

GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE PRESAS

SEGURIDAD DE PRESAS

P-1



COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE
GRANDES PRESAS

GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE PRESAS

SEGURIDAD DE PRESAS



**COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS**



**COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE
GRANDES PRESAS**

Foto portada: Presa de Limonero

Coedita:

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

ISBN: 84-380-0298-6

Comité Nacional Español de Grandes Presas

ISBN: 84-89567-15-8

Depósito Legal: M-7890-2005

Imprime: *Gráficas Rito*

Arroyo Bueno, 2 - 28021 Madrid

PRESENTACIÓN

Después de casi treinta años de vigencia de la "Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes presas" de 1967, con la que se proyectaron y construyeron más de la mitad de las grandes presas españolas, el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente aprobó en el año 1996 el "Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses", con el que se ponían al día los conceptos y criterios sobre seguridad de presas, que habían evolucionado de manera muy significativa desde la mitad de la década de los años setenta. Este nuevo Reglamento, de aplicación aun parcial pero progresiva, presenta un enfoque global de la seguridad, y tiene un carácter más general y abierto que la anterior Instrucción, incidiendo más específicamente en los temas relativos a la gestión de la Seguridad, y a la vigilancia e inspección de las presas. Por ello es necesario enmarcar los aspectos más técnicos relativos a la seguridad estructural, hidrológica y sísmica, y los referentes a las distintas fases de puesta en carga, construcción y explotación, en otro tipo de publicaciones, como son estas Guías Técnicas que elabora el Comité Nacional Español de Grandes Presas, y que son un complemento esencial y necesario del Reglamento.

En estas Guías Técnicas del Reglamento se presenta el estado del arte en los diversos aspectos relativos a la seguridad de las presas, y se dan unas recomendaciones para la evaluación y consecución de los objetivos de seguridad. Hasta la actualidad el Comité Nacional Español de Grandes Presas ha publicado las Guías Técnicas de Seguridad referentes a la Avenida de Proyecto, Aliviaderos y Desagües, Construcción de Presas y Control de Calidad, Estudios Geológicos-Geotécnicos y de prospección de materiales, Criterios para Proyectos de Presas y sus obras anejas (Tomo1), y Auscultación de las presas y sus cimientos. Ahora publicamos la guía nº 1, sobre **SEGURIDAD DE PRESAS**, que es un compendio de las obligaciones legales sobre la Seguridad de las presas y embalses, en la que se complementan con comentarios y recomendaciones los diversos apartados del "Reglamento". Esta Guía de Seguridad ha sido elaborada bajo la dirección del Ing. D. Jesús Cajete Baltar, al que al igual que a sus colaboradores, el Comité Nacional Español le agradece el esfuerzo y entusiasmo que ha dedicado en su redacción. Igualmente quiero agradecer al Comité de Guías los trabajos de revisión y coordinación, que han dado lugar a esta versión final, aprobada por el Pleno del Comité. Con el esfuerzo de todos hemos conseguido publicar una nueva Guía de Seguridad del Reglamento, y así cumplir con nuestro objetivo de mejorar la tecnología española en el campo de las presas.

Con la presente Guía se continúa la publicación de las Guías Técnicas del Reglamento de Seguridad de Presas y Embalses con la colaboración del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, lo que supone un soporte técnico y de difusión, al que el Comité expresa su más sincero agradecimiento.

Finalmente mi agradecimiento a la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente por su colaboración en esta tarea común de completar el Reglamento con unas Guías Técnicas de Seguridad de Presas.

L. Berga

Presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas

PRÓLOGO

La GUÍA DE SEGURIDAD DE PRESAS es un compendio de las obligaciones legales sobre la materia, complementado con comentarios a los artículos del “Reglamento”, que se reproduce íntegramente en el texto. La segunda parte se refiere a la seguridad de las presas en servicio, su evaluación y mejora, incluyendo algunos ejemplos de actuaciones en presas españolas.

Buena parte de los comentarios técnicos han sido tomados del resto de las GUÍAS, publicadas o en borrador, y su redundancia pretende dar una cierta información inicial, de tipo generalista, que puede ser útil para llamar la atención sobre los aspectos clave de la seguridad, con referencias a publicaciones más especializadas.

Han participado en la redacción de esta GUÍA los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos siguientes:

Juan Manuel Buil Sanz
Jesús Cajete Baltar
José Ignacio Díaz-Caneja Rodríguez
Arturo Gil García

Fernando Girón Caro
Jesús Penas Mazaira
Antonio Soriano Peña
Jesús Yagüe Córdova

a todos los cuales hemos de agradecer el tiempo dedicado y su talante entusiasta y colaborador. En su nombre quiero expresar la esperanza de que la GUÍA sea útil, especialmente para los responsables de presas con menor experiencia, que muchas veces inician su actividad profesional en estas tareas. Desde aquí procede rendir un homenaje a su dedicación, habitualmente discreta y poco espectacular, pero que encierra un grado de responsabilidad muy elevado.

Jesús Cajete Baltar
Vocal del Comité Nacional Español de Grandes Presas
Presidente del Comité de Redacción

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	3
PRÓLOGO	5
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 La seguridad como exigencia primaria	13
1.2 Planteamiento de la presente guía	14
1.3 Cuantificación de la seguridad	15
1.4 Gestión de la seguridad	16
2. LEGISLACIÓN APLICABLE EN ESPAÑA	19
2.1 Consideraciones previas	19
2.2 Análisis histórico y normativa vigente	20
3. INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE GRANDES PRESAS	23
4. LA DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES	27
4.1 Clasificación de las presas en función del riesgo potencial	27
4.2 Planes de emergencia	28
5. EL REGLAMENTO TÉCNICO SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS Y EMBALSES	35
5.1 Ámbito	35
5.2 Disposiciones generales del reglamento	38
6. CONTROL DE LA SEGURIDAD	41
6.1 El titular	41
6.2 El organismo inspector	43
6.3 El archivo técnico	45
6.4 Normas de explotación	47
7. CRITERIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD	49
7.1 Valoración del riesgo	50
7.2 Avenidas y desagües	51
7.3 Solicitaciones	59
7.4 El terreno y los materiales	66
7.5 Medidas complementarias de seguridad	68
8. RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE PROYECTO	71
8.1 Exigencias legales	71

8.2	Contenido y alcance del proyecto	74
8.3	Tipología y cimientos	77
8.4	Recomendaciones aplicables a las presas de fábrica	80
8.4.1	Presas de gravedad	80
8.4.2	Presas de hormigón compactado con rodillo	81
8.4.3	Presas de contrafuertes	83
8.4.4	Presas en arco	84
8.4.5	Presas de bóvedas múltiples	85
8.4.6	Presas mixtas de fábrica	85
8.4.7	Hormigones de proyecto	86
8.4.8	Métodos de cálculo	87
8.4.9	Combinación de solicitaciones de cálculo	89
8.4.10	Coeficientes de seguridad	91
8.5	Recomendaciones aplicables a las presas de materiales sueltos	92
8.5.1	Presas homogéneas	92
8.5.2	Presas de núcleo	93
8.5.3	Presas de pantalla	96
8.5.4	Métodos de cálculo y coeficientes de seguridad	99
8.5.4.1	Tipos de solicitaciones o combinaciones de ellas que han de considerarse	99
8.5.4.2	Métodos de cálculo recomendados y coeficientes de seguridad	100
8.5.5	Solicitaciones sísmicas	101
9.	RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE CONSTRUCCIÓN	103
9.1	Exigencias legales	103
9.2	Aspectos de la construcción relacionados con el proyecto	104
9.3	Planificación	105
9.4	Desvío del río	106
9.5	Excavaciones y tratamiento de las cimentaciones	107
9.6	Control de calidad durante la fase de construcción	109
9.7	Medidas preventivas	113
9.8	Trabajos importantes y reparaciones menores	114
10.	RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE PUESTA EN CARGA	115
10.1	Exigencias legales	115
10.2	Equipo responsable	116
10.3	Planificación del llenado del embalse	116
10.4	Seguimiento del proceso de puesta en carga	118
11.	RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE EXPLOTACIÓN	121
11.1	La explotación y la seguridad	121
11.2	Comienzo de la explotación	123
11.3	Contenido de las normas de explotación	124
11.3.1	Organización del personal	126
11.3.2	Materiales y medios auxiliares relacionados con la seguridad de la presa	127
11.3.3	Observaciones meteorológicas	127

11.3.4	Registro y vigilancia de los niveles de embalse	127
11.3.5	Aportaciones al embalse y volúmenes desaguados	127
11.3.6	Programa normal de embalses y desembalses	128
11.3.7	Niveles máximos y mínimos para cada época del año. Resguardos convenientes	128
11.3.8	Velocidad de variación del nivel del embalse	129
11.3.9	Consignas de actuación en presencia de avenidas	130
11.3.10	Operación y mantenimiento de los órganos de desagüe	132
11.3.11	Precauciones y aviso de riesgos aguas abajo. Sistema de alarma	135
11.3.12	Conservación de la obra civil de la presa y demás instalaciones	136
11.3.13	Inspección, vigilancia y auscultación de la presa y su entorno	138
11.3.14	Inspecciones periódicas	147
11.3.15	Otros aspectos relacionados con la seguridad	148
11.4	Situaciones de emergencia	150
12.	RECOMENDACIONES PARA LA PUESTA FUERA DE SERVICIO	153
12.1	Exigencias legales	153
12.2	Puesta fuera de servicio	154
12.3	Criterios de seguridad	155
12.4	Presas abandonadas	155
13.	SEGURIDAD DE LAS PRESAS EXISTENTES	157
13.1	Generalidades	157
13.2	Factores de riesgo	159
13.2.1	Introducción	159
13.2.2	Presas de gravedad, de hormigón o mampostería	160
13.2.3	Presas de contrafuertes y bóvedas múltiples	160
13.2.4	Presas en arco	161
13.2.5	Presas de materiales sueltos	161
13.2.6	Obras auxiliares. Aliviaderos y desagües	162
13.3	Criterios de diseño obsoletos	162
13.3.1	Avenida de diseño	162
13.3.2	Seísmo de diseño	162
13.3.3	Otros criterios de diseño	163
13.3.4	Cambio de criterios debido a desarrollos aguas abajo	163
13.4	Condiciones no consideradas en el diseño	163
13.4.1	Problemas de cimentación	163
13.4.2	Licuefacción	164
13.4.3	Rebose por olas inducidas por aludes o deslizamientos	164
13.4.4	Defectos de construcción	165
13.4.5	Erosión aguas abajo	165
13.4.6	Obstrucción de los órganos de desagüe	165
13.5	Envejecimiento de los materiales	166
13.5.1	Hormigones, morteros y mampostería	166
13.5.2	Terraplenes - Filtraciones y subpresiones	167
13.5.3	Cimentaciones	168
13.5.4	Meteorización de la escollera	168
13.5.5	Aceros	168
13.5.6	Hormigones bituminosos	169

13.5.7	Otros materiales	169
13.6	Operación incorrecta. Falta de mantenimiento	169
13.6.1	Reducción de la capacidad del aliviadero	169
13.6.2	Incapacidad para abrir las compuertas	170
13.6.3	Operación incorrecta	170
13.6.4	Gestión inadecuada de arrastres	170
13.6.5	Mantenimiento inadecuado de los sistemas de drenaje	171
13.7	Instrumentación deficiente	171
13.7.1	Características de la instrumentación	171
13.7.2	Medida de deformaciones	171
13.7.3	Medidores de juntas	174
13.7.4	Extensómetros de varillas	174
13.7.5	Medidores de tensiones y deformaciones	175
13.7.6	Auscultación hidráulica	175
13.7.7	Medida de variables externas	176
13.7.8	Conclusiones	177
14.	CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD	179
14.1	Reconocimiento	179
14.1.1	Registro de datos originales	179
14.1.2	Datos secundarios	179
14.2	Clasificación en función del riesgo potencial y evaluación de la seguridad	180
14.2.1	Evaluación del riesgo potencial	180
14.2.2	Evaluación de la seguridad	181
14.3	Instrumentación e investigación de deficiencias	181
14.3.1	Procedimientos de investigación de deficiencias	181
14.3.2	Equipos y personal de auscultación	181
14.3.3	Equipo de investigación y registro de los resultados	182
14.3.4	Investigaciones específicas	182
14.3.5	Resultados y conclusiones	183
14.4	Criterios de seguridad	183
14.4.1	Selección de criterios	183
14.4.2	Principios y requisitos básicos	184
14.4.3	Cumplimiento de la reglamentación vigente	186
14.5	Análisis del comportamiento estructural y operativo	186
14.5.1	Consideraciones generales	186
14.5.2	Procedencia de los datos. Comprobaciones previas	187
14.5.2.1	Revisión geológica	192
14.5.2.2	Revisión hidrológica	192
14.5.2.3	Revisión del diseño	193
14.5.2.4	Revisión de la construcción	193
14.5.2.5	Revisión de la operación	193
14.5.2.6	Revisión de condiciones adversas	194
14.5.3	Revisiones de campo	195
14.5.3.1	Revisión del entorno	196
14.5.3.2	Presas de hormigón	197
14.5.3.3	Presas de materiales sueltos	197
14.5.3.4	Aliviadero y desagües	198
14.5.3.5	Equipos eléctricos y mecánicos	199

15. MÉTODOS DE MEJORA DE LA SEGURIDAD. ESTUDIO DE CASOS ESPECÍFICOS	203
15.1 Introducción	203
15.2 Presas de hormigón o mampostería	204
15.2.1 Casos específicos de mejora de la seguridad en presas de fábrica	205
15.3 Presas de materiales sueltos	214
15.3.1 Casos específicos de mejora de la seguridad en presas de materiales sueltos	216
15.4 Aliviaderos y desagües	224
15.4.1 Casos específicos de mejora de la seguridad en aliviaderos y desagües	226
15.5 Estadística de accidentes	232
15.5.1 Introducción	232
15.5.2 Incidentes en grandes presas a nivel mundial	232
15.5.3 Accidentes y roturas en presas españolas	235
REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO	239
BIBLIOGRAFÍA	243

1.

INTRODUCCIÓN

1.1. La seguridad como exigencia primaria

El peligro potencial de las grandes presas es evidente. Frente a una probabilidad de fallo muy reducida existe una gran acumulación de energía en los embalses y la violencia resultante de su puesta en libertad incontrolada puede ser catastrófica.

Como consecuencia de esta gran capacidad destructiva la seguridad es una premisa básica, la más importante en estas construcciones, en todas y cada una de sus fases. Por la magnitud de los daños que se pueden ocasionar a la población situada aguas abajo de las presas, este problema trasciende la responsabilidad de los titulares o propietarios, alcanzando a los órganos gubernamentales relacionados con el tema.

Las administraciones públicas, en el ámbito de su competencia, han de preocuparse de la realización de un inventario de las presas existentes para su inspección y control en orden a mejorar y asegurar un elevado nivel de seguridad. Se puede añadir que no sólo de los desastres, sino desde una observación cuidadosa del estado de las presas, se concluye la necesidad de estas mejoras.

El desarrollo y consiguiente elevación del nivel de vida conduce a una demanda creciente de agua que sólo es posible satisfacer mediante la creación de embalses, alguno de los cuales tiene como finalidad principal la laminación de avenidas, lo que se contrapone de algún modo al riesgo que se deriva de la posibilidad de rotura catastrófica.

También se puede afirmar que la pérdida de la propia instalación y de los servicios que presta suele ser, por sí sola, de enorme trascendencia, tanto para el propietario como para los usuarios. Es de destacar, por último, la concienciación pública creciente sobre la influencia de los embalses en su entorno que eleva las exigencias a niveles ciertamente altos.

De lo anterior resulta que la seguridad ha de primar sobre los aspectos económicos o financieros, aun cuando admita matizaciones en función del riesgo asumido. Pero lo más común es que, aun en los casos de menor riesgo, los daños sean de tal cuantía que no justifican una atenuación de las medidas preventivas o una menor exigencia de los márgenes de seguridad.

1.2. Planteamiento de la presente Guía

En la Reunión Ejecutiva de 1982 (Río de Janeiro) ICOLD creó el Comité Técnico de Seguridad de Presas. Su necesidad se fundamentó en:

- a) La preocupación social generada por algunos accidentes graves.
- b) La mayor altura y volumen de presas y embalses, así como el envejecimiento de las existentes.
- c) El número creciente de presas en países con escasa tecnología a los que es necesario transferir las experiencias y técnicas empleadas en los más desarrollados.

También en los Estados Unidos de América se reconoció, en la década de los 80, la necesidad de una iniciativa estatal con el mismo objetivo de mejorar la seguridad de las presas, creándose el Committee on the Safety of Existing Dams, bajo los auspicios del National Research Council a requerimiento de la Federal Emergency Management Agency.

En España la tendencia hacia una normativa más preocupada por la seguridad se pone de manifiesto en el Reglamento Técnico para la Seguridad de Presas y Embalses (B.O.E. nº 78 de 30 de marzo de 1996). Su objeto es *“determinar las normas técnicas precisas para la seguridad de las presas y embalses, estableciendo, a tal fin, los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplirse durante las fases de proyecto, construcción, puesta en carga, explotación y estado de fuera de servicio de las presas y embalses, en orden a alcanzar sus óptimas condiciones de utilidad y seguridad que eviten daños a las personas, a los bienes y al medio ambiente”*.

Un comentario más extenso a la legislación aplicable en España forma parte del capítulo nº 2 de la presente Guía Técnica.

Dado el carácter de norma marco que tiene el citado Reglamento se ha considerado conveniente la redacción, por parte del Comité Nacional Español de Grandes Presas (CNEGP), de una serie de Guías Técnicas, entre las que se encuentra la presente como un lugar común de todas las demás en el sentido de señalar a la seguridad como la primera exigencia a tener en cuenta. En consecuencia, una gran parte de los criterios básicos de seguridad, que se enumeran en el capítulo 7, son tratados con mayor amplitud en las correspondientes Guías Técnicas específicas de cada una de las materias a tener en cuenta, a las que se hará referencia en cada caso.

Esta Guía ha sido preparada con el fin de reunir y exponer los requisitos básicos que rigen la filosofía, métodos y procedimientos aconsejables en la organización, vigilancia, evaluación y

mantenimiento de la seguridad de presas y embalses, incorporando las experiencias nacionales e internacionales y refiriendo el conjunto a la legislación vigente.

Aunque hay obligaciones legales que afectan a la generalidad de las presas españolas, **el contenido de la Guía no tiene carácter vinculante y se presenta como una serie de ayudas o recomendaciones que podrán ser utilizadas con las modificaciones necesarias para su adecuación a las circunstancias particulares de cada caso.** Del mismo modo, el estado del arte puede y debe evolucionar determinando la conveniencia de modificar el contenido de este documento por lo que será necesaria su revisión periódica a tenor de los avances técnicos, nuevos criterios y cambios legislativos que se vayan produciendo.

