertas de emergencia

¿Qué hubiera ocurrido de no haber sido realizado el ensayo mencionado? Seguramente se hubiera repetido, en alguna de las fases, el resultado anterior. ¿Cuándo es conveniente realizar este tipo de ensayos y que parámetros son convenientes someter a ensayo? Esta es una de las respuestas que puede proporcionar una guía técnica.

2.2.3. Presa de Porce II (Colombia)

La presa de Porce II en Colombia monta en su aliviadero unas compuertas Tainter contrapesadas de grandes dimensiones.



Compuertas contrapesadas

Una vez realizado su montaje y antes de entrar en servicio dichas compuertas fueron liberadas de sus anclajes. En ese momento una de ellas giró incontroladamente desgarrando el nudo de inserción del servomotor y encajándose en el canal de la rápida de evacuación aguas abajo dañando la estructura de la compuerta y destrozando las vigas de apoyo de los servomotores.

El accidente, además de producir un retraso importante en la puesta en funcionamiento de la central, causó la pérdida de dos vidas humanas.

Una vez analizada las causas del accidente quedaron de manifiesto las causas del mismo que, como siempre en estos casos, no se limitaba a una sola sino a la combinación de varias de ellas.



Compuerta después del accidente

En primer lugar existió un error de

montaje, ya que los servomotores no quedaron totalmente llenos de aceite. Al no estar llenos y ser liberada la compuerta de sus anclajes, esta giró al no tener la sujeción del servomotor, hasta que el brazo de la misma chocó contra dicho servomotor. Ahí debería haber parado el giro, aunque se hubiera dañado seriamente el servomotor, pero en ese momento rompió la sujeción de dicho servo con el brazo de la compuerta; al no existir ya ningún obstáculo para parar el giro de la compuerta, ésta se estrelló finalmente contra los muros de la rápida.

Una vez analizada la rotura se comprobó que el diseño de ese nudo tenía graves deficiencias estructurales, adicionalmente la ejecución de varias soldaduras presentaba defectos importantes.



Rotura nudo unión con el servomotor

A pesar de que la empresa encargada del diseño, fabricación y montaje era conocida y prestigiada en este campo, la responsabilidad contractual recayó en la empresa constructora del proyecto que era quien la había contratado para este trabajo.

Accidentes como este ejemplifican por sí solos la conveniencia de tener una guía técnica adecuada.

3. TENDENCIAS

Un referente de la atención directa prestada a los órganos de desagüe en foros sobre presas puede extraerse de las cuestiones tratadas en los hasta ahora 22 Congresos Internacionales de Grandes Presas de ICOLD. En siete de ellos se abordan temas sobre órganos de desagüe pero sólo en dos de los últimos, el XVIII celebrado en Durban y, sobre todo, en el XX de Pekín, se fijaron cuestiones relativas a los equipamientos. Artículos de estos dos congresos tratan, más o menos con profundidad, aspectos relacionados con la aplicación de diferentes tipos de cierres, su diseño, construcción y montaje así como con su operación, deterioro, mantenimiento y modificación.

Otro referente importante proviene de los congresos internacionales Hydro (el de 2008 ha tenido lugar en Slovenia) que se celebran anualmente organizados por la revista inglesa Hydropower and Dams. Dichos congresos están dedicados íntegramente a la problemática relacionada con la producción de energía hidroeléctrica, pero tienen sesiones especiales dedicadas a la seguridad de presas y a los trabajos subterráneos relacionados con la construcción de centrales. A pesar de que los temas relacionados con el equipamiento apuntan fundamentalmente a los elementos electromecánicos los elementos hidromecánicos suelen tener su rincón específico, siendo tratados en sesiones especiales.

Lo anterior confirma el escaso interés que la ingeniería civil tradicionalmente ha tenido acerca de estos sistemas en convocatorias públicas y, por otro lado, la aparente tendencia de cambio que se ha apreciado en los últimos años.

4. PROPUESTA DE ÍNDICE

Por todo lo anterior, y a tenor de la enorme importancia de los equipamientos de los órganos de evacuación, sería de mucha utilidad el contar con un documento que reuniera una serie de recomendaciones, unas teóricas y otras basadas en la experiencia, que ilustraran y orientaran acerca de cuestiones relacionadas con estos elementos. El texto podría constituir una nueva Guía Técnica de Seguridad, bajo el título “Equipamiento de órganos de desagüe”, sumándose a la serie de guías técnicas elaboradas por el Comité Nacional Español de Grandes Presas. Estas guías, que complementan la normativa en vigor con un carácter orientativo muy práctico, han tenido una gran acogida por parte de los ingenieros relacionados con el mundo de las presas y deberían completarse con el documento que proponemos al objeto de no dejar de considerar los aspectos relativos a unos elementos clave en la seguridad de las presas como son los equipos de aliviaderos y desagües.