1.3. Cuantificación de la seguridad

Como bien se indica en el Boletín 59 de ICOLD, (Dam Safety. Guidelines. 1987) se puede definir la seguridad como el margen que separa las condiciones reales que existen en una presa de las que llevan a su deterioro o destrucción.

La reducción del riesgo es una exigencia en todas las fases de la vida de una presa y requiere la dedicación personal y la disposición de los fondos necesarios para ello. Las evaluaciones son siempre difíciles por las limitaciones técnicas y la dependencia de juicios personales. Al lado de grandes evidencias, y de variables que se pueden estudiar aplicando técnicas probabilísticas (avenidas, resistencia del hormigón, sismología, etc.), hay otros aspectos como la geología y, sobre todo, el comportamiento humano que admiten mucho peor un tratamiento numérico. En consecuencia, la actitud primera tiende a la reducción de incertidumbres, reconociendo que la seguridad absoluta no puede ser conseguida en ningún caso.

Los profesionales expertos saben que su objetivo es bajar el riesgo hacia valores mínimos, tarea siempre ligada a matizaciones económicas. Y llegado este momento es importante llevar a cabo, al menos, las actuaciones de alto rendimiento en materia de seguridad añadida; y esto lo antes posible para evitar la evolución de las deficiencias. La alternativa de no hacer nada es difícilmente admisible y el abandono puede ser más difícil y caro.

Modernamente se observa una tendencia clara hacia el tratamiento numérico de los riesgos y la cuantificación matemática del problema incluye la evaluación de la seguridad global de la presa. Es una tendencia que demandan los bancos y las compañías de seguros en su deseo de comparar las presas con otras realizaciones cuyos riesgos son aceptados. Y aunque se ha comentado que los estudios probabilísticos no tienen mucho éxito para evaluar la globalidad es posible que en un futuro más o menos próximo den sus frutos los esfuerzos en este sentido.

Otra forma de valorar el riesgo es la consideración conjunta del peligro potencial y la probabilidad de fallo de una presa. Esto permite el establecimiento de prioridades en las actuaciones necesarias. En el proceso de evaluación los aspectos económicos sólo se deberán tener en cuenta después de llegar a conclusiones técnicas. De existir limitaciones financieras podrá considerarse la posibilidad de medidas no estructurales, tales como el vaciado del embalse, la retención de avenidas e incluso la implantación de un plan de evacuación provisional hasta conseguir la rectificación necesaria.

De momento, los conocimientos técnicos apoyados en equipos experimentados configuran las evaluaciones más fiables. A esto se han de añadir todas las enseñanzas derivadas de los incidentes registrados hasta la fecha, siendo obligada la mención de las publicaciones "Deterioration of Dams and Reservoirs" (ICOLD, 1988) y "Lessons from Dam Incidents, USA" (ASCE/USCOLD, 1975) por la cantidad de ejemplos y datos estadísticos que en ellas se exponen. Los incidentes y roturas se analizan atendiendo a los tipos de presas, alturas, causas, fases, fechas de construcción, etc. poniendo de manifiesto en muchos casos la especial vulnerabilidad de las distintas opciones, que muchas veces es debida a un proceso complejo que se inicia en alguna anomalía no detectada. Su lectura y consideración es prácticamente obligada para todos los responsables de grandes presas.

1.4. Gestión de la seguridad

Aunque la seguridad está relacionada con todas las fases de la vida de una presa, es la explotación propiamente dicha el período estable de mayor duración que merece una consideración especial. La presente Guía le dedica específicamente su capítulo nº 11 y trata en los nºs 13, 14 y 15 de los riesgos, evaluación y mejora de la seguridad de las presas existentes.

El equipo encargado de la seguridad deberá conocer todos los antecedentes de la presa, si esto es posible, y muy especialmente las premisas básicas y los estudios específicos que se hubieran realizado sobre las partes ocultas del proyecto, en especial las características de los materiales y del cimiento.

El conocimiento de las singularidades de la construcción se suele enriquecer, si es posible la transmisión oral o escrita de sus responsables, con la descripción de las averías o incidentes que han tenido lugar. De aquí la importancia de un buen Archivo Técnico tal como exige el nuevo Reglamento de Seguridad en su apartado 5.5. Su inexistencia en presas de cierta antigüedad ha de ser suplida de la mejor forma posible mediante la elaboración de un buen documento XYZT y con los resultados de ensayos o trabajos que se vayan realizando, bien por esta razón o por otras exigencias.

Es conveniente comentar que el buen comportamiento de una presa no es garantía de su seguridad futura. Aunque el síntoma debe considerarse positivamente pueden surgir problemas graves después de muchos años de explotación satisfactoria.

Las Normas de Explotación, también exigidas por el Reglamento, en su capítulo 5.7, constituyen otro hito fundamental de la seguridad por cuanto ordenan de forma meditada todas las instrucciones que atañen a la operación y mantenimiento de las presas y de sus elementos auxiliares, además de fijar los equipos responsables de evaluar el grado de seguridad de la presa. De forma consecuente con lo anterior, las labores de inspección y vigilancia, a las que se añaden revisiones periódicas, unidas a la existencia de un equipo competente y experimentado, con los medios indispensables, se pueden considerar como la mejor aportación a la seguridad.

Las estadísticas muestran también que muchos accidentes se deben a errores humanos o negligencias, lo que supone una dificultad añadida a la cuantificación del riesgo. Se puede afirmar que la competencia de todas las personas implicadas en la explotación de las presas es el requisito previo más importante para una explotación segura. Del mismo modo, la ingeniería y

construcción de presas conlleva tal grado de responsabilidad que su proyecto y construcción debe ser realizado por organizaciones experimentadas, bajo la tutela de personal altamente cualificado.

La jerarquía de los ingenieros responsables sobre un conjunto de presas proporciona un cúmulo de información muy conveniente a la hora de distinguir, entre ellas, las de comportamiento anormal.

Es grande la dificultad que entrañan estos trabajos cuya aparente monotonía puede inducir a la indolencia o el desánimo. La mentalidad de los responsables ha de ser meticulosa, para no despreciar pequeños indicios, del mismo modo que ha de aportar la serenidad necesaria ante situaciones más o menos preocupantes. Este equilibrio es un síntoma de madurez acorde con la idea de que una explotación correcta y una auscultación realizada de forma adecuada constituyen la mejor garantía de seguridad y deben poner de manifiesto, con la antelación necesaria, los signos indicativos que normalmente preceden a una perturbación grave.

2.

LEGISLACIÓN APLICABLE EN ESPAÑA

2.1. Consideraciones previas

Por su especial interés, antes de describir la legislación española en materia de seguridad de presas, se exponen a continuación diversos aspectos generales recogidos por ICOLD en su Boletín 59.

Dado que la ingeniería es una disciplina en rápida y constante evolución, las leyes relacionadas con la seguridad de presas y embalses deben ser, más que un conjunto de métodos, procedimientos o detalles técnicos rígidos, un marco flexible que fije objetivos y requisitos generales y permita aprovechar los beneficios de los avances científico y técnico que se vayan produciendo.

También se considera que, para facilitar la aplicación y cumplimiento de las exigencias legales, puede ser ventajoso reunir y compendiar todas las leyes y regulaciones relacionadas con la seguridad de presas en un código específico que no debe considerarse como un sustitutivo del conjunto de Normas y Reglamentos vigentes. Por el contrario, la codificación considerada podría facilitar la puesta al día de dichas exigencias legales en función de los avances técnicos.

Para asegurar la uniformidad de juicios la combinación de normas técnicas y criterios de seguridad deberá constituir la base de los poderes y acciones del organismo público y de las medidas y precauciones a tomar para garantizar la seguridad de presas y embalses. No obstante lo anterior, tanto el código de seguridad como la autoridad y poderes de la entidad pública deben ser estructurados de modo que no eximan al propietario o explotador de la presa o embalse de las responsabilidades inherentes a su condición.

Dada la posible trascendencia de sus decisiones, la entidad u organismo público debe estar investida de los poderes necesarios para ejecutar cualquier medida o disposición que considere adecuada para asegurar o restablecer la seguridad, incluyendo el descenso o vaciado del

embalse y, en último caso, la demolición de la presa. Las órdenes deben ser ejecutadas dentro de los plazos establecidos cuya extensión razonable deberá permitir, si es posible, el cumplimiento o apelación de tales órdenes o mandatos. La acción legal o administrativa contra tales órdenes no tendrá efecto dilatorio a menos que el organismo público acuerde la demora a la espera de una decisión. No obstante, si la orden o mandato que provocó la decisión aparece luego como ilegal, el organismo o entidad pública puede ser considerado responsable de los daños.

Tanto el código de seguridad como el decreto que establezca los poderes del organismo público deben permitir el recurso a los tribunales a que las partes concernientes tengan derecho.

Las responsabilidades deben estar siempre claramente definidas y, dentro de lo posible, asignadas a una posición identificable. La persona que ocupe esta posición deberá disponer del control de todos los recursos técnicos y administrativos necesarios para ejercitar los poderes asociados a la responsabilidad que le haya sido asignada. Este criterio se aplicará a todos los niveles de responsabilidad independientemente de la organización o grupo al que pertenece la persona.

En lo relativo a la financiación, los programas que garantizan la seguridad de las presas y embalses deben estar formalmente establecidos, seguidos con continuidad y financiados con realismo. Los programas deben ser diseñados de modo que se concentren en aspectos esenciales, al objeto de no desperdiciar el tiempo ni los recursos. En el caso habitual de recursos financieros limitados se preparará un presupuesto mínimo razonable de forma que la ejecución del programa de seguridad esté garantizada.

En cuanto a la actualización de reglamentos y procedimientos relacionados con la seguridad, función de las exigencias crecientes y de los avances tecnológicos, será necesaria su puesta al día periódicamente. En consecuencia, el organismo público debe establecer un plan que fije los requisitos, métodos e intervalos de revisión, asegurando que sean corregidas las deficiencias y prácticas obsoletas.

En el mismo sentido, las personas encargadas de la vigilancia, inspección y evaluación de la seguridad de las presas deben estar al corriente de la puesta al día de los reglamentos y procedimientos y de los avances técnicos de la ingeniería de presas en general, particularmente en su campo de especialización.

2.2. Análisis histórico y normativa vigente

La escasez e irregularidad de los recursos hídricos en España han hecho necesaria su regulación mediante la construcción de numerosas presas y embalses, que tienen sus más ilustres precedentes en las presas de Proserpina y Cornalbo, construidas en el siglo II de nuestra era y todavía en servicio.

La rotura de la presa de Puentes, sobre el río Guadalentín, acaecida en el año 1802, causó 600 víctimas mortales en la ciudad de Lorca y motivó un informe del entonces Inspector General de Caminos y Canales, Agustín de Betancourt, que supuso una contribución decisiva para la creación de la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales cuyos primeros exámenes de ingreso se convocaron unos meses después de esta rotura. La necesidad de disponer de unos

profesionales adecuadamente formados para construir e inspeccionar estas obras y de crear una Escuela para ello, que desde hacía varios lustros preconizaba el citado Betancourt, no se hizo evidente para los dirigentes de la época hasta que ocurrió esta catástrofe.

La Ley de Aguas de 1879 constituye la primera disposición oficial en la materia pero su carácter general de regulación y planificación del dominio público hidráulico adolecía de referencias concretas a las presas como estructuras. No se puede aludir a la misma sin rendir el homenaje debido a su duración, superior a un siglo. Hay que esperar a la denominada Instrucción para el Proyecto de Pantanos, de 1905, redactada por una comisión presidida por Carlos Cardenal, para encontrar la primera normativa específica sobre presas, cuando el número de embalses en España era de 73.

Muy posteriormente, la rotura de la presa de Vega de Tera en enero de 1959, causando la muerte de 144 personas, dio lugar a la constitución de una Comisión de Normas de Grandes Presas, con el encargo de redactar una Instrucción y a que, por Decreto aprobado el 8 de octubre de ese mismo año, se constituyera la Comisaría Central de Aguas, con una sección encargada de la vigilancia de las presas, y se restablecieran las Comisarías de Aguas con funciones de inspección y vigilancia de las obras y de la explotación de los aprovechamientos hidráulicos.

Como consecuencia de estas medidas se redactaron en 1960 unas normas transitorias que constituyeron el germen de la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, aprobada con carácter provisional en 1962 y que, tras algunos retoques, adquirió carácter definitivo en 1967.

Esta Instrucción, todavía aplicable a buena parte de las presas españolas, supuso un notable avance y, junto con el sistema de control establecido, situó a España entre los países de vanguardia en el campo de la seguridad de presas durante la década de los años 60.

A partir de 1979, y promovidas por el entonces Presidente de la Comisión de Normas de Grandes Presas, se celebraron una serie de reuniones, abiertas a toda la comunidad técnica interesada en la materia, para debatir y aportar ideas sobre el enfoque que había de darse a la nueva normativa sobre seguridad de presas, cuya necesidad, ya en ese año, se mostraba evidente.

En octubre de 1982 se produjo la rotura de la Presa de Tous como consecuencia de una extraordinaria avenida en el río Júcar. Tras ella se inició un programa, de carácter fundamentalmente presupuestario, denominado de seguridad y explotación de presas del Estado, que dio lugar a varias actuaciones entre las que hay que destacar la implantación sucesiva en las diferentes cuencas hidrográficas del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH).

Pocos años más tarde, en 1985, se aprobó la nueva Ley de Aguas. Ni dicha Ley ni los Reglamentos derivados de la misma, que son el del Dominio Público Hidráulico (1986) y el de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (1988), entran a regular nada relativo a la seguridad de las presas, aunque sí inciden en la organización y competencia de la Administración Hidráulica, todavía encargada del control de la seguridad de las presas, y establecen las competencias en lo que se refiere al Dominio Público Hidráulico. En el año 2001 se aprobó el texto refundido de la Ley de Aguas, que tampoco introduce ninguna referencia a la seguridad de las presas.

En febrero de 1995 se publicó la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, norma que emana de la Ley de Protección Civil de 1985 y en la que se incluye un capítulo sobre el riesgo de rotura de presas. Este capítulo introduce dos elementos novedosos en la gestión de la seguridad de las presas : su clasificación en función del riesgo potencial y la obligación de establecer planes de emergencia para las de riesgo alto o significativo.

Y ya en marzo de 1996, se aprobó el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (en adelante Reglamento). La promulgación de esta norma, con rango de Orden Ministerial aplicable con generalidad a las presas de titularidad estatal y sólo parcialmente al resto, ha dado lugar a la situación existente en la fecha de esta redacción, en la que la normativa española sobre presas y embalses se encuentra recogida en las siguientes disposiciones :

- La Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas aprobada por Orden Ministerial del 31 de marzo de 1967 (BOE nº 257 de 27 de octubre de 1967).
- La Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas (BOE nº 189 de 8 de agosto de 1985), y los Reglamentos del Dominio Público Hidráulico (BOE nº 103 de 30 de abril de 1986) y de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (BOE nº 209 de 31 de agosto de 1988), que la desarrollan.
- La Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil y la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (BOE nº 38 de 14 de febrero de 1995).
- El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses aprobado por Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996 (BOE nº 78 de 30 de marzo de 1996).
- El texto refundido de la Ley de Aguas (BOE nº 176 de 24 de julio de 2001).

3.

INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE GRANDES PRESAS

En 1962 se aprobó la primera versión de la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas (en adelante Instrucción) que fue sustituida en 1967 por una versión ligeramente modificada de la anterior, y continúa vigente para las presas de titularidad no estatal. Es de resaltar su aplicación a casi la mitad de las presas españolas, entre las que se encuentran las de mayor tamaño por coincidir su vigencia con el periodo de tiempo en el que se ha producido el mayor desarrollo presístico en nuestro país.

El Servicio de Vigilancia de Presas se creó con el objetivo inicial de velar por la seguridad de las presas españolas, aunque se ampliaron posteriormente sus funciones para garantizar el cumplimiento de la citada Instrucción. De esta forma se ha dispuesto, durante muchos años, de los elementos normativos y organizativos necesarios y cabe decir que la calidad de la Instrucción y el esfuerzo y profesionalidad de los componentes del Servicio de Vigilancia de Presas han contribuido decisivamente a que se alcanzara el objetivo previsto. La labor de este Servicio no se ha limitado a actuaciones encaminadas al cumplimiento de la Instrucción, sino que se ha extendido a actividades más amplias como el fomento de la investigación aplicada a las presas, la divulgación científica en este campo y, asimismo, ha resultado decisiva su aportación para crear entre los ingenieros españoles una clara conciencia sobre la importancia de la seguridad en todas las fases de la vida de una presa.

La Instrucción de 1967 se caracteriza por ser una norma técnica, es decir, está integrada por una serie de prescripciones de obligado cumplimiento basadas en el estado del arte en el momento de su redacción. Consta de cuatro capítulos con los títulos siguientes :

- Capítulo I.- Criterios fundamentales (6 artículos)
- Capítulo II.- Normas para el proyecto de presas (52 artículos)
- Capítulo III.- Normas para la construcción de presas (33 artículos)
- Capítulo IV.- Normas para la explotación de presas (9 artículos)

que ponen de manifiesto la desproporción existente a favor del proyecto y construcción en comparación con la fase de explotación.

El paso del tiempo ha ido dificultando la aplicación de la Instrucción por su rigidez frente a la aparición de nuevas orientaciones científicas y técnicas, la rapidez con que evolucionan los métodos y programas de cálculo, así como las técnicas de construcción y el empleo de nuevos materiales.

Otra objeción, poco realista, es la posibilidad de utilizar el cumplimiento literal de la Instrucción para justificar un proyecto sin tener en cuenta circunstancias y particularidades no incluidas en la misma, pudiendo llegar a transmitir una sensación de seguridad que no siempre sería suficiente.

Entre las diferencias más notables con el nuevo Reglamento se pueden enumerar las siguientes:

- La Instrucción está más orientada a las fases de proyecto y construcción en tanto que el Reglamento presta mayor atención a la explotación y seguridad.
- La Instrucción contempla la altura y tipo de presa, con independencia de su ubicación, en tanto que el Reglamento incluye, de forma explícita, el criterio de riesgo asumible.
- El ámbito de la Instrucción se extiende solamente a las grandes presas, con la definición que figura en la misma :

Presas con altura superior a 15 m

Presas con altura comprendida entre 10 y 15 m que respondan, al menos, a una de las condiciones siguientes :

- a) Capacidad de embalse superior a 100.000 m³
- b) Características excepcionales de cimientos o cualquier otra circunstancia que permita calificar la obra como importante para la seguridad y economía pública.

en tanto que el Reglamento se aplica a todas las grandes presas definidas en él y a las pequeñas presas clasificadas en las categorías A y B, según lo establecido en su artículo 3.2.

- La Instrucción ya contemplaba la constitución del Archivo Técnico y la obligatoriedad de las Normas de Explotación, conceptos ambos en los que el Reglamento pone gran énfasis, con la diferencia significativa de incorporar la clasificación en función del riesgo potencial, los planes de emergencia, y las revisiones periódicas. Nada se dice en el Reglamento acerca del Libro Técnico de la Presa que la Instrucción exige desde el principio de la construcción, así como su continuidad durante la fase de explotación.
- En lo relativo a la calificación del personal responsable de las presas, en sus diferentes fases, la Instrucción exige :

Una dirección técnica cualificada para el proyecto (art. 8)

Un Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos para la fase de construcción (art. 59)

Un Ingeniero Encargado para las presas explotadas directamente por el Estado (art. 92.1)

Un servicio de Explotación representado por un Ingeniero, para las presas que se exploten por una corporación autónoma o por una empresa. (art. 92.2 y 92.3).

El nuevo Reglamento incluye la puesta en carga como una fase más de la vida de una presa e impone, para cada una de ellas, que el titular disponga la existencia de un equipo técnico al frente del cual, y en calidad de Director, figurará un Técnico competente en las materias relacionadas con la seguridad de las presas.

La aprobación de la composición del equipo técnico y de su Director, para cada fase, corresponde a la Administración (artículo 25.1 del Reglamento).

En todos los casos es necesario un nombramiento oficial y una aceptación por parte del organismo competente.

En el Reglamento se indica que está prevista su aplicación futura a aquellas presas y embalses que hoy quedan fuera de su ámbito, lo que determinará la derogación definitiva de la Instrucción de 1967.

4.

LA DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES

Esta disposición legal incluye un apartado titulado "Planificación de emergencias ante el riesgo de rotura o avería grave de presas" que se fundamentará en la elaboración e implantación de los Planes de Emergencia de Presas por los titulares de las mismas, en la previsión de las actividades de protección de personas y bienes que ante esa eventualidad han de efectuarse en el Plan Estatal, en los Planes de las Comunidades Autónomas y en los de Actuación Municipal cuyo ámbito territorial pueda verse afectado y en el establecimiento de sistemas de notificación de incidentes y de alerta y alarma que permitan a la población y a las organizaciones de los Planes que corresponda intervenir la adopción de las medidas apropiadas.

La nueva normativa, con inclusión del Reglamento Técnico que se comenta más adelante, cambia de forma importante los planteamientos preexistentes introduciendo el concepto de riesgo potencial y ampliando el ámbito de aplicación a todas las presas que representen un riesgo significativo, con independencia de su tamaño.

4.1. Clasificación de las presas en función del riesgo potencial

Como se ha expuesto anteriormente, la clasificación respecto al riesgo potencial que puede derivarse de la posible rotura o funcionamiento incorrecto de las presas aparece por primera vez en la normativa española con la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, (en adelante la Directriz).

Esta actuación se puede utilizar con distintos objetivos :

- a) Priorizar, en función de la clasificación respecto al riesgo, las inspecciones de presas y, en su caso, reparaciones o modificaciones para mejorar su seguridad. Según este planteamiento la secuencia de actuaciones consistiría en : clasificar las presas en función del riesgo potencial, inspeccionar en primer lugar las de alto riesgo y realizar reparaciones en aquéllas consideradas inseguras.

- b) Otro objetivo de la clasificación es el establecer diferentes exigencias de seguridad en los criterios de diseño, construcción, explotación e inspección en función de la clasificación resultante.
- c) Finalmente, la clasificación se utiliza también para decidir a qué presas ha de afectar la obligación de implantar planes de emergencia.

En España, precisamente, la obligación de clasificar las presas en función del riesgo potencial ha surgido con este último objetivo. La Directriz establece en su apartado 3.5.1.3 la obligación de clasificar todas las presas existentes en tres categorías, denominadas A, B y C.

En el Reglamento, la clasificación de presas se hace extensiva a las que se proyecten y construyan en el futuro y además de servir para determinar, al igual que en la Directriz, qué presas han de disponer de plan de emergencia, también conduce a establecer diferentes exigencias de seguridad en función de la clasificación resultante, lo que corresponde al segundo de los objetivos citados.

Tanto la Directriz Básica como el Reglamento Técnico establecen que en función del riesgo potencial que puede derivarse de la posible rotura o funcionamiento incorrecto de cada presa, ésta deberá clasificarse en alguna de las siguientes categorías :

Categoría A: Corresponde a presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

Categoría B: Corresponde a presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.

Categoría C: Corresponde a presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso, a esta última categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las categorías A o B.

Por lo tanto, de acuerdo con estas normas los titulares han quedado obligados a proponer la clasificación de todas sus presas según el riesgo potencial aguas abajo. El Ministerio de Medio Ambiente, encargado del control del cumplimiento de la normativa en la mayor parte del territorio peninsular español, ha redactado y publicado una Guía Técnica para establecer los criterios y metodología aplicables a este proceso de clasificación, donde se pueden encontrar más detalles sobre este asunto.

4.2. Planes de Emergencia

Los Planes de Emergencia de Presas constituyen una novedad en España. Los criterios para su elaboración están establecidos en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, cuyo contenido se transcribe de forma selectiva a continuación.

Deberán disponer de su correspondiente Plan de Emergencia todas las presas que hayan sido clasificadas en las categorías A o B y su elaboración será responsabilidad del titular de la presa.

En el caso de que la explotación de la presa sea cedida o arrendada a otra entidad o persona física o jurídica el cesionario o arrendatario asumirá las obligaciones del titular, si bien éste será responsable subsidiario de las mismas.

Los Planes de Emergencia de las Presas serán aprobados por la Dirección General de Obras Hidráulicas, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil, o por los órganos de las Comunidades Autónomas que ejerzan competencias sobre el dominio público hidráulico, para aquellas presas ubicadas en cuencas intracomunitarias. En este último caso el informe previo a la aprobación de dichos Planes habrá de efectuarse por la Comisión de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de que se trate.

El órgano de la Administración hidráulica en cada caso competente remitirá una copia de la resolución de aprobación de cada Plan de Emergencia de Presa, junto con un ejemplar del mismo, a los órganos competentes en materia de protección civil de la Comunidad o Comunidades Autónomas cuyo territorio pueda verse afectado por la inundación generada por la rotura de la presa y a la Dirección General de Protección Civil. Los órganos competentes en materia de protección civil de las Comunidades autónomas proporcionarán a las autoridades municipales información detallada acerca de los Planes de Emergencia de Presas que les afecten y, en todo caso, un ejemplar de cada uno de dichos Planes a las autoridades de los municipios cuyo ámbito territorial pueda verse alcanzado por la onda de rotura en un intervalo no superior a dos horas.

El contenido mínimo de los Planes de Emergencia de Presas se fija también en la Directriz Básica y consta de los cinco apartados siguientes :

1º. Análisis de seguridad de la presa :

El análisis comprenderá el estudio de los fenómenos que puedan afectar negativamente a las condiciones de seguridad consideradas en el proyecto y construcción de la presa de que se trate o poner de relieve una disminución de tales condiciones.

En general estos fenómenos serán :

- a) Comportamiento anormal de la presa, detectado por los sistemas de auscultación de la misma o en las inspecciones periódicas que se realicen, y que muestren anomalías en lo concerniente a su estado tensional, deformaciones, fisuración, fracturación o filtraciones en la presa o en su cimentación.
- b) Avenidas extremas o anomalías en el funcionamiento de los órganos de desagüe.
- c) Efectos sísmicos.
- d) Deslizamiento de las laderas del embalse o avalancha de rocas, nieve o hielo.

El análisis de seguridad deberá establecer en términos cuantitativos o cualitativos valores o circunstancias "umbrales" a partir de los cuales dichos fenómenos o anomalías podrían resultar

peligrosos, así como los sucesos que habrían de concurrir, conjunta o secuencialmente, para que las hipótesis previamente formuladas pudieran dar lugar a la rotura de la presa.

2º Zonificación territorial y análisis de los riesgos generados por la rotura de la presa:

Este apartado del Plan tendrá por objeto la delimitación de las áreas que puedan verse cubiertas por las aguas tras esa eventualidad y la estimación de los daños que ello podría ocasionar. Para la delimitación de estas áreas conviene tener en cuenta lo indicado en la Guía Técnica para la Elaboración de los Planes de Emergencia de Presas publicada por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, en junio de 2001.

La delimitación del área inundable, con detalle de las zonas que progresivamente quedarían afectadas por la rotura, así como la información territorial relevante para el estudio del riesgo, se plasmará en planos, confeccionados sobre cartografía oficial, de escala adecuada, que figurarán como documentos anexos al Plan.

Dicha delimitación de la zona potencialmente inundable se establecerá utilizando diversas hipótesis de rotura, según las diferentes causas potenciales (avenidas, seísmos, fallos estructurales de los materiales o del cimiento, etc.), estableciéndose en cada caso los mapas de inundación con la hipótesis más desfavorable.

Se estudiarán, además de las zonas de inundación, los diversos parámetros hidráulicos (calados de la lámina de aguas y velocidades), y en todo caso los tiempos de llegada de la onda de rotura, delimitando las áreas inundadas en tiempos progresivos de hora en hora, a excepción de la primera, que se dividirá en dos tramos de treinta minutos.

En los casos que así lo requieran deberá contemplarse la hipótesis de rotura encadenada de presas.

El estudio de las ondas de rotura y su evolución también resulta necesario para clasificar las presas en función del riesgo potencial asociado a las mismas. Para ello en la Guía Técnica para Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial, de 1997, también se definen criterios básicos para el análisis de las roturas potenciales, con referencia a escenarios, tiempos de rotura, forma y dimensiones de la brecha, y datos para el estudio de la propagación de la onda y se analiza también la metodología utilizable para realizar estos estudios.

3º Normas de actuación:

Tomando como fundamento el análisis de la seguridad, en el Plan habrán de especificarse las normas de actuación que resulten adecuadas para la reducción o eliminación del riesgo, y en particular:

- a) Situaciones o previsiones en las que habrá de intensificarse la vigilancia de la presa.
- b) Objetivos de la vigilancia intensiva en función de las distintas hipótesis de riesgo, con especificación de los controles o inspecciones a efectuar y los procedimientos a emplear.

- c) Medidas que deben adoptarse para la reducción del riesgo, en función de las previsibles situaciones.
- d) Procedimientos de información y comunicación con los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia.

4º Organización:

En el Plan se establecerá la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para la puesta en práctica de las actuaciones previstas.

La dirección del Plan estará a cargo de la persona a la que corresponda la dirección de la explotación de la misma.

Serán funciones básicas del director del Plan de Emergencia de Presa, las siguientes:

- a) Intensificar la vigilancia de la presa en caso de acontecimiento extraordinario.
- b) Disponer la ejecución de las medidas técnicas o de explotación necesaria para la disminución del riesgo.
- c) Mantener permanentemente informados a los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia.
- d) Dar la alarma, en caso de peligro inminente de rotura de presa o, en su caso, de la rotura de la misma, mediante comunicación a los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia.

5º Medios y recursos :

En el Plan se harán constar los medios y recursos, materiales y humanos con que se cuenta para la puesta en práctica del mismo.

Deberá disponerse de un sala de emergencia, convenientemente ubicada en las proximidades de la presa y dotada de los medios técnicos necesarios para servir de puesto de mando al director del Plan de Emergencia de la Presa y asegurar las comunicaciones con los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia.

Para cumplir con el objetivo de comunicación rápida a la población existente en la zona inundable, en un intervalo no superior a treinta minutos, el Plan de Emergencia de Presa deberá prever la implantación de sistemas de señalización acústica u otros sistemas de aviso alternativo, sin perjuicio del sistema de comunicación que se establezca entre autoridades y organismos públicos con responsabilidades en la gestión de las emergencias.

Para el establecimiento de las normas y procedimientos de comunicación e información con los organismos públicos implicados se considerarán los escenarios de seguridad siguientes :

- a) Escenario de control de la seguridad o "Escenario 0". Las condiciones existentes y las previsiones aconsejan una intensificación de la vigilancia y el control de la presa, no requiriéndose la puesta en práctica de medidas de intervención para la reducción del riesgo.
- b) Escenario de aplicación de medidas correctoras o "Escenario 1". Se han producido acontecimientos que, de no aplicarse medidas de corrección (técnicas, de explotación, desembalse, etc.) podrían ocasionar peligro de avería grave o de rotura de la presa, si bien la situación puede solventarse con seguridad mediante la aplicación de las medidas previstas y los medios disponibles.
- c) Escenario excepcional o "Escenario 2": Existe peligro de rotura o avería grave de la presa y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de las medidas y medios disponibles.
- d) Escenario límite o "Escenario 3". La probabilidad de rotura de la presa es elevada o esta ya ha comenzado, resultando prácticamente inevitable el que se produzca la onda de avenida generada por dicha rotura.

El apartado 3.5.2.2 de la Directriz se refiere a la comunicación de incidentes por la dirección del Plan de Emergencia de la Presa.

La situación de escenario 0 se habrá de poner en conocimiento del órgano o servicio que a estos efectos se establezca por la Dirección General de Obras Hidráulicas, o en el caso de cuencas intracomunitarias, por la Administración Hidráulica de la Comunidad Autónoma.

Ante situaciones controlables que requieran la adopción de medidas correctoras, se constituirá el Comité Permanente previsto en el artículo 49 del Reglamento de Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (Real Decreto 927/1988, de 29 de julio), o el órgano que se establezca por la Administración Hidráulica de la Comunidad Autónoma, en el ámbito de sus competencias. Esta situación de escenario 1 deberá ser comunicada por el director del Plan de Emergencia de la Presa al órgano de dirección del Plan de la Comunidad Autónoma en cuyo ámbito esté ubicada la presa. Cuando el área inundable pueda alcanzar, en la hipótesis más desfavorable, a más de una Comunidad Autónoma, dicha comunicación habrá de efectuarse asimismo al Gobierno Civil de la provincia en que la presa se encuentre ubicada.

En el caso de que la situación evolucionara a un escenario 2 el director del Plan de Emergencia de la Presa habrá de comunicarlo a los mismos órganos y autoridades que para el escenario 1, si bien las informaciones al órgano de dirección del Plan de la Comunidad Autónoma y, en su caso, al Gobierno Civil se canalizarán a través del correspondiente Centro de Coordinación Operativa Integrado (CECOPI), desde el momento en que este se constituya.

Cuando la situación en la presa reúna las condiciones definidas como de escenario 3, el director del Plan de Emergencia de la Presa, sin perjuicio de facilitar la información al órgano de dirección del Plan de la Comunidad Autónoma y, en su caso, al Gobierno Civil, habrá de dar inmediatamente la alarma a la población existente en la zona que, de acuerdo con la zonificación territorial efectuada, pueda verse inundada en un intervalo no superior a 30 minutos, mediante el sistema previsto en el correspondiente Plan de Emergencia de Presa.

Es muy importante que en el Plan de Emergencia se especifiquen claramente los procedimientos y canales para transmitir la información a los órganos que en cada caso correspondan. Como mínimo se definirá un medio de comunicación primario y otro secundario, para cada órgano. En general se utilizarán sistemas de comunicación directa (líneas telefónicas punto a punto) como medio primario y se reservarán otros medios (teléfono convencional, radio, etc.) como secundarios.

Como un comentario adicional al contenido literal de la Directriz, cuya plena satisfacción no siempre es posible de forma racional, es conveniente precisar las excepciones en el Plan de Emergencia de Presa para su aprobación, si procede, previa a la aplicación práctica.

En correspondencia con todo lo anterior, el Artículo 7 del Reglamento dice textualmente lo siguiente :

Artículo 7. Planificación de emergencias ante el riesgo de rotura o accidente grave en las presas.

7.1. Todas las presas que hayan sido clasificadas, de acuerdo con su riesgo potencial en las categorías A o B deberán disponer de su correspondiente Plan de Emergencia ante el riesgo de avería grave o rotura.

7.2. Los Planes de Emergencia de presas situadas en un mismo río o con incidencia sobre un tramo común deberán ser compatibles entre sí y considerar las hipótesis de rotura encadenada de presas.

7.3. El titular de cada presa y para cada una de las fases contempladas en el artículo 24, tiene la obligación de elaborar, implantar, mantener y actualizar el Plan de Emergencia de la presa. El contenido mínimo de dicho Plan será el señalado en la Directriz Básica de Planificación Civil ante el Riesgo de Inundaciones.

7.4. La aprobación de los Planes de emergencia de las presas corresponde a la Dirección General de Obras Hidráulicas, en el caso de las situadas en cuencas intercomunitarias, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil en los términos previstos por la Directriz Básica antes citada.

Para la elaboración de los Planes de Emergencia de Presas, de acuerdo con lo establecido en la Directriz y en el Reglamento Técnico, la Dirección General de Obras Hidráulicas ha publicado la “Guía técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas” (2001), en la que se establecen recomendaciones, criterios y metodologías a seguir, teniendo en cuenta las singularidades que éstos presentan con respecto a la planificación general de emergencias ante inundaciones, de modo que se facilite la elaboración de unos planes homogéneos.

5.

EL REGLAMENTO TÉCNICO SOBRE SEGURIDAD DE PRESAS Y EMBALSES

5.1. Ámbito

En la introducción a la Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996 (B.O.E. nº 78 de 30 de marzo de 1996) por la que se aprueba el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses se expone que, de acuerdo con lo que es tendencia mundial en la materia, no establece soluciones técnicas concretas en cada una de las fases de desarrollo y utilización de las presas y embalses, que son responsabilidad específica del titular de la presa, sino que procede a fijar los criterios de seguridad que han de tenerse en cuenta para prevenir y limitar social y ambientalmente los riesgos potenciales que estas infraestructuras puedan representar.

El Reglamento incluye todas las fases de desarrollo y utilización de las presas y de los embalses y encomienda al titular de la presa la responsabilidad del estricto cumplimiento de las normas de seguridad, precisando los cometidos y estableciendo la coordinación de actuaciones con las propias de Protección Civil que figuran en la Directriz Básica comentada en el punto anterior. Se ha considerado conveniente, en una primera etapa, limitar su ámbito de aplicación a las presas y embalses cuya titularidad corresponda al Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, así como a aquellas, independientemente de su titularidad, que sean objeto de concesión administrativa por parte de dicho Departamento ministerial o de sus Organismos autónomos, a partir de la entrada en vigor de esta Orden.

Por otra parte, y con el fin de favorecer una más rápida aplicación futura del Reglamento a aquellas presas y embalses que quedan fuera de su ámbito de aplicación, se dispone que los titulares de las mismas realicen la propuesta de clasificación frente al riesgo de acuerdo con lo previsto en la Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, así como la adaptación de su Archivo Técnico a lo previsto en el Reglamento Técnico que se aprueba.

La Orden Ministerial consta de una primera parte dispositiva formada por los 10 puntos que se transcriben íntegramente a continuación, y de un anexo que constituye el cuerpo del

Reglamento Técnico propiamente dicho, cuyo articulado se comenta a lo largo de esta Guía, tratando los aspectos más generales a continuación y los específicos en cada uno de los capítulos correspondientes a las distintas fases de la vida de una presa.