El documento repasaría las aplicaciones adecuadas de los diferentes tipos de compuertas y válvulas y sus sistemas de accionamiento. Consideraría las fases de diseño, labores en taller y montaje en obra. Trataría de los elementos complementarios y energía, automatismos y control a distancia. Señalaría recomendaciones sobre criterios de operación, disposiciones de seguridad, mantenimiento, revisiones y correcciones. Y terminaría con una serie de anexos de interés.

Para finalizar se expone una propuesta del contenido de la Guía detallado que, de redactarla, con seguridad sería mejorado con el consenso general de las personas encargadas de su elaboración final.

Índice de la Guía

1. Introducción

Los órganos de desagüe en la seguridad de las presas
Estadística de incidentes
Normativa aplicable
Justificación y contenido de la guía

2. Compuertas para aliviaderos

Tipos de aliviaderos
Clases de compuertas
Componentes estructurales
Funcionamiento. Aireación
Aplicaciones
Piezas fijas
Estanqueidades

Sistemas de accionamiento

3. Válvulas y compuertas para desagües profundos

Desagües de semifondo y de fondo

Rejillas

Tipología de válvulas y compuertas

Mecanismos

Funcionamiento

Aireación

Aplicaciones

Piezas fijas

Blindajes

Estanqueidades

Sistemas de accionamiento

Caudales de restitución

Otros usos de los desagües

4. Ataguías

Finalidad

Tipología

Medios de maniobra

5. Proyecto

Hipótesis de carga
Tensiones admisibles
Materiales y espesores
Coeficientes de rozamiento
Esfuerzos en maniobras
Piezas fijas
Anclajes
Estanqueidades
Uniones
Sistemas de aireación
Resistencia a la abrasión
Protecciones anticorrosión
Protecciones contra el hielo
Tolerancias
Modelos reducidos
Planos
Instrucciones de operación
6. Construcción en taller
Verificaciones de materiales
Control de soldadura y uniones
Estanqueidades
Aplicaciones anticorrosivas
Pruebas en vacío y con carga
Marcado de piezas a ensamblar en obra
Desmontajes
7. Transporte a obra
Identificación de piezas
Embalajes
Cargas y descargas
8. Montajes en obra
Replanteos
Controles de soldadura y uniones
Estanqueidades
Verificaciones de colocación de piezas fijas y blindajes
Pintura
Pruebas en vacío y en carga
Archivo documental
 Certificados
 Planos
 Instrucciones de operación
9. Elementos auxiliares

Equipos de maniobra
Motores
Sistemas
 Eléctricos
 Hidráulicos
 De aire
 De aceite
Pórticos y puentes grúa
Pruebas
10. Energía
Fuentes
Grupo de emergencia
Líneas de alimentación
11. Cuadros de maniobras
12. Automatismos
Sistemas automáticos
Sistemas automatizados
Utilidad
Supervisión
13. Telemandos
Justificación
Jerarquización de modos de operación
14. Operación
Instrucciones
Localización de documentación
Presencia de personal
Modo operativo de desagües profundos
Posición de los cierres de los desagües profundos
15. Disposiciones de seguridad
Líneas de energía
Grupo portátiles
Redundancia de comunicaciones
Recomendaciones y limitaciones para automatismos
Aviso aguas abajo de las maniobras
Posiciones de los cierres de desagües profundos utilizados para restitución de caudales
Maniobras
 Amplitud

Secuencia

Protecciones de equipos a la intemperie

Accionamientos

Acceso a cuadros de control

Desenergización de sistemas

16. Mantenimiento, revisiones y reparaciones

Alcance

Cierres y blindajes

Estanqueidades

Pintura

Rejillas

Equipos de maniobra

Sistemas auxiliares

Procedimientos de mantenimiento predictivo y preventivo

Revisiones

Diagnosis

Evaluación

Actuaciones

Pruebas en vacío y con carga

Periodicidad de pruebas

Procedimiento para acciones correctivas

Documentación

17. Modificaciones

Reformas de mejora

Recrecimiento de embalses

18. Abandono de presas

Redacción de la planificación

Actuaciones

19. Normas aplicables

Normas relativas a calidad de aceros

Normas relativas a ensayos de materiales metálicos

Normas relativas a ejecución y control de soldaduras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS.-

Compuerta fusibles

Presas inflables

Casos de incidentes

Casos de modificaciones