Su parte dispositiva es la siguiente :

PRIMERO.- Se aprueba el "Reglamento técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses" que se incluye como anexo.

SEGUNDO.- El "Reglamento técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses" será de aplicación obligatoria a las presas y embalses cuyo titular sea el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente o los Organismos autónomos de él dependientes. También será de aplicación a aquellas presas y embalses que sean objeto de concesión administrativa por dicho Ministerio u Organismos, conforme a lo dispuesto en la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas y disposiciones de desarrollo, a partir de la entrada en vigor de esta Orden.

TERCERO.- Toda concesión administrativa que lleve aparejada la construcción de una presa o embalse incluida en el ámbito de aplicación del Reglamento técnico que se aprueba, deberá establecer entre sus condiciones el obligado cumplimiento de lo dispuesto en aquél.

CUARTO.- La Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, sin perjuicio de las competencias que en cada caso correspondan a los Organismos de cuenca, ejercerá las funciones de vigilancia e inspección de presas y embalses establecidas en el Reglamento técnico adjunto.

QUINTO.- Para las presas que se encuentren actualmente en servicio, sea cual sea su titularidad dentro del ámbito de competencias del Estado, sus titulares o concesionarios deberán enviar a la Dirección General de Obras Hidráulicas, dentro del plazo máximo de un año desde la entrada en vigor de esta Orden, la propuesta razonada de clasificación frente al riesgo en los términos previstos por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones y el Reglamento técnico adjunto. La Dirección General de Obras Hidráulicas resolverá sobre la clasificación de la presa en el plazo máximo de un año a contar desde la presentación de la propuesta.

SEXTO.- Los titulares de las presas que cumplan las condiciones señaladas en el artículo 2.1 del "Reglamento técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses" y no estén incluidas en el ámbito de aplicación de esta Orden en virtud de lo establecido en su apartado segundo, deberán acomodar el contenido del Archivo Técnico de la presa a lo dispuesto en dicho Reglamento técnico en el plazo máximo de dos años a contar desde la entrada en vigor de esta Orden.

SÉPTIMO.- Las presas y embalses incluidos en el ámbito de aplicación de esta Orden y cuya construcción se encuentre finalizada en el momento de su entrada en vigor, se adaptarán a las prescripciones establecidas en el "Reglamento técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses", a cuyo fin se deberán realizar las siguientes actuaciones :

- a) El Organismo de cuenca en cuyo ámbito territorial se encuentre localizada la presa deberá enviar, en el plazo máximo de un año, a la Dirección General de Obras*

Hidráulicas su propuesta razonada de clasificación de la presa frente al riesgo. La Dirección General de Obras Hidráulicas resolverá sobre dicha clasificación en el plazo máximo de un año a contar desde la formulación de la propuesta.

- b) *Cuando el Organismo de cuenca proponga la clasificación de la presa en una de las categorías A o B del artículo 3.2 del Reglamento técnico, procederá, en el plazo máximo de un año, a contar desde la fecha en la que formule dicha propuesta, a la actualización del Archivo Técnico de la presa para adecuarlo a las prescripciones del citado Reglamento. Para las propuestas de clasificación en la categoría C, este plazo será de dos años.*
- c) *La primera revisión y análisis general de la seguridad de la presa y el embalse, a que se refiere el artículo 33.4 del Reglamento técnico, se realizará, en los términos establecidos en dicho precepto, en el plazo que se determine en la resolución de clasificación en función de las condiciones de seguridad y mantenimiento de la presa.*

En ningún caso este plazo será superior a los tres años para las presas de categoría A, a cuatro para las de categoría B, y a seis para las de categoría C. Estos plazos se contarán a partir de la fecha de la resolución de clasificación de las presas.

- d) *A la vista de los resultados de la revisión y análisis general de la seguridad de la presa, y efectuadas en su caso las reparaciones o modificaciones pertinentes, la Dirección General de Obras Hidráulicas declarará finalizadas las actuaciones para la adaptación de la presa.*

OCTAVO.- Las presas y embalses no incluidos en el ámbito de aplicación de esta Orden continuarán rigiéndose, con las salvedades contenidas en los apartados anteriores, por la "Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de Grandes Presas" aprobada por la Orden del Ministerio de Obras Públicas de 31 de marzo de 1967.

NOVENO.- A efectos del procedimiento de evaluación de impacto ambiental regulado en el Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, continuará subsistente el concepto de gran presa contenido en la "Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de Grandes Presas" a que se refiere el apartado anterior.

DÉCIMO.- Esta Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Boletín Oficial del Estado.

La parte expositiva del Reglamento se presenta en forma de un Anexo, dividido a su vez en los cuatro capítulos siguientes:

Capítulo I.- Disposiciones generales (3 artículos)

Capítulo II.- Control de la seguridad (4 artículos)

Capítulo III.- Criterios básicos de seguridad (16 artículos)

Capítulo IV.- Condiciones técnicas a cumplir en cada una de las fases (12 artículos)

Por su limitada extensión y prevalente vigencia se ha considerado procedente su inclusión íntegra en la presente Guía, de forma coherente con los temas a tratar.

5.2. Disposiciones generales del Reglamento

Se transcriben íntegramente los artículos correspondientes a este capítulo con diversos comentarios a las variaciones más significativas de la legislación preexistente.

Artículo 1.- Objeto

Este Reglamento tiene por objeto determinar las normas técnicas precisas para la seguridad de las presas y embalses. A tal fin, establece los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplirse durante las fases de proyecto, construcción, puesta en carga, explotación y estado de fuera de servicio de las presas y embalses, en orden a alcanzar sus óptimas condiciones de utilidad y seguridad, que eviten daños a las personas, a los bienes y al medio ambiente.

La simple transcripción de este artículo pone de manifiesto la diferente orientación del Reglamento si se compara con la Instrucción de 1967. Los requisitos y condiciones técnicas tienen un carácter mucho más general y permiten al proyectista y al explotador de las presas y embalses proponer soluciones acordes con el desarrollo de la técnica y adecuadas a cada situación particular, con exigencias de tipo general, inexcusables, tales como los correspondientes estudios hidrológicos, hidráulicos, sísmicos, geológicos, estructurales, etc., convergiendo todos ellos en un análisis profundo de la seguridad y una valoración del riesgo.

Artículo 2.- Ámbito y grado de aplicación

2.1 Este Reglamento es de aplicación a las presas siguientes :

- *Aquellas que se clasifiquen como "gran presa", en función de sus dimensiones y conforme a lo determinado en el artículo 3.1.*
- *Aquellas otras que se encuentren clasificadas, en función de su riesgo potencial, en las categorías A y B, según se establece en el artículo 3.2, aun cuando no se clasifiquen como "gran presa".*

Lo establecido en este Reglamento será igualmente aplicable a las balsas para residuos industriales y otros usos en cuanto ocupen dominio público hidráulico.

2.2. Los requisitos y condiciones exigidos en este Reglamento se adecuarán a las características propias de cada caso. Para ello, en cada una de las fases señaladas en el artículo 1, se deberá justificar la naturaleza y clase de los estudios y comprobaciones que se hayan realizado para acreditar el cumplimiento de los requisitos y condiciones técnicas a tener en cuenta en cada una de aquéllas, así como la composición del equipo técnico encargado de la seguridad.

El órgano competente declarará en cada caso la suficiencia de dicha justificación. A tal fin podrá acordar las modificaciones que considere pertinentes.

2.3 En todo lo no previsto en este Reglamento, se tendrá en cuenta lo dispuesto en la "Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones", siempre que se encuentre en el ámbito de las materias reguladas en ésta.

Artículo 3.- Clasificación de las presas

A los efectos de la aplicación de este Reglamento y de su correspondiente registro, las presas se clasificarán, de acuerdo con los criterios que se señalan, en las siguientes categorías :

3.1. En función de sus dimensiones

- a) "Grandes presas".- Tendrán esta consideración las presas que cumplan, al menos, una de las siguientes condiciones :*
- Altura superior a 15 metros, medida desde la parte más baja de la superficie general de cimentación hasta la coronación.*
 - Altura comprendida entre 10 y 15 metros, siempre que tengan alguna de las siguientes características :*
 - longitud de coronación superior a 500 metros*
 - capacidad de embalse superior a 1.000.000 de metros cúbicos*
 - capacidad de desagüe superior a 2.000 metros cúbicos por segundo*

Podrán clasificarse igualmente como "grandes presas" aquellas que, aun no cumpliendo ninguna de las condiciones anteriores, presenten dificultades especiales en su cimentación o sean de características no habituales.

El acuerdo de clasificación de una de estas presas como "gran presa" será adoptado por el órgano competente en el momento de aprobación del proyecto. Este acuerdo será motivado.

b) "Pequeñas presas".- Serán todas aquellas que no cumplan ninguna de las condiciones señaladas en el punto anterior.

Lo anterior implica ciertos cambios en relación con la definición de grandes presas que figura en la Instrucción de 1967 y que se describe en el capítulo 3.

Para la determinación de la altura de las presas, y según se precisa en el artículo 13.1 del Reglamento, se mantiene la definición de la coronación como la parte más alta de la estructura resistente

3.2. En función del riesgo potencial que puede derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto todas las presas deberán clasificarse, de acuerdo con la "Directriz

de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones", en alguna de las siguientes categorías :

- a) "Categoría A": Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.*
- b) "Categoría B": Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.*
- c) "Categoría C": Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas.*

En todo caso, a esta última categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las Categorías A o B.

Puede surgir una cierta confusión entre la definición de la categoría C y la generalización de tal categoría a todas las presas no incluidas en las categorías A y B. Por ello se precisa que el Reglamento solamente es aplicable a las grandes presas y a las pequeñas clasificadas en las categorías A y B, con posibilidad de producir daños importantes.

3.3. *En función de su tipología se adopta la clasificación siguiente :*

- a) presas de materiales sueltos, tanto de tierra como de escollera*
- b) presas de gravedad*
- c) presas de contrafuertes*
- d) presas bóveda*
- e) presas de bóvedas múltiples*
- f) presas mixtas*
- g) presas móviles*

6.

CONTROL DE LA SEGURIDAD

6.1 El titular

El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses recoge las novedades introducidas por la Directriz Básica de Protección Civil referentes a clasificación y planes de emergencia de presas y coincide con ella en otros aspectos que aun cuando no pueden considerarse estrictamente como novedades si lo son en lo referente al énfasis que estas normas ponen en ellos. Entre estos últimos hay que mencionar la importancia que se da a la fase de explotación y también a diferenciar las dos figuras básicas responsables de la seguridad de las presas : el titular y el órgano de control.

Artículo 4.- Personas responsables de la seguridad de las presas:

4.1. El titular de la presa será responsable del cumplimiento de las normas de seguridad en todas y cada una de las fases de existencia de la misma. A tal fin, deberá disponer de todos los medios humanos y materiales que exija el cumplimiento y mantenimiento de las condiciones de seguridad.

En el caso que la explotación de la presa sea cedida a otra persona física o jurídica, el cesionario asumirá las obligaciones del titular, si bien este será responsable subsidiario de la seguridad de aquélla.

4.2. El control de la seguridad de las presas se ejercerá por el órgano competente, desde la fase de proyecto y durante las fases de construcción, puesta en carga, explotación y fuera de servicio.

Artículo 5.- Obligaciones del titular de la presa

5.1. Los titulares de las presas pueden ser la Administración General del Estado y cualquier otro ente público y persona física o jurídica que disponga de título suficiente de acuerdo con la legislación de aguas.

5.2. Constituyen obligaciones del titular de la presa durante las fases de proyecto y construcción:

- a) Realizar los adecuados estudios de apoyo, en particular los hidrológicos y geológicos, de acuerdo con las especificaciones de este Reglamento técnico.*
- b) Designar al Director de las obras y a su equipo, así como comunicarlo a la Administración.*
- c) Efectuar, durante la ejecución de las obras, los reconocimientos necesarios y disponer el control de las mismas que aseguren la calidad de las obras y garanticen la seguridad de la presa.*
- d) Ejecutar el sistema de auscultación previsto, realizando las mediciones que correspondan a esta fase, así como facilitar esta información a la Administración.*
- e) Proponer el plan de puesta en carga de la presa.*

5.3. Constituyen obligaciones del titular de la presa durante las fases de puesta en carga y explotación.

- a) Designar al Director de explotación y a su equipo, así como las sucesivas modificaciones en su composición que pudieran producirse realizando en cada caso la comunicación a la Administración.*
- b) Promover, de acuerdo con lo previsto en este Reglamento técnico, las inspecciones periódicas para verificar el estado de conservación de las obras y equipos, asegurando la idoneidad e independencia de los equipos encargados de realizarla.*
- c) Efectuar la auscultación de acuerdo con las normas aprobadas por la Administración y facilitarle esta información.*
- d) Comunicar los episodios excepcionales y las circunstancias anómalas que pudieran producirse, promoviendo de manera simultánea su estudio y análisis, así como disponer los medios necesarios para proceder a su reparación en el caso que proceda.*

5.4. Durante la fase de puesta fuera de servicio, el titular de la presa deberá formular el proyecto de adecuación y proceder a su ejecución.

5.9. El titular asumirá los costes de los estudios, trabajos y medidas de seguridad requeridas por este Reglamento Técnico o aquellas que la administración considere necesario aplicar para el cumplimiento del mismo.

Los artículos 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8, que se refieren al Archivo Técnico, Normas de Explotación e Inspecciones se detallarán en los capítulos correspondientes. No obstante, se añaden los comentarios que siguen, por su posible interés.

En caso de cambios o transferencias de la propiedad o de la responsabilidad en la explotación de una presa o embalse, el propietario debe notificar al organismo público, de modo inmediato, la nueva situación.

La responsabilidad de propietarios y explotadores frente a terceras personas debería estar regulada por una ley nacional o regional establecida. En el caso de ríos fronterizos las responsabilidades pueden extenderse más allá que las leyes del Estado en que actúa, de acuerdo con eventuales tratados internacionales.

La responsabilidad del propietario o explotador deberá ejercerse por ingenieros titulados -en caso de que tal titulación sea requerida por ley- y en cualquier caso por ingenieros con cualificación y experiencia adecuadas. El Reglamento se limita a exigir un Técnico competente, en calidad de Director al frente de un equipo técnico. La aprobación de la composición del equipo y de la designación de su Director corresponde a la Administración.

El explotador también estará obligado a informar al organismo público de cualquier suceso, anomalía o deficiencia que afecte o pueda afectar a la seguridad de la presa o embalse. Este aspecto también se recoge de forma expresa en la Directriz.

6.2. El Organismo Inspector

Tanto en la Directriz como en el Reglamento se considera la necesidad de un control por parte de la Administración del cumplimiento de las obligaciones que se asignan al titular.

En la Directriz Básica este control se asigna a la Dirección General de Obras Hidráulicas, para las presas situadas en cuencas hidrográficas gestionadas por el Estado, y a los Organos de las Comunidades Autónomas que ejerzan competencias sobre el dominio público hidráulico, para aquellas presas ubicadas en cuencas hidrográficas cuya gestión haya sido transferida a la correspondiente Comunidad Autónoma, por estar comprendidas íntegramente dentro de su territorio.

En el artículo 4.2 del Reglamento ya se atribuye el control de la seguridad al órgano competente en todas las fases pero es en el artículo 6 donde se detallan los cometidos de vigilancia e inspección, del mismo modo que el artículo 7.4 asigna a la Dirección General de Obras Hidráulicas la aprobación de los Planes de Emergencia de las presas situadas en cuencas intercomunitarias.

Artículo 6.- Vigilancia e Inspección de presas

6.1. La vigilancia e inspección de presas comprenderá los siguientes cometidos:

- a) Informar, de acuerdo con la documentación aportada por el titular, la propuesta de clasificación en función del riesgo, de todas las presas, sea cual sea la fase en que se encuentren, de acuerdo con lo previsto en el artículo 3 de este Reglamento técnico.*

- b) *Revisar los proyectos de nuevas presas en lo que afecta a la seguridad, realizando las propuestas que sean pertinentes.*
- c) *Inspeccionar la construcción de nuevas presas, informando sobre el cumplimiento de los requisitos de seguridad exigidos en el proyecto.*
- d) *Analizar las modificaciones al proyecto que se propongan a lo largo de la fase de construcción para hacer frente a las desviaciones respecto a las características previstas del terreno o de los materiales de construcción.*
- e) *Informar y proponer al organismo competente la aprobación de las Normas de Explotación y los programas de puesta en carga de cada presa.*
- f) *Comprobar el cumplimiento del programa de puesta en carga mediante el seguimiento de su proceso y sus incidencias, como mínimo en las presas de categoría A y B.*
- g) *Comprobar, durante la fase de explotación, el cumplimiento de las Normas de Explotación y el registro en el Archivo Técnico de las más importantes.*
- h) *Proponer los plazos en que deben realizarse las revisiones generales conforme a lo indicado en el artículo 33.4, así como los protocolos que deben seguirse en dicha revisión.*
- i) *Analizar los resultados de las revisiones periódicas que se realicen en las presas existentes para comprobar el cumplimiento de las condiciones de seguridad, proponiendo la aprobación de las modificaciones que se precisen para corregir los defectos detectados o para incrementar la seguridad de la presa.*
- j) *Informar a requerimiento del organismo competente y proponer, en su caso, al mismo la aprobación de los Planes de Emergencia de las presas de las categorías de riesgo A y B, de acuerdo con el procedimiento previsto en la "Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones".*
- k) *Proponer, de acuerdo con lo establecido en el artículo 35.3, las actuaciones pertinentes para evitar los riesgos y daños que puedan derivarse de la existencia de presas abandonadas o fuera de servicio.*

6.2 *Como cometidos complementarios de la función de vigilancia e inspección de presas corresponden:*

- a) *Mantener actualizado el Inventario de Presas Españolas que, al menos, deberá contener a las incluidas dentro del ámbito de este Reglamento.*
- b) *Promover y fomentar la elaboración de recomendaciones técnicas, manuales o normas de buena práctica en relación con la seguridad para el proyecto, construcción, explotación y mantenimiento de las presas.*

Por su indudable interés se añaden a continuación tres comentarios tomados del Boletín 59 de ICOLD, para su análisis comparativo con la situación española en la fecha de redacción de esta Guía.

El primero indica que es preferible que sea un solo organismo o entidad pública, designado por ley, el responsable exclusivo de la coordinación y aplicación de las prescripciones de seguridad y de la supervisión del proyecto, construcción, explotación y abandono final de presas y embalses.

Si esto no es posible, las responsabilidades, poderes y campos de acción de cada una de las entidades públicas implicadas deben definirse con claridad al objeto de evitar contradicciones y duplicidades. No obstante lo anterior, cualquier organismo o entidad pública debe tener autoridad para delegar, bajo su exclusiva responsabilidad, todas o parte de sus funciones ejecutivas y operativas a otros grupos o entidades de la administración central, regional o local, para que actúen como sus agentes o representantes.

Se insiste, en un segundo comentario, en el principio de autoridad del organismo público, cuyas órdenes e instrucciones deben ser obligatorias tanto para los propietarios o explotadores de la presa como para cualquier otra entidad gubernamental, de cualquier nivel, que hubiera de intervenir, por alguna razón, en cualquier momento.

Y ya, por último, se señala que todos los puestos y cargos investidos de autoridad y poder decisorio deben estar ocupados por profesionales titulados, si tal titulación es requerida por ley, de acuerdo con los conocimientos y experiencia profesional necesarios para cada posición particular. Y en cualquier caso por personal cualificado y experto.

6.3. El Archivo Técnico

Durante la vida operativa de la presa se prepararán y mantendrán archivos completos sobre el diseño, construcción y funcionamiento de la presa y embalse así como de cualquier suceso que haya afectado o pudiera haber afectado a la seguridad. Deben incluir, sin carácter limitativo, documentos del proyecto tales como criterios de diseño, datos básicos, informes sobre los reconocimientos realizados en el emplazamiento, ensayos sobre modelos, cálculos, planos y especificaciones.

El Archivo Técnico de construcción incluirá documentación sobre los métodos y materiales empleados, informes sobre control de calidad, pruebas de laboratorio e inspecciones de obra, características detalladas de todos los aparatos de auscultación y una colección completa de planos definitivos, concluyendo esta fase con la Memoria de construcción de la presa.

Siguiendo el orden cronológico se incorporará la Memoria de la puesta en carga, con los resultados habidos en esta fase. Y durante la explotación se registrará el comportamiento de presa y embalse, con especial atención a las deformaciones y comportamiento estructural de la presa, informes de inspección y evaluaciones de seguridad, informes sobre modificaciones, recrecimientos y reparaciones; informes sobre sucesos anómalos o infrecuentes relacionados con la seguridad y cualquier otro dato considerado de interés.

Aún cuando no se especifica nada en cuanto al número de ejemplares de esta documentación es aconsejable mantener al menos un mínimo de dos (de trabajo y copia de seguridad), uno de los cuales servirá de apoyo directo a la explotación de la presa. El explotador será responsable de la puesta al día, clasificación y disponibilidad de toda la documentación archivada, así como de la tramitación de los documentos exigidos por el organismo público. Si los cálculos de proyecto

se conservan en condiciones seguras en otra parte, no será necesario incluirlos entre la documentación de obra.

El Reglamento especifica literalmente lo siguiente:

5.5 El titular elaborará y mantendrá actualizado un Archivo Técnico de la presa, que contendrá como mínimo los documentos relativos a:

- a) La clasificación razonada de la categoría de la presa según el riesgo.*
- b) Los proyectos que hayan servido de base para la ejecución de la presa, incluyendo los estudios hidrológicos y de avenidas, así como los informes geológicos que se utilizaron para su elaboración.*
- c) Los resultados de los ensayos y análisis realizados para comprobar la calidad de las obras.*
- d) La información geológica adicional obtenida durante la ejecución de las obras.*
- e) Las reformas introducidas en el proyecto durante la construcción de la presa.*
- f) Los tratamientos realizados para la impermeabilización y drenaje del terreno y la presa.*
- g) Las actas de los procesos de prueba y puesta en carga de la presa.*
- h) La evolución de los niveles de embalse, de los caudales entrantes y salientes al mismo y de los datos climatológicos.*
- i) La evolución de los caudales de las filtraciones a través del terreno y de la presa y de las presiones registradas.*
- j) El plan de auscultación de la presa en sus diferentes fases, así como los resultados de la auscultación y su interpretación, con especial referencia al primer llenado del embalse.*
- k) Las actas de las inspecciones realizadas, en las que se incluirán las anomalías observadas.*
- l) La descripción de los trabajos realizados para la conservación o la seguridad de la presa.*

5.6 En las presas clasificadas en la "Categoría C", y a propuesta de su titular, la Administración podrá autorizar la composición de un Archivo Técnico simplificado, en el que, de acuerdo con las características de la presa, podrá prescindirse de alguno de los documentos señalados en el punto 5.5 anterior.

A esta documentación se añadirán las Normas de Explotación, el Plan de Emergencia y, si procede, el proyecto y el resultado de la inspección final de las presas fuera de servicio.

En los numerosos casos de presas antiguas en las que no es posible seguir los pasos indicados, se recomienda proceder a la preparación de un documento XYZT que supla, dentro de lo posible, la carencia de planos y datos. Se investigarán las características del terreno, hidrológicas y de los materiales empleados y se realizará, si ha lugar, un nuevo análisis de la presa de acuerdo con los parámetros obtenidos. La instrumentación es siempre posible para establecer un sistema de auscultación adecuado a cada presa y llevar a cabo con posterioridad el seguimiento de su evolución. Este déficit de documentación se compensa parcialmente con la experiencia de la explotación anterior.

6.4. Normas de Explotación

El Reglamento especifica que :

5.7 El titular deberá elaborar unas Normas de Explotación de la presa y embalse, que deberán incluir la normativa de seguridad y que se incorporarán al Archivo Técnico de la misma. En ellas se establecerá como mínimo lo siguiente :

- a) Los niveles máximos y mínimos admitidos en el embalse para cada época del año.*
- b) La velocidad máxima de variación del nivel del embalse admisible, especialmente si existen riesgos de inestabilidad en las laderas y en las presas de materiales sueltos.*
- c) Los resguardos convenientes en el embalse durante épocas de riesgo de avenidas.*
- d) Las normas para accionamiento de compuertas en caso de avenidas.*
- e) Las precauciones a adoptar para evitar la evacuación intempestiva de caudales que pudieran ocasionar daños aguas abajo de la presa.*
- f) Los sistemas de alarma y su accionamiento.*

En el caso de las presas clasificadas en las categorías A y B, formará parte de la Norma de Seguridad (se entiende de Explotación) el Plan de Emergencia ante el riesgo de avería grave o rotura de la presa.

La explotación constituye la finalidad de la presa, por lo cual las condiciones en que vaya a realizarse se deben tener presentes en todas las fases anteriores.

Por la importancia de esta fase el Reglamento Técnico dedica a ella una sección completa, con un comentario adicional de las Normas de Explotación cuyo cumplimiento se considera de la mayor importancia en orden a la seguridad de la presa y su entorno.

7.

CRITERIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD

El Reglamento dedica su capítulo III al tema del encabezamiento con la siguiente descomposición:

Sección primera.- Valoración del riesgo

Sección segunda.- Avenidas y desagües

Sección tercera.- Solicitaciones

Sección cuarta.- El terreno y los materiales

Sección quinta.- Medidas complementarias de seguridad

La sección primera generaliza el concepto de seguridad de forma proporcional al riesgo aceptable, indicando la necesidad de contemplar los árboles de fallo previsibles y las formas de rotura derivadas de los mismos.

Las otras cuatro secciones atienden a las variables de mayor incidencia en la seguridad, contemplando como principales riesgos los de origen hidrológico y geológico, así como los derivados de las distintas combinaciones de solicitaciones y del comportamiento de los materiales.

Analizados estos parámetros de forma adecuada resta todavía la verificación del comportamiento de la presa mediante un sistema de auscultación suficiente y la realización de una explotación responsable cuya ausencia podría anular todos los esfuerzos anteriores.

El análisis de los riesgos, en tanto que combinación de juicios subjetivos y de rigor científico, es una aproximación formal y consecuente para evaluar la verosimilitud de un suceso no deseado.

Uno de los problemas principales es la validez de las hipótesis de partida para cuyo análisis el juicio de los expertos permanece como un elemento esencial en los procesos de decisión.

7.1. Valoración del riesgo

Este título se descompone en dos artículos : uno que atiende a las exigencias de seguridad, en íntima relación con el estado de la presa frente a las causas que pueden producir un accidente, y otro que contempla los daños que se pueden producir con independencia de su probabilidad de ocurrencia.

En Canadá y USA la clasificación de los peligros potenciales se basa también en las consecuencias, por la dificultad existente de garantizar el grado de seguridad, adoptándose el término "clasificación de las consecuencias". Del mismo modo se emplea el término "población en riesgo" al objeto de obviar el problema de cuantificar las vidas humanas.

En general, la sociedad acepta el riesgo derivado de las presas si las reglas del arte son respetadas. El nivel de protesta después de un accidente con víctimas varía según las respuestas a preguntas de orden ético, social, económico, medioambiental y psicológico, Reid (1992). Es muy importante la confianza en los expertos y autoridades, que crece con la comunicación.

De las estadísticas de accidentes mortales resultantes de actividades humanas se infiere que el riesgo socialmente admisible está establecido, aun cuando no esté cuantificado numéricamente. Y la variable a tener en cuenta es que este riesgo sea reducido de forma razonable para su aceptación.

El Reglamento especifica textualmente :

Artículo 8.- Exigencias de seguridad

8.1. Las exigencias de seguridad de la presa deberán estar de acuerdo con la magnitud del riesgo, según se define en este capítulo.

8.2. Se analizarán las diversas causas que, tanto de manera independiente como combinada, pueden generar la rotura de la presa, así como los efectos de la misma aguas abajo.

En cada caso estudiado deberá considerarse si la rotura puede ser parcial o total y distinguir entre rápida y progresiva

También se analizarán aquellas circunstancias que, sin llegar a determinar causa de rotura de la presa, sean origen de averías graves o funcionamiento incorrecto.

Artículo 9.- Clasificación de la presa respecto al riesgo

9.1. Con el fin de clasificar la presa en cualquiera de las categorías de riesgo potencial establecidas en el artículo 3.2, deberá realizarse una evaluación de los daños inducidos por una eventual rotura, avería grave o funcionamiento incorrecto de la presa. Esta información será la suficiente para que la Administración pueda realizar su clasificación.

9.2. Si los niveles de riesgo de una presa resultasen modificados en el curso del tiempo, la Administración podrá variar la clasificación frente al riesgo de la misma. Esta modificación se realizará por la Administración, bien a instancias del titular o bien de oficio como consecuencia de las revisiones establecidas en el artículo 33 o por modificación sobrevenida de las condiciones del entorno. El procedimiento para realizar esta revisión será análogo al de la primera clasificación.

Esta valoración del riesgo presupone la rotura, avería grave o funcionamiento incorrecto de la presa, con independencia de su estado, por lo que es necesario el análisis detallado de los modos de fallo posibles, tanto de forma independiente como combinada, incluyendo la consideración del factor humano.

La experiencia muestra que gran parte de los incidentes de importancia no son el resultado de valores extremos sino la conjunción de distintos factores, secuenciales o simultáneos, de forma desfavorable. Es por ello que las secciones siguientes, más técnicas, señalan las exigencias y criterios que deberán tenerse en cuenta para la limitación de los riesgos en términos de probabilidad.

7.2. Avenidas y desagües

La estadística señala a las avenidas como la primera causa de roturas y accidentes graves en presas, bien por dimensionamiento insuficiente de los aliviaderos, operación deficiente de los órganos de desagüe o vertidos durante la construcción. De aquí el interés de la sección segunda - Avenidas y desagües, que se transcribe a continuación, juntamente con los comentarios más importantes tomados de la Guía nº 4 - "Avenida de proyecto".

Artículo 10.- Estudio de avenidas

10.1. Se evaluarán los hidrogramas de las avenidas afluentes al embalse y sus probabilidades de ser superadas en un año. Para esta evaluación se considerarán los datos o referencias de las avenidas precedentes.

10.2. Se determinará la distribución frecuencial de las avenidas según los meses, para tener en cuenta su eventual coincidencia con los niveles previsibles del embalse en distintas épocas del año.

10.3. Se analizará y evaluará la incidencia de los caudales desaguados por los embalses de aguas arriba y la laminación que produzcan los de aguas abajo.

10.4. Se estudiarán los efectos producidos aguas abajo de la presa para diferentes caudales desaguados, así como su combinación con distintos valores de caudales circulantes por el cauce procedentes de otras posibles aportaciones.

10.5. En las presas de categoría A y B se estimará el hidrograma de la zona de rotura y los efectos de su propagación aguas abajo, tanto en niveles como en daños.

La Guía nº 4 recomienda que, dada la experiencia y tradición hidrológica española, el cálculo se realice mediante el empleo de métodos probabilísticos, contrastados con estudios históricos para tener en cuenta los valores extremos en las leyes de frecuencia.

Los estudios de las avenidas deberán enmarcarse en una consideración global de la formación, propagación y laminación de avenidas en el conjunto de la cuenca, por lo que se tendrá en cuenta la existencia de presas aguas arriba y aguas abajo, así como la tipología de los aliviaderos y órganos de desagüe y sus sistemas de explotación.

Artículo 11.- Avenidas a considerar

11.1. El criterio básico para la selección y la determinación de las avenidas de proyecto será el del riesgo potencial asumible.

11.2. En el proyecto y en la explotación de la presa se definirán razonadamente, en función de la clasificación frente al riesgo de la presa, los tipos de avenidas afluentes al embalse:

a) Avenida de proyecto

Máxima avenida que debe tenerse en cuenta para el dimensionamiento del aliviadero, los órganos de desagüe y las estructuras de disipación de energía, de forma que funcionen correctamente.

b) Avenida extrema

La mayor avenida que la presa puede soportar. Supone un escenario límite al cual puede estar sometida la presa sin que se produzca su rotura, si bien admitiendo márgenes de seguridad más reducidos.

11.3. En función del riesgo potencial asumible durante la fase de construcción en la presa se determinarán las avenidas a considerar en el proyecto de los desvíos provisionales y órganos de desagüe. Se tendrá en cuenta, necesariamente, la distribución de frecuencias de las avenidas según los meses.

Además del riesgo potencial es importante tener en cuenta la fiabilidad de los datos de partida y de los métodos de cálculo empleados, así como el tipo de presa y las características de su cimentación.

La consideración de las avenidas de proyecto y de las extremas supone una novedad frente al criterio único de la Instrucción.

Estas avenidas a considerar se refieren a las entradas al embalse y tanto para el diseño de los órganos de desagüe como para el estudio de su propagación aguas abajo se tendrá en cuenta el efecto de laminación del embalse, previa justificación de su procedencia, o la existencia de condiciones especialmente favorables tales como:

- Criterios de seguridad más severos que los habituales contra la rotura por desbordamiento.
- Disponer con carácter permanente una capacidad de reserva de embalse, compatible con la sobreelevación temporal y combinada con procedimientos de explotación altamente fiables que aseguren el programa predeterminado de desagüe de las avenidas.

- La existencia de un vertedero adicional fusible.
- La existencia de un aliviadero en lámina libre en combinación con las compuertas.
- Otras circunstancias favorables que permitan reducir los requisitos anteriormente expuestos.

En la mejora de las presas existentes pueden considerarse criterios análogos a los descritos, debiendo ser aprobadas las modificaciones por el organismo público competente.

Son de gran interés las recomendaciones de la Guía nº 4, acerca de los periodos de retorno para las distintas categorías de las presas.

PERIODOS DE RETORNO DE LAS AVENIDAS, EN AÑOS

CATEGORÍA DE LA PRESA	AVENIDA DE PROYECTO	AVENIDA EXTREMA
A	1.000	5.000-10.000
B	500	1.000-5.000
C	100	100-500

En las grandes presas de materiales sueltos se recomienda seleccionar como avenida extrema la correspondiente al límite superior del periodo de retorno.

En cuanto a las avenidas a considerar en el proyecto del desvío se preconiza que en las grandes presas de la categoría A el riesgo aceptable no sea superior al correspondiente a la avenida de proyecto de la propia presa durante su vida útil.

También a título orientativo se recomienda que la probabilidad de superación de los caudales de desvío durante el periodo efectivo de la construcción sea inferior a:

Presas de hormigón de categoría A:	20 %
Presas de materiales sueltos de categoría A:	5 %
Presas de hormigón de categorías B y C:	Entre el 20 y el 25 %
Presas de materiales sueltos de categorías B y C:	Entre el 5 y el 10 %

Bien entendido que las características particulares de cada presa, la distribución mensual de las avenidas y los programas de obra pueden cambiar estos porcentajes de forma importante, por lo que es obligado siempre un estudio de alternativas técnico-económicas para decidir la más conveniente.

Artículo 12.- Niveles de embalse

En las fases de proyecto y explotación se definirán los niveles de embalse siguientes

a) *Nivel Máximo Normal (NMN)*

Es el máximo nivel que puede alcanzar el agua del embalse en un régimen normal de explotación.

Su valor se justificará en el proyecto y en las Normas de Explotación del embalse.

b) *Nivel para la Avenida de Proyecto (NAP)*

Es el máximo nivel que se alcanza en el embalse, considerando su acción laminadora, cuando recibe la avenida de proyecto.

c) *Nivel para la Avenida Extrema (NAE)*

Es el máximo nivel que se alcanza en el embalse si se produce la avenida extrema, habida cuenta la acción laminadora del mismo.

La Instrucción define el máximo nivel normal como el alcanzado en circunstancias normales de explotación cuando estas no exijan el vertido por los aliviaderos. Esta definición coincide sensiblemente con la del Reglamento aun cuando éste contempla posibles reducciones temporales impuestas por las Normas de Explotación.

El máximo nivel del embalse en crecidas, por el contrario, se define en la Instrucción como el que puede alcanzar la superficie del agua cuando ocurre la mayor crecida prevista, funcionando el aliviadero sin limitar su capacidad por compuertas. Este nivel era conocido también con la designación de nivel máximo extraordinario y normalmente se asociaba al paso de la crecida de proyecto con periodo de recurrencia 500 años.

A efectos del dimensionamiento de los dispositivos de evacuación sujetos a control, la Instrucción limita su capacidad con el NMN al caudal de la "avenida normal" definida por un periodo de recurrencia no superior a 50 años, pero calculada siempre con vistas a no alterar de modo esencial las condiciones de riesgo preexistente. Podría ser mayor en el caso de que inmediatamente aguas abajo de la presa existiera un embalse de capacidad suficiente para laminar la avenida prevista o por otras circunstancias favorables que se justificarían debidamente. Se trata con ello de limitar las crecidas artificiales; y con la misma preocupación de la seguridad se determina la división de los aliviaderos al menos en dos vanos, lo que también reduce el riesgo de indisponibilidad.

Los niveles de embalse están en íntima relación con los resguardos respecto a la cota de coronación y con la capacidad de los órganos de desagüe. Todo ello se trata en los artículos siguientes del Reglamento:

Artículo 13.- Resguardo

13.1. Se entiende por resguardo la diferencia entre el nivel de agua del embalse en una situación concreta y la coronación de la presa. A los efectos de la definición de resguardo se

entenderá como cota de coronación la más elevada de la estructura resistente del cuerpo de la presa.

De acuerdo con los niveles de embalse establecidos en el artículo 12, se definen los resguardos para las dos situaciones principales del embalse:

a) Resguardo normal

Es el relativo al Nivel Máximo Normal (NMN). Este resguardo, además de ser suficiente para el desagüe de las avenidas, será igual o superior a las sobreelevaciones producidas por los oleajes máximos, incluidos los debidos a los efectos sísmicos.

b) Resguardo mínimo

Es el relativo al Nivel para la Avenida de Proyecto (NAP). Este resguardo será igual o superior a las sobreelevaciones producidas por los oleajes en situaciones de avenida y para su determinación se tendrá en cuenta el desagüe de la avenida extrema.

Para la determinación de estos resguardos se considerarán los asientos presumibles debidos a fenómenos sísmicos u otras causas de carácter extraordinario.

13.2. Para la avenida extrema se tolerará un agotamiento parcial o total del resguardo con las siguientes condiciones:

- En las presas de materiales sueltos, salvo que estén proyectadas específicamente para ello, no se admitirán vertidos por coronación teniendo en cuenta el oleaje producido por los vientos.*
- En las presas de hormigón de categoría A solo se admitirán vertidos accidentales por oleaje. En las de categoría B y C se podrá justificar la posibilidad de vertidos superiores.*

En la Guía nº 4 se recomienda que en las presas de categoría A los resguardos sean como mínimo de 0,5 m a 1 m en presas de hormigón, y de 2 a 3 m en presas de materiales sueltos. En cada caso particular de presa y embalse se tendrá en cuenta la capacidad de laminación y la gran variación de los hidrogramas de entrada.

La existencia de un amplio resguardo es un factor de seguridad ante la indeterminación de las avenidas extremas, siempre y cuando no comprometa la estabilidad de la presa. El aumento de la superficie temporalmente inundable producirá daños comparativamente muy inferiores a los que se producirían por un desbordamiento importante sobre la coronación, que podrían ser catastróficos. Un buen dimensionamiento es, por tanto, de gran interés de cara a una explotación segura.

El aumento de los resguardos existentes es una posible actuación a tener en cuenta en los casos de presas ya construidas con un dimensionamiento estricto de los aliviaderos, o una estimación deficiente de las avenidas. Antes de proceder al recrecimiento de la coronación son obligadas todas las verificaciones previas de su comportamiento en situación de sobrecarga hidrostática.

En ningún caso es aconsejable la existencia de parapetos o barandillas opacas que puedan ponerse en carga, dada su posibilidad de rotura instantánea. De ser admisible una cierta sobreelevación sobre la coronación, en presas de hormigón, es aconsejable el recrecimiento generalizado y la elevación consiguiente de las barandillas.

En las presas de materiales sueltos, salvo disposiciones especiales, no se admitirán vertidos, ni aun los provocados por el oleaje.

Artículo 14.- Capacidad de los órganos de desagüe.

14.1. Los órganos de desagüe se dimensionarán en función de las avenidas definidas en el artículo 11 y los niveles y los resguardos especificados en los artículos 12 y 13.

14.2. Se comprobará que el funcionamiento de los órganos de desagüe con condiciones límite para la avenida extrema no compromete la seguridad de la presa.

14.3. Para determinar la capacidad total de desagüe durante las avenidas se tendrán en cuenta los caudales evacuados por los aliviaderos y desagües profundos, pero no los de las tomas de explotación salvo que se justifique. También, si es el caso, se tendrá en cuenta la capacidad de los aliviaderos de emergencia y la de los diques fusibles.

14.4. Los desagües profundos de las presas, incluyendo los desagües de fondo, estarán dimensionados para facilitar, conjuntamente con las tomas de agua, el control del nivel del embalse, en particular durante su primer llenado.

14.5. La luz entre pilas de los aliviaderos deberá ser suficiente para permitir el paso de árboles u otros cuerpos flotantes que puedan llegar al embalse en situaciones de avenida.

14.6. Los aliviaderos controlados exclusivamente por compuertas deberán disponer, como mínimo, de dos vanos.

La Instrucción de 1967 refleja una estrategia semejante, partiendo de la avenida máxima, para definir con criterio de actuación coordinada los medios de evacuación o laminación convenientes, como son los desagües controlados por compuertas : de fondo, intermedios o de superficie; los desagües de sección acotada pero sin compuertas; los aliviaderos de lámina libre y el resguardo del embalse, excluyendo asimismo los caudales evacuados por las tomas de explotación (centrales eléctricas, tomas industriales, para regadío o abastecimientos, etc.) salvo casos muy especiales que se justificarán debidamente.

En lo relativo a la laminación proporcionada por una cierta capacidad de reserva de embalse se deberá tener en cuenta el riesgo de repetición de avenidas importantes con periodos intermedios muy cortos, lo que podría anular o disminuir el efecto de la laminación aguas abajo pero no deberá conducir a un dimensionamiento escaso de los órganos de desagüe, que habrán de ser suficientes aun en tal circunstancia.

También es procedente tener en cuenta la posibilidad de futuros recrecimientos de la presa y estructuras anexas, en caso de contemplarse un previsible aumento de la demanda que pudiera atenderse con los recursos existentes en el mismo emplazamiento.

Artículo 15.- Control de los órganos de desagüe.

15.1. La maniobra de los órganos de desagüe no deberá dar lugar a caudales desaguados que originen daños aguas abajo superiores a los que se podrían producir naturalmente sin la existencia del embalse.

15.2. En los aliviaderos con compuertas, todos los elementos de éstas deben estar proyectados y mantenidos en condiciones adecuadas para asegurar su correcto funcionamiento en cualquier situación y, en particular, en las situaciones de avenida; deben disponer de dispositivos de accionamiento redundantes en número suficiente y estar alimentados por fuentes de energía alternativas y diferentes. El acceso a las mismas se realizará a través de caminos no inundables.

15.3. Se considerarán diversos escenarios de averías de los órganos de desagüe durante la explotación, analizando sus consecuencias, adoptando las medidas pertinentes para minorar riesgos y daños.

15.4. En las presas de categorías A y B, los desagües profundos constarán, al menos, de dos conductos provistos cada uno, como mínimo, de dos elementos de cierre colocados en serie.

Del artículo 15.1 se deriva la conveniencia de realizar un análisis del régimen hidráulico aguas abajo para caudales de avenida hasta la de proyecto. Es habitual que la regulación proporcionada por el embalse propicie la invasión de los cauces por pérdida de la memoria histórica de las avenidas naturales, originando conflictos ante la necesidad de grandes vertidos, menos frecuentes pero necesarios. Este análisis debe hacerse extensivo a la longitud de cauce adecuada a cada caso.

El análisis de la categoría de la presa frente al riesgo potencial y el establecimiento de los Planes de Emergencia implican la obligatoriedad de estos estudios. Pero con independencia de lo anterior puede ser de gran interés la preparación de un estudio probabilístico de las avenidas basado en las condiciones de explotación previsibles, con el fin de determinar el plan de explotación más adecuado compatible con las medidas de seguridad establecidas para el tramo de aguas abajo. A menudo, tales planes de explotación reducen la punta de la avenida pero prolongan la duración de caudales altos si se compara con las condiciones de avenida que existían antes de la construcción de la presa.

La Instrucción y la Guía nº 5 contemplan la posibilidad de compuertas automáticas, aconsejando limitar su número al 50 % del total, a la vez que exigen la existencia de dispositivos que permitan comprobar su automatismo cualquiera que sea el nivel del embalse.

Parece oportuna esta exigencia de que todos los automatismos puedan ser controlados de forma manual, modificando los parámetros de entrada cuando las circunstancias de riesgo así lo aconsejen o requieran.

Un segundo aspecto, no tratado en ambas disposiciones normativas, es la automatización de las maniobras mediante dispositivos electromecánicos y la utilización de telemandos. Ambos planteamientos suponen importantes ayudas a la explotación e incluso suplirían posibles deficiencias de las actuaciones personales, pero en todos los casos parece exigible la

supervisión directa de su comportamiento y la posibilidad de paso al accionamiento manual por parte del personal presente en la presa.

Lo anterior puede paliar una cierta dificultad en los accesos a la presa, en condiciones habitualmente desfavorables, que deberán estar asegurados o disponer de distintas alternativas.

La Instrucción también exige que las compuertas de los aliviaderos puedan ser maniobradas con energía procedente de fuentes distintas, añadiendo el accionamiento manual. Esta última opción solo es válida en un número reducido de casos de poca importancia. Por el contrario, el estudio de la aplicación de una alternativa mecánica al accionamiento manual podría constituir una tercera opción, complementaria del grupo electrógeno auxiliar exigido en el artículo 2.3 del Reglamento.

Al contemplar los distintos escenarios de averías en los órganos de desagüe, tanto en la fase de proyecto como en las presas en explotación, parece razonable tener en cuenta la probabilidad de su coincidencia con valores correspondientes a elevados periodos de retorno. En la Guía nº 5, y a título de orientación, se considera adecuado el criterio de contemplar el bloqueo de una compuerta simultáneo con la avenida de proyecto, o de dos o más compuertas con una avenida normal, contemplando en ambos casos el vertido sobre las compuertas averiadas, dándoles el tratamiento de situaciones extremas y comprobando que el nivel del embalse no rebase el NAE.

Para paliar estos riesgos son útiles los aliviaderos de emergencia, con umbrales superiores al NMN o al NAP, y también los aliviaderos fusibles cuyas dimensiones conviene acotar para conseguir una rotura escalonada.

En cuanto a los desagües profundos los artículos del Reglamento son de una gran generalidad a la hora de determinar su dimensionamiento, en contraste con la Instrucción que exige como capacidad mínima, con el nivel normal del embalse, el caudal medio del río y cuando la suma de sus capacidades con las tomas para otros usos no alcanzase un valor triple de dicho caudal medio deberán proyectarse desagües adicionales intermedios hasta alcanzar dichos valores. Ambas normas coinciden plenamente en la necesidad mínima de dos conductos, provistos cada uno de dos elementos de cierre colocados en serie. En la Guía nº 6 se dan criterios generales para fijar la capacidad de los desagües profundos.

Para el dimensionamiento de los desagües de fondo deberán tenerse en cuenta sus cuatro funciones principales :

- Control y vaciado del embalse
- Derivación de caudales durante parte del proceso de construcción, cierre del desvío del río y comienzo del llenado del embalse
- Limpieza de materiales sólidos
- Como complemento del aliviadero

La primera de las funciones es, sin duda, la más importante y la eficacia de los desagües guarda íntima relación con el régimen de aportaciones del río, por lo que será necesario un estudio particular del periodo de estiaje al objeto de posibilitar el vaciado del embalse.

Las presas de gran altura dificultan la adopción de desagües de fondo ampliamente dimensionados, debido a la gran presión sobre los órganos de cierre. En tales casos puede ser aconsejable la colaboración de desagües intermedios.

Antes de que la presa sea transferida al explotador, el proyectista deberá establecer un programa de pruebas para verificar el buen funcionamiento hidráulico y su comportamiento operativo en condiciones reales.

Todas las exigencias relativas a los órganos de desagüe que sean de obligado cumplimiento estarán reflejadas en las Normas de Explotación provisionales que el proyectista habrá de preparar como paso previo a las fases de puesta en carga y explotación.

Recordar por último que en los casos especiales, poco habituales en España, con importante formación de hielo, se deberán hacer las previsiones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de los aliviaderos.

7.3 Solicitaciones

La sección tercera de los criterios básicos de seguridad que figura en el Reglamento dice textualmente lo siguiente :

Artículo 16.- Comprobación estructural

16.1. En el proyecto y en cada una de las revisiones posteriores, deberá comprobarse el comportamiento estructural de la presa ante diversas solicitudes y combinaciones posibles de ellas, y se razonarán los niveles de seguridad que se adoptan en cada caso según la clase de solicitud considerada, la probabilidad de ocurrencia de la misma y su previsible permanencia. Todo ello de acuerdo con la categoría referente al riesgo de la presa, su tipo y dimensiones.

16.2. Se considerarán tres tipos de solicitudes o combinaciones de ellas, atendiendo a su grado de riesgo y permanencia.

- a) Normales.- Las correspondientes al peso propio, al empuje hidrostático y a las presiones intersticiales con el embalse a distintos niveles hasta el límite del Nivel Máximo Normal (NMN), y al empuje de los sedimentos, más los efectos debidos a la temperatura y otros que se consideren concurrentes con apreciable persistencia.*
- b) Accidentales.- Las correspondientes a situaciones de este tipo, controlables o no, pero de duración limitada, como:*
 - Empuje hidrostático debido a un ascenso del embalse hasta el límite del Nivel de la Avenida de Proyecto (NAP).*

- *Aumento anormal de las presiones intersticiales.*
- *Acciones sísmicas, con la intensidad previsible en la zona.*
- *Empuje del hielo, variaciones anormales de temperatura y otras acciones siempre que sean de duración limitada.*

c) Extremas.- Las producidas por:

- *Empuje hidrostático debido al Nivel de Avenida Extrema (NAE) o a una sobreelevación extraordinaria por avería de las compuertas.*
- *Situaciones de disminuciones anómalas y generalizadas de resistencias.*

16.3. Se podrán adoptar distintos coeficientes de seguridad según el tipo de solicitaciones que se considere. En el caso que una solicitación se prolongue más de lo que se ha tenido en cuenta para su clasificación, según el punto 16.2 anterior, pasará a considerarse como de otro tipo y se aplicarán los coeficientes de seguridad adecuados.

16.4. Se considerarán distintos escenarios de solicitaciones concurrentes y razonablemente compatibles. Cada combinación se calificará según su permanencia previsible y el grado de probabilidad de concurrencia, y se adoptarán los correspondientes coeficientes de seguridad.

Artículo 17.- Solicitaciones hidráulicas

17.1. El empuje hidrostático sobre la presa se tomará hasta el punto más bajo de la cimentación en cada bloque en las presas de hormigón, o del elemento impermeable en las de materiales sueltos.

17.2. En el proyecto se justificará la estimación de las presiones intersticiales y se adoptarán las correspondientes medidas preventivas o correctoras: drenaje, pantalla u otras. Si las observaciones realizadas en la fase de explotación dieran valores superiores a los supuestos, deberán reforzarse oportunamente estas medidas y, en caso necesario, se procederá a bajar el nivel de embalse para restablecer una situación aceptable.

17.3. En las presas de materiales sueltos y en las cimentaciones erosionables se cuidará particularmente el control de las filtraciones por medio de drenajes y filtros estables para evitar erosiones internas, sifonamientos y colmataciones.

Artículo 18.- Seísmos

18.1. Se comprobará el comportamiento de la presa frente a los efectos producidos por las acciones sísmicas tanto sobre la presa misma como sobre el embalse, de conformidad con la normativa sismorresistente en vigor.

Se justificará el procedimiento utilizado para considerar el efecto hidrodinámico del agua del embalse sobre la presa y sus estructuras anejas. Para las presas de categoría A se hará una comprobación para otro seísmo extremo razonablemente superior.

18.2. En las zonas de sismicidad elevada, y para las presas clasificadas en la categoría A, se realizarán los estudios sismotéctónicos necesarios para determinar la sismicidad de la zona y los seísmos de proyecto, con sus parámetros de cálculo correspondientes.

18.3. Se considerarán los efectos producidos por la posible sismicidad inducida por el embalse.

La Guía nº 2 -“Criterios para proyectos de presas y sus obras anejas”- relaciona las solicitaciones que pueden afectar a una presa del siguiente modo:

- Peso propio
- Empujes hidráulicos
- Presión intersticial
- Efecto del oleaje
- Empuje de los aterramientos
- Acción del hielo
- Efectos sísmicos
- Variaciones de temperatura
- Otras solicitaciones

En el Reglamento se clasifican las solicitaciones, en función del riesgo y permanencia, en normales, accidentales y extremas y se propone el estudio de las combinaciones razonablemente compatibles y concurrentes admitiendo en cada caso coeficientes de seguridad adecuados a su duración y al riesgo.

En la Guía Técnica nº 2 se señala la necesidad de adoptar valores realistas del peso propio, y en caso de duda valores conservadores. Obviamente, para el recálculo de una presa antigua deberá determinarse este valor mediante ensayos.

Es importante contemplar las distintas situaciones derivadas del proceso constructivo por si dieran lugar a tensiones especialmente desfavorables debidas al peso propio, especialmente en las presas bóveda.

Para la determinación del empuje hidrostático se distinguirán los tres niveles : NMN, NAP y NAE con empujes de $H \text{ t/m}^2$ normales al paramento mojado, salvo casos especiales como presas para contener fangos o de residuos mineros en los que deben realizarse los ensayos necesarios para conocer el peso específico del fluido embalsado.

En caso de seísmo existirá también una interacción dinámica presa-embalse que deberá tenerse en cuenta en el proceso de cálculo y comprobación de la presa. Para los casos simples, en los que no procede una comprobación dinámica del conjunto presa-embalse-cimiento, podrá emplearse el procedimiento simplificado de Westergaard. (Guía nº 2).

En relación con las subpresiones el estudio del contacto con la cimentación en las presas de hormigón o del elemento impermeable en las presas de tierra deberá completarse con el de cualquier otra superficie de deslizamiento potencial, identificando las que sean críticas y adoptando las medidas de impermeabilización y drenaje que sean precisas. A tal objeto es de gran interés la existencia de galerías que permitan el control de las subpresiones, faciliten el

desagüe de los drenes y permitan la realización de tratamientos complementarios para reducir las subpresiones a valores inferiores a los de proyecto.

También conviene recordar la importancia de las filtraciones, especialmente en las presas de materiales sueltos y en los casos que pueden producir arrastres. Un equilibrio adecuado del binomio filtraciones-subpresiones es el objetivo a lograr.

En la misma Guía nº 2 a la acción dinámica debida al impacto de las olas se añade la sobreelevación del nivel del agua junto al paramento de la presa, con el consiguiente incremento del empuje hidrostático. No obstante, concluye que generalmente tiene escasa influencia sobre la estructura e indica las fórmulas que normalmente se utilizan para la determinación de las alturas de olas producidas por el viento y de origen sísmico.

El empuje de los sedimentos previsible en un periodo del orden de 100 años deberá calcularse según las teorías de la mecánica del suelo.

El criterio simplificativo preconizado consiste en calcular el empuje activo según una ley triangular definida por

$$P_s = \gamma \cdot h_s K_a \quad \text{siendo } K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

y dada la rigidez de la presa se propone un valor K intermedio entre el anterior K_a y el límite superior $K_0 = 1 - \operatorname{sen} \varphi$ (coeficiente de empuje en reposo).

La acción del hielo debe considerarse únicamente cuando el clima de la zona permita prever su formación con un espesor apreciable, según la Guía nº 2 superior a 20 cm, en cuyo caso se consideraría que sobre la proyección vertical del área de contacto con la presa actúa una presión complementaria de 1 kg/cm², valor que podrá ser reducido en el caso de paramentos o laderas inclinados.

La referencia del Reglamento a la normativa sismorresistente en vigor conduce al obligado cumplimiento de la Norma de Construcción Sismorresistente Española, NCSE-94, que incluye un mapa de peligrosidad sísmica, delimitando tres zonas en función de la denominada aceleración sísmica básica (a_b) y añadiendo como segundo parámetro el factor de contribución, que trata de considerar el efecto que tiene, en cada población, la sismicidad asociada a la falla Azores-Gibraltar. En la Guía Técnica nº 3 -“Estudios geológico-geotécnicos y de prospección de materiales”- se argumentan diversas consideraciones que concluyen la recomendación de una aceleración de cálculo $a_c \geq 1,3 a_b$.

La aceleración sísmica básica sería, en términos generales, el valor de la aceleración horizontal de un terreno llano correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

Existe una correlación entre esta aceleración básica y la intensidad (MSK) del terremoto asociado que, según se cita en la Norma, es la siguiente:

$$\log_{10} a_b = 0,30103 I - 0,2321 \quad (a \text{ en cm/s}^2)$$

lo que permite establecer la siguiente tabla :

Intensidad I	Aceleración sísmica básica, a_b
VI	0,04 g
VII	0,08 g
VIII	0,15 g
IX	0,31 g

En la ya citada Guía número 3 se propone que todas aquellas zonas que la NCSE-94 identifica con $a_b < 0,04$ g sean consideradas como zonas de baja sismicidad, para las cuales no es necesario hacer ninguna comprobación expresa del efecto sísmico, salvo caso de especial sensibilidad (rellenos hidráulicos, por ejemplo).

Del mismo modo se propone que, a efectos de aplicación del Reglamento, se considere que son zonas de "elevada sismicidad" aquellas que se identifican en la NCSE-94 con una aceleración sísmica básica $a_b \geq 0,13$ g, reservando los valores intermedios para definir las zonas de sismicidad media : $0,04 \text{ g} < a_b < 0,13 \text{ g}$.

Dado que la norma NCSE-94 considera a todas las presas como construcciones de especial importancia, con independencia de su clasificación en función del riesgo potencial, parece obligada la consideración de una aceleración de cálculo $a_c = 1,3 a_b$ y la utilización como componente vertical de un 70 % del valor anterior.

El Reglamento exige la comprobación de las presas de categoría A para un seísmo extremo razonablemente superior. Como la aceleración sísmica de cálculo para todas las presas se corresponde con un periodo de retorno del orden de $T = 1.000$ años, este valor sería generalizado a las presas de categoría A excepto cuando estén situadas en zonas de sismicidad elevada. Para el terremoto extremo (razonablemente superior), se recomienda en la Guía nº 3 que se adopte una aceleración a_c (extrema) = $2a_b$, y un 70 % de su valor para la componente vertical.

Para las presas de categoría A situadas en zonas de sismicidad elevada el Reglamento determina la realización de los estudios sismotectónicos necesarios para determinar la sismicidad de la zona y los seísmos de proyecto, con sus parámetros de cálculo correspondientes. Este mayor detalle requiere la colaboración de expertos e implica el análisis histórico e instrumental de la sismicidad local, el estudio geológico de la cerrada, vaso y de las fallas existentes, características de los terremotos, efectos de amplificación local, espectros de respuesta y acelerogramas de cálculo, etc. además de los estudios geológico-geotécnicos adicionales.

Observaciones relativamente recientes han evidenciado la aparición de sismicidad inducida por embalses en regiones consideradas de muy baja actividad sísmica o totalmente libres de ella. Aunque no se sabe mucho sobre las causas directas del fenómeno parece que la probabilidad de su aparición aumenta con la profundidad y volumen del embalse y con el grado

de fracturación geológica local y regional, por lo que cabe suponer un proceso de acomodación del terreno originado por la sobrecarga del embalse.

Aunque no es de esperar que la sismicidad inducida suponga un peligro mayor que la natural el fenómeno debe ser tenido en cuenta en todos los embalses de gran tamaño y especialmente en las zonas particularmente activas donde existan fallas en movimiento. El estudio sismotectónico exigido por el Reglamento para estos casos debe identificar las fallas activas y definir la red de observación conveniente. En los casos en que no haya sido posible la identificación de las fallas la red de observación podrá consistir en una serie de estaciones sísmicas distribuidas de forma más o menos homogénea en el entorno de la obra.

En la estructura de la propia presa deben disponerse, en su caso, equipos de auscultación sísmica que pueden ser acelerómetros triaxiales situados en la base de la presa y en los puntos de mayor interés (estribos, coronación, etc.).

El sistema de auscultación sísmica se instalará lo antes posible con el fin de obtener un máximo de datos comparativos antes de iniciar la construcción. Debido a que su interpretación correcta requiere una preparación especial es aconsejable que sea diseñado e interpretado con la ayuda de un sismólogo cualificado o por un instituto sismológico.

Todo lo comentado acerca de las aceleraciones de cálculo y periodos de retorno, tomado de la Guía nº 3, se resume en los cuadros siguientes:

Resumen de los periodos de retorno de los sismos de cálculo

Clasificación de la presa	Sismicidad		
	Baja	Media	Elevada
C	NA	TP = 1.000 años	
B		TP = 1.000 años	
A		TP = 1.000 años TE = 3.000 a 5.000 años	TP = 1.000 años TE = 10.000 años

Resumen de las aceleraciones de cálculo (componente horizontal)

Clasificación de la presa	Sismicidad		
	Baja	Media	Elevada
C	NA	TP, $a_c = 1,3 a_b$	
B			
A		TP, $a_c = 1,3 a_b$ TE, $a_c = 2 a_b$	EE

NA= No es necesaria la consideración explícita de la acción sísmica

TP= Terremoto de proyecto

TE= Terremoto extremo

a_b = Aceleración sísmica básica, NCSE-94

a_c = Aceleración de cálculo

EE= Estudio sismotectónico especial.

Procede advertir que, recientemente, ha entrado en vigor la nueva norma NCSE-2002, que considera como construcciones de importancia especial a las presas de categorías A y B, solamente, por lo que procede el ajuste de los comentarios anteriores a su contenido.

El Reglamento incluye los efectos debidos a la temperatura entre las sollicitaciones normales.

Con independencia de la elevación térmica debida al calor de fraguado, que conviene siempre reducir, una vez finalizada la construcción la presa se verá sometida a los cambios de temperatura impuestos por el ambiente y el agua del embalse. Se comprueba experimentalmente que los valores máximos y mínimos de las temperaturas medias del hormigón se producen con un retraso de uno o dos meses, e incluso superior, respecto del ambiente, sin ser significativas las oscilaciones de corta duración.

El desarrollo de los métodos de cálculo hace innecesario acudir a criterios simplificados, como el de Stucki, que introducen la variación térmica como una función de las temperaturas medias mensuales de los paramentos. De hecho se cuenta actualmente con un gran número de datos reales tomados de presas en explotación equipadas con medidores de temperatura que informan de la evolución térmica de todas sus partes.

Tiene especial interés la temperatura de las presas que trabajan en arco a la hora de proceder a la inyección de las juntas radiales, que define el origen térmico para su consideración como estructura monolítica.

Dentro de la denominación de "otras sollicitaciones" la Guía nº 2 incluye la retracción higroscópica, especialmente importante durante la fase de construcción, los esfuerzos dinámicos y vibraciones de los órganos de desagüe, el empuje pasivo del terreno, cuya

consideración como fuerza estabilizadora desaconseja, y las solicitudes de carácter accidental tales como la expansión autógena de algunos hormigones, el lavado por aguas agresivas, el contacto con yesos, las ondas generadas en el embalse por deslizamientos de ladera, fallos locales del cimiento o, incluso, la posibilidad de sabotaje.

7.4. El terreno y los materiales

Es comúnmente admitido que para el análisis de la estabilidad la estructura y su cimiento deben ser considerados como una unidad. En consecuencia, la amplitud que se dé a los trabajos de reconocimiento de la cimentación debe ser apropiada al tamaño e importancia de la estructura y a la complejidad de las características geológicas y tectónicas locales. Del mismo modo, el programa de investigación, análisis y diseño geotécnico debe ser lo suficientemente flexible para su modificación a medida que se conozcan mayores detalles sobre la naturaleza y propiedades del terreno.

Al interpretar los resultados de los ensayos de laboratorio y de campo hay que elevar la información obtenida de las muestras a valores numéricos representativos de la estructura geológica en su conjunto. Las pruebas de inyección y las excavaciones in situ, así como la realización de sondeos eléctricos y sísmicos, pueden proporcionar información a gran escala para determinar los parámetros de proyecto.

A medida que avanza la construcción se obtiene información complementaria que puede ser utilizada para ratificar las hipótesis de partida o para la introducción de las modificaciones que fueren necesarias.

Aunque es difícil de precisar a priori, se debe investigar la participación de los cimientos en la deformación de la estructura, tanto por la acción del peso propio como de las sobrecargas accidentales. Para ello es aconsejable realizar el control de los asientos en la parte baja de la presa desde el inicio de la construcción, especialmente en estructuras de altura importante.

En el caso de que sean previsibles deslizamientos que puedan poner en peligro la presa o la seguridad pública, el proyecto determinará las medidas adecuadas para la protección de los taludes y laderas inestables. Las medidas de protección tales como desmontes, anclajes, drenes, etc, deben ser complementadas con un adecuado sistema de auscultación.

Un caso habitual es la erosión de las riberas del embalse por el oleaje, lo que obliga en algunos casos a establecer protecciones específicas.

En relación con los materiales el proyecto debe incluir las instrucciones para la protección contra el deterioro de todos los componentes estructurales de la presa y prever las consecuencias de su envejecimiento.

El diseño de componentes de acero estructural debe incluir los sobreespesores adecuados para compensar la corrosión. Como ejemplo ilustrativo de lo anterior la experiencia muestra que la mayor parte de las tuberías forzadas, con espesores crecientes en función de la carga, inician su rotura en los tramos superiores, con menor presión, dada la mayor influencia porcentual de la corrosión en las paredes más delgadas.

Otra norma general que conviene tener en cuenta siempre que la seguridad dependa de componentes estructurales particulares o elementos específicos, tales como estanqueidades hidráulicas o drenes, es el establecimiento de una segunda línea de defensa.

La sección cuarta de los criterios básicos de seguridad del Reglamento dice textualmente:

Artículo 19.- El embalse y la cerrada.

19.1. Deberán analizarse las características morfológicas y geológicas del vaso y del emplazamiento de la presa que pudieran afectar a la seguridad. El alcance de las investigaciones y estudios a realizar será tal que permita conocer las características del terreno de apoyo de la presa y del vaso del embalse a fin de evaluar la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química del terreno.

19.2. Se comprobará la estabilidad del conjunto presa-terreno teniendo en cuenta las discontinuidades de este último.

19.3. Se investigará si en las márgenes del embalse existen terrenos con riesgo de inestabilidad que pudieran provocar deslizamientos en las laderas al variar rápidamente el nivel del agua, con posibilidad de graves daños en los terrenos, vías de comunicación, viviendas o servicios situados fuera del embalse, así como la obstrucción de éste por la masa deslizada, o generación de ondas en el embalse.

Artículo 20.- Materiales.

20.1. Para la construcción de presas deberán emplearse materiales cuyas propiedades intrínsecas, su puesta en obra y la evolución de sus características sean susceptibles de control.

20.2. El proyecto deberá definir los materiales, fijar las características que deben cumplir y concretar los procedimientos para su comprobación y control. Los materiales y obras se ensayarán y ejecutarán conforme a las prescripciones del proyecto.

20.3. Durante la explotación de la presa se comprobará la evolución de las características de los materiales en cuanto pudieran afectar a su seguridad.

Un matiz que se introduce en el Reglamento es la exigencia específica del artº 19 de investigar los posibles deslizamientos de ladera, normalmente incluidos en el análisis de los modos de fallo que propugna la Directriz Básica.

La consideración de las características geológicas y morfológicas del cimiento implica el análisis previo de las discontinuidades que presenta y su influencia en la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química, según señala el artículo 19.1 del Reglamento. La dificultad existente para conocer de forma precisa dichas discontinuidades lleva consigo la de modelizar con exactitud el comportamiento del terreno, por lo que el modelo más sofisticado es una mera aproximación al comportamiento real.

Una vez caracterizadas las discontinuidades del macizo, en cada una de las formaciones presentes, debe realizarse una valoración cualitativa de su comportamiento ante las acciones de presa y embalse, estableciendo mecanismos de rotura potenciales para su detallado análisis posterior. Las Guías Técnicas 2 y 3 estudian estos aspectos con gran detalle.

En lo relativo a la calidad de los materiales es de gran importancia la evolución de sus características con el tiempo y, en particular, el estudio de la reactividad potencial de los áridos. Es aconsejable el estudio previo de la disponibilidad de yacimientos o canteras en la comarca: cuantitativo y cualitativo. Tanto los resultados de los ensayos como la situación y extensión de los posibles yacimientos han de ponerse a disposición de los constructores para la planificación de la obra.

7.5. Medidas complementarias de seguridad

Constituyen la sección quinta, y última, de los criterios básicos de seguridad del Reglamento, con el siguiente contenido:

Artículo 21.- Auscultación.

21.1. La observación y controles de las diferentes magnitudes se realizarán en función de los diferentes niveles de riesgo y deberán proporcionar la información suficiente para valorar la situación de la presa.

La observación y controles se extenderán a las características de la presa y su cimiento, a las del embalse, a las relativas al agua almacenada, así como a las generales del río y de la cuenca.

21.2. Durante las fases de construcción, puesta en carga y explotación se decidirán progresivamente los controles que constituyen el indicador más preciso y fiable sobre cada situación que se analiza.

Artículo 22.- Accesos y sistemas de comunicación.

La presa y sus instalaciones estarán dotadas de los necesarios accesos y sistemas de comunicación, tanto entre ellas como con los centros de control y seguridad que disponga el titular. Se procurará que la presa disponga de accesos alternativos para permitir su comunicación en casos extremos.

Los aparatos y sistemas de comunicación deben ser múltiples y variados para asegurar su funcionamiento incluso en circunstancias catastróficas. Deberán mantenerse de manera permanente en buenas condiciones de funcionamiento.

Artículo 23.- Energía e iluminación.

23.1. Para garantizar el funcionamiento de los órganos de desagüe, del resto de los servicios de la presa y embalse y la iluminación general se dispondrá como mínimo de dos fuentes de energía independientes.

En el caso de presas de categoría A y B una de las fuentes será obligatoriamente un grupo electrógeno, en disposición de servicio de forma permanente, a cuyo fin ha de estar mantenido y sometido a control frecuente.

23.2. La presa ha de estar debidamente iluminada en su conjunto y, particularmente, sus órganos e instalaciones fundamentales. La coronación y las galerías de inspección deben disponer de una instalación eléctrica protegida frente a humedad y otras acciones.

En lo que se refiere a la auscultación se añade a la propiamente dicha el control de los caudales afluentes y desagüados, así como de la cota de embalse, debiendo entenderse como un complemento de gran importancia la previsión de las avenidas con la mayor antelación posible, con el apoyo de la información meteorológica y de la procedente de las estaciones de aforo dispuestas a tal fin.

Cada presa debe contar con un sistema de aforo de los caudales entrantes y salientes que, con la variación del embalse, complete el balance hidráulico de la instalación. Frecuentemente se contrastan los valores así obtenidos con los proporcionados por las instalaciones de aforo superiores al embalse, ajustando las curvas cotas-caudales estimadas por extrapolación a partir de valores más bajos.

En proyectos localizados en regiones con climas muy fríos los equipos de medición hidrológica deben incluir protecciones anti-hielo y estar diseñados para funcionar en tales condiciones.

Es aconsejable que en el diseño del sistema de auscultación, se tengan en cuenta todas las fases de la presa y participe el equipo responsable de la explotación como usuario futuro del mismo.

Estos trabajos deberán ser realizados por un equipo altamente especializado.

La continuidad del proceso de auscultación desde su inicio es también de gran importancia para la interpretación de los fenómenos evolutivos, debiendo mantenerse la documentación completa de cada dispositivo: constantes de los aparatos, ubicación exacta, pruebas, reparaciones y cualquier otro dato que permita el seguimiento continuo de su comportamiento.

La auscultación hidráulica se basa en la medida de las presiones intersticiales y en el aforo de las filtraciones. Para todo ello las galerías y cámaras de mecanismos habrán de ser fácilmente accesibles y estarán bien iluminadas y ventiladas. El proyectista debe hacer una previsión teórica de la permeabilidad de las cimentaciones y/o terraplenes, incluir los dispositivos de aforo de cada zona y asegurar el transporte de las filtraciones al exterior de la presa.

En cualquier caso, los programas y sistemas de auscultación pueden ser perfeccionados durante la explotación de las presas, adecuándolos al comportamiento de las mismas. La automatización de lecturas permite el tratamiento rápido de un gran número de datos, pero no se puede perder de vista que en todos los casos se trata de una muestra que no contempla la totalidad de las incidencias posibles por lo que son absolutamente necesarias, siempre, las inspecciones visuales por parte de personal habituado y conocedor de las instalaciones.

En cuanto a los accesos exteriores el Reglamento indica la conveniencia de que se dispongan opciones alternativas. Esta preocupación se hace extensiva a las telecomunicaciones tanto con los centros de control como con los poblados situados aguas abajo y con la red nacional. Esta

necesidad se pondrá de manifiesto con especial énfasis a la hora de implantar los Planes de Emergencia.

La exigencia de un grupo electrógeno en las presas de categorías A y B, en disposición de servicio permanente, que figura en el Reglamento, constituye una novedad respecto a la norma anterior, aunque su implantación ya venía siendo habitual durante los últimos años.

El diseño de los equipos esenciales para la seguridad de la presa, tales como compuertas de aliviaderos, bombas de agotamiento y sus válvulas, drenes, instalaciones de protección contra el hielo, sistemas contraincendios, alarmas y dispositivos de control tendrá en cuenta las medidas precautorias necesarias para asegurar su funcionamiento en posibles condiciones de emergencia. Ejemplos de medidas precautorias pueden ser : la duplicidad de dispositivos e instalaciones; controles locales y remotos; disparo automático de dispositivos de seguridad; previsión para operación manual, etc.

La documentación de la presa deberá incluir un plan de mantenimiento preventivo para recambio regular de piezas susceptibles de desgaste antes de que provoquen un mal funcionamiento del equipo. El manual de operación y mantenimiento, basado en la documentación específica preparada por los fabricantes de los equipos deberá constar en las Normas de Explotación de la presa.

La ventilación de las galerías y pozos debe ser especialmente cuidada en presas de materiales sueltos y en espacios susceptibles de acumulación de gases, tanto por su toxicidad como por su eventual condición explosiva (metano).

Otra medida de seguridad de posible adopción es el cierre automático de las conducciones de agua cuya rotura pueda producir pérdidas de vidas humanas o daños importantes.

8.

RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE PROYECTO

8.1 Exigencias legales

El Capítulo IV del Reglamento relaciona las condiciones técnicas a cumplir en cada una de las fases que define del siguiente modo:

Artículo 24.- Fases.

En el desarrollo y utilización de las presas y los embalses, se diferencian las siguientes fases:

- *Proyecto*
- *Construcción*
- *Puesta en carga*
- *Explotación*
- *Puesta fuera de servicio*

con la novedad de incluir entre ellas la situación transitoria de la puesta en carga, que normalmente se realizaba bajo la supervisión de los responsables de construcción y/o de explotación, en contacto técnico con los autores del proyecto.

En el mismo capítulo se establecen los equipos encargados de la coordinación y control:

Artículo 25.- Coordinación y control.

25.1 Para cada una de las distintas fases a que se refiere el artículo anterior, el titular dispondrá la existencia de un equipo técnico para desarrollar las actuaciones relacionadas con la seguridad.

Al frente de dicho equipo, y en calidad de Director, figurará un Técnico competente en las materias relacionadas con la seguridad de las presas.

La aprobación de la composición del equipo técnico y de la designación de su Director corresponde a la Administración.

25.2 En ningún caso podrá producirse un vacío en la Dirección del equipo técnico. El titular garantizará la continuidad en la dirección del equipo y el adecuado traspaso de funciones tanto entre fases distintas como dentro de cada fase. En todos los casos este traspaso se formalizará documentalmente.

25.3 Cada equipo técnico, en la fase que le compete, formará progresivamente el Archivo Técnico de la Presa, de modo que sea factible, en cualquier momento, el análisis y contraste de las diferentes situaciones de la presa y el embalse, así como la interpretación de su comportamiento.

25.4 Para el ejercicio de las funciones de Vigilancia e Inspección, el órgano competente podrá recabar del titular de la presa los informes que considere necesarios sobre el proyecto, los procesos de construcción y puesta en carga, las incidencias durante la explotación y la eventual puesta fuera de servicio.

Sobre la necesidad de estos equipos técnicos se insiste en el articulado correspondiente a cada fase. En particular, las exigencias del proyecto se establecen en el artículo 26, que se reproduce a continuación:

Artículo 26. Proyecto.

26.1 Toda presa deberá disponer de su correspondiente proyecto, entendiendo por tal el conjunto de documentos y estudios que permitan la definición y dimensionamiento de la obra, así como su ejecución y control.

Todas las obras y trabajos precisos para la construcción de la presa quedarán definidas en el proyecto. Se debe considerar la presa como una unidad, sin perjuicio de que algunas obras puedan desglosarse para su realización independiente.

26.2 El titular de la presa designará a un equipo dirigido por un Técnico competente, denominado Director del proyecto, que estará encargado de la redacción del mismo y de que cumpla los criterios y condiciones de seguridad exigidos.

26.3 La Administración podrá recabar del titular la redacción de estudios previos o anteproyectos siempre que lo juzgue conveniente. El estudio previo deberá analizar los factores que determinan la viabilidad física y económica de las obras. El anteproyecto deberá incluir un estudio comparativo de soluciones y el análisis de la influencia de las obras sobre el entorno y la población. En ambos casos se estudiarán los factores que incidan sobre las condiciones de seguridad.

En la Memoria se debe incluir, además de la descripción general de las obras, tanto principales como accesorias, y equipamientos, y de las necesidades a satisfacer, la

justificación de la solución técnica adoptada en consideración a los factores de la seguridad, funcionalidad y afección medioambiental.

26.4 Además deberá incluir, como mínimo, los estudios que se citan a continuación, adecuándolos en su contenido y extensión a las características propias de cada caso:

a) *Estudios generales :*

- *Objetivos del embalse y su función en el aprovechamiento conjunto de los recursos hidráulicos de la cuenca.*
- *Viabilidad técnica de la solución adoptada y comparación con otras posibles.*
- *Geografía, geología y medio natural general de la cuenca y específicos del emplazamiento.*
- *Climatología e hidrología.*
- *Infraestructuras y redes de comunicación.*
- *Zonas de riesgo de inundación.*
- *Datos básicos para la formulación de planes de seguridad y emergencia.*

b) *Estudios específicos de la presa y embalse :*

- *Topografía del vaso del embalse, de la cerrada y de las zonas afectadas y próximas.*
- *Curvas de volúmenes y superficies de embalse.*
- *Análisis de las aportaciones hidráulicas y su regulación.*
- *Estudio de avenidas.*
- *Capacidad y análisis hidráulico de los órganos de desagüe para distintos niveles de embalse.*
- *Geología, hidrogeología, geotecnia y sismicidad de la cerrada y vaso del embalse.*
- *Procedencia y características de los materiales de construcción a emplear.*
- *Estabilidad, resistencia y deformabilidad de las estructuras, cimentaciones y vasos.*
- *Propuesta de métodos y procesos constructivos. Plan de obras y etapas de construcción.*
- *Accesos a las obras e instalaciones.*

- *Sistemas de comunicación y suministro de energía y su garantía en situaciones de emergencia.*
- *Sistema de desvío del río durante la construcción.*
- *Plan básico de auscultación para las diferentes fases de existencia de la presa.*
- *Tratamientos y correcciones del terreno a desarrollar en las fases de construcción, puesta en carga y explotación.*
- *Normas provisionales referidas a la explotación de la presa y al embalse, incluyendo los criterios de seguridad.*

c) *Estudios referidos a la influencia sobre el entorno:*

- *Afecciones a la población, incluyendo las medidas para el traslado y reacondicionamiento de la misma, en el caso que proceda.*
- *Expropiación y reposición de servidumbres y servicios.*
- *Calidad del agua: eutrofización y estratificación.*
- *Erosión en la cuenca, caudales sólidos y sedimentación en el embalse.*
- *Efectos socioeconómicos y acciones de corrección y protección.*
- *Efectos sobre el patrimonio artístico y su tratamiento.*
- *Programa de vigilancia ambiental.*

26.5 *El proyecto incluirá las prescripciones técnicas necesarias para asegurar la calidad de los materiales y la ejecución y control de las obras.*

26.6 *Al proyecto deberá incorporarse el análisis del riesgo de inundación debido a la posible rotura o funcionamiento anómalo de la presa, así como la delimitación de la eventual zona afectada por la inundación, en los términos previstos por la "Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones".*

8.2. Contenido y alcance del proyecto

La disposición y conocimiento del proyecto es un requisito fundamental para la explotación segura de una presa.

Se define el Proyecto de Construcción como la recopilación de planos y condiciones suficientes para la definición y ejecución de las obras, bajo dirección técnica cualificada, de acuerdo con el Reglamento y con el estado actual de la técnica, de modo que quede garantizada la seguridad de la presa y de su entorno, en todas las fases de construcción, puesta en carga y

explotación. Previamente, indicará su objeto y justificará su viabilidad económica e interés social.

El procedimiento y requisitos del proyecto deben ser objeto de legislación estatal o regional, correspondiendo al organismo o entidad pública la aprobación formal de los documentos básicos de diseño y la autorización de la construcción.

Todas las instalaciones y estructuras complementarias cuya avería o fallo pueda producir daños de importancia o poner en peligro la estabilidad de la presa deben ser diseñadas con los mismos criterios de seguridad aplicados a la obra principal.

Como regla general, el proyecto debe evitar conceptos y detalles estructurales innecesariamente complicados y prever que las condiciones de explotación y mantenimiento sean lo más simples posibles.

El proyectista suministrará al equipo de construcción detalle completo de todas las estructuras y especificará los materiales y métodos de construcción cuyo empleo sea esencial para lograr la calidad prevista en el proyecto, así como los procedimientos a seguir en el control de calidad. Especificará también los elementos mecánicos y eléctricos de la obra y controlará los documentos correspondientes preparados por los fabricantes.

Todos los cálculos, hipótesis, investigaciones, ensayos, conclusiones y decisiones del proyecto deben estar bien documentados, al igual que las modificaciones que eventualmente puedan tener lugar durante la construcción y que impliquen la modificación de planos u otros documentos de partida.

El Reglamento, en su artículo 26.3, se refiere a estudios previos o anteproyectos que normalmente se precisan para justificar y definir las obras, determinando su viabilidad física y económica. Tienen especial aplicación en la programación de planes oficiales y para la tramitación de concesiones administrativas. En lo que sigue, se entenderá por Proyecto el de Construcción definido anteriormente.

Para cualquier trabajo de modificación, recrecimiento, restauración, reparación o abandono de las estructuras existentes es de gran importancia el conocimiento del diseño original. En particular, el recrecimiento o modificación de una presa suelen implicar cambios estructurales de importancia que exigen un nuevo estudio de estabilidad. A esta misma conclusión se puede llegar también por cambio de las hipótesis básicas y/o condiciones ambientales de partida. A estos trabajos son aplicables los mismos criterios de proyecto descritos para las obras nuevas, con la exigencia obligada de estudiar y documentar el estado real de aquellas partes de obra sobre las que se actúa.

El Proyecto de Construcción constará como mínimo de los siguientes documentos:

- Memoria
- Planos
- Pliego de Condiciones
- Presupuesto

La Memoria justificará las obras proyectadas, incluyendo como anejos todos los estudios que, de acuerdo con el Reglamento, sean procedentes:

Además de los estudios generales y específicos (técnicos y de seguridad) es creciente la importancia de los referidos a la influencia sobre el entorno, siendo preceptiva la realización de una Evaluación de Impacto Ambiental, así como la consideración de los efectos socioeconómicos y de las acciones de corrección y protección asociadas.

Los planos serán suficientes para definir las obras y particularidades del terreno sobre el que se asientan. A título orientativo se recomiendan, como mínimo, los siguientes:

- a) Plano de la totalidad de la cuenca hidrográfica.
- b) Plano del embalse a escala no inferior a 1:100.000, con indicación de las vías de comunicación.
- c) Plano del embalse a escala no inferior a 1:5.000 y con curvas de nivel con equidistancia no superior a 5 m.
- d) Topográfico de la cerrada, a escala no inferior a 1:500, y con equidistancia de curvas de nivel no superior a 2 m. Deberá incluir una cuadrícula de coordenadas apoyada en los puntos permanentes de referencia.
- e) Planta general de la presa y de las obras asociadas.
- f) Plano de excavaciones.
- g) Planta, alzados y secciones suficientes para definir con entera claridad la presa y demás obras e instalaciones, con especificación de las fábricas y materiales que correspondan.
- h) Planos de los dispositivos de impermeabilización y drenaje de la presa y el terreno, si los hubiere.
- i) Planos de las obras de desviación del río.
- j) Planos de los dispositivos de control y vigilancia de la presa.
- k) Planos de los accesos.

Es evidente que esta relación no es exhaustiva y tendrá que ser completada con gran número de planos de detalle, algunos de los cuales, incluso, se irán conformando a medida que el desarrollo de las obras proporcione la información necesaria.

Para el Pliego de Condiciones, técnicas y económicas, se recomiendan, como mínimo, las materias correspondientes a los siguientes apartados:

- a) Descripción de cada una de las partes de obra.

- b) Calidad de los materiales, procedencia y ensayos.
- c) Normas para la construcción de las fábricas, precauciones necesarias y control de las calidades obtenidas.
- d) Normas generales para la ejecución y control de los dispositivos de impermeabilización y drenaje.
- e) Normas para los dispositivos de auscultación.
- f) Programación de la obra.

Los Presupuestos deberán contener los resultados de las mediciones de las distintas unidades de obra, los cuadros de precios unitarios, los presupuestos parciales y el presupuesto general.

También es necesario distinguir los presupuestos de las obras realizadas en Dominio Público Hidráulico y el de Seguridad y Salud en el Trabajo, cuyo proyecto figurará como un anejo.

8.3 Tipología y cimientos

El artículo 3.3 del Reglamento relaciona siete clases de presas en función de su tipología, aun cuando son posibles otras clasificaciones atendiendo a determinados matices. Así, entre las presas de gravedad cabría la inclusión de las de contrafuertes o, en función de los materiales que las constituyen se puede tratar de hormigón convencional, hormigón compactado con rodillo (HCR) o mampostería. Incluso por su geometría se pueden considerar las presas de gravedad de planta curva y las llamadas arco-gravedad, con perfil más esbelto que las anteriores. La referencia común de todas ellas es la decisiva participación del peso propio en su estabilidad.

Del mismo modo, un mejor aprovechamiento de la resistencia de los hormigones ha conducido al planteamiento de las presas en arco, con simple o doble curvatura y condiciones de contorno más exigentes.

Lo mismo cabe decir de las múltiples soluciones que pueden darse en las presas de materiales sueltos, sean de tierra o escollera, especialmente aptas para su cimentación en terrenos menos consistentes.

De lo anterior se desprende la íntima relación de la tipología adoptada con la geometría de la cerrada y con las características del terreno, tendiendo siempre a asegurar que el conjunto presa-cimiento sea resistente a las sollicitaciones impuestas, reduzca las filtraciones a valores aceptables y garantice la permanencia en el tiempo evitando erosiones internas, degradaciones de los materiales o cambio en las características del cimiento, cualquiera que sea su causa.

Las estadísticas de roturas de presas de fábrica muestran los fallos de la cimentación como la primera causa que las origina, por lo que procede hacer unos comentarios adicionales sobre este tema.

En las presas de fábrica las cimentaciones habrán de realizarse sobre macizos rocosos cuyo comportamiento viene determinado esencialmente por sus discontinuidades y solo de forma

marginal por las características de la roca matriz, salvo excepciones poco numerosas. La orientación y buzamiento de las litoclasas, su espaciamiento y relleno son datos fundamentales a los que hay que añadir la posible existencia de discontinuidades singulares, como puede ser una falla, que deben estudiarse de forma particular. Se deberá concluir una valoración cualitativa del conjunto y establecer los posibles modos de fallo para su análisis.

La deformabilidad relativa del hormigón y terreno y aun la de distintas formaciones presentes, si hubiera más de una, puede provocar concentraciones de tensiones en los elementos más rígidos.

Las discontinuidades transmiten bien los esfuerzos de compresión y los cortantes hasta cierto límite, pero en ningún caso los de tracción, e incluso el rozamiento puede ser alterado por el agua circulante a través de las mismas.

Se pueden resumir en dos los mecanismos de rotura a tener en cuenta:

- el agotamiento de la resistencia al corte en una o varias discontinuidades.
- el agotamiento de cimientos plásticos a través de alguna formación de deformabilidad elevada.

La alternancia de formaciones rígidas y plásticas puede producir también roturas perpendiculares a los estratos por pandeo de las primeras y agotamiento lateral de las segundas.

También puede producirse la rotura de una presa por una excesiva deformación del cimiento debida a cierres de fisuras y deformaciones remanentes que excedan los límites de elasticidad de la estructura.

La modelización matemática del medio elástico equivalente es más utilizada que la de medios discontinuos y se ajusta de forma bastante adecuada a la realidad si las cargas transmitidas al terreno no agotan la resistencia al corte.

En el caso de cargas mayores que puedan alterar el cierre de las litoclasas y producir pequeños deslizamientos en las mismas se producen alteraciones del módulo de deformabilidad del cimiento en su conjunto, tanto en función de la dirección considerada como en los sucesivos ciclos de carga y descarga.

Todos estos temas se relacionan sucintamente para que sean tenidos en cuenta por los responsables de la seguridad en todas las fases de la vida de una presa, y están comentados en la Guía nº 2 con la amplitud debida.

La modelización de la red de filtraciones es también relativamente compleja, existiendo una evidente relación entre su cuantía y el estado tenso-deformacional del cimiento.

Pequeñas variaciones en la apertura de las litoclasas implican una variación importante de la permeabilidad, que depende del cubo del espesor de las fisuras.

En algunas presas de materiales sueltos cimentadas sobre terrenos de baja calidad es necesario prever la existencia de asientos diferidos, producidos por las cargas que transmite la estructura, y el análisis particular de los valores diferenciales.

A pesar de las dificultades de aplicar un determinado modelo, que será siempre orientativo, es esencial hacer una interpretación acertada del comportamiento de las diversas zonas del cimiento, que permitirá tomar las medidas de corrección y control adecuadas a cada situación.

El diseño del cimiento en la fase de proyecto debe definir las excavaciones como una primera aproximación que puede ser perfeccionada durante la construcción, a la vista de la realidad del terreno, hasta alcanzar la calidad y forma deseadas. También es aconsejable la adopción de precauciones para que no se produzca una pérdida de calidad de la roca como consecuencia de las voladuras, contemplando siempre una última fase de limpieza y refinado hasta alcanzar la superficie de cimentación definitiva sobre terreno inalterado.

Puede ser necesario el tratamiento específico de singularidades geológicas tales como fallas con relleno milonitizado cuyo tratamiento habitual es el vaciado en una profundidad aproximadamente igual a tres veces la anchura, el posterior relleno con hormigón y la colocación de una armadura de reparto sobre las mismas.

La superficie de las excavaciones debe ser lo más perpendicular posible a los esfuerzos de compresión. Esto lleva a preconizar los cimientos de las presas de gravedad en ligera contrapendiente y los estribos de los arcos sensiblemente normales al eje de los mismos.

Aunque cierta rugosidad es siempre conveniente no son aconsejables ángulos agudos ni rastrillos en zanja susceptibles de producir concentraciones de tensiones en los vértices.

En las presas de gravedad con estribos muy inclinados puede ser obligada la creación de escalones, que deben corresponder mayoritariamente al bloque inferior evitando cuñas de hormigón de poco espesor entre el terreno y las juntas.

Las presas en arco exigen una mayor regularidad de la cerrada siendo usual la utilización de rellenos de hormigón previos, especialmente indicados si hay problemas de estabilidad en las laderas.

Los tratamientos habituales del terreno son la pantalla de inyecciones y el drenaje, a los que es frecuente añadir trabajos de consolidación, en una cierta profundidad, e incluso otro tipo de refuerzos como puede ser el bulonado o la colocación de anclajes.

La misión de las pantallas de impermeabilización es la de reducir las filtraciones y aumentar su recorrido, disminuyendo los gradientes, con escasa participación en la reducción de subpresiones que se encomienda normalmente a la pantalla de drenaje situada aguas abajo de la anterior. Su efecto es el contrario, en cuanto aumentan las filtraciones y gradientes, por lo que es necesario un cierto equilibrio de difícil definición a priori. No debe permitirse que las filtraciones produzcan la degradación del cimiento por disolución o arrastres, a la vez que las subpresiones deben limitarse a los valores previstos en el proyecto.

Para la realización de estos tratamientos en roca deben orientarse las perforaciones de forma que intersecten las familias de diaclasas más importantes, a ser posible en la dirección de las diagonales del paralelepípedo formado por ellas.

Para analizar el comportamiento de la pantalla de inyecciones se pueden intercalar en ella algunos "drenes espía" que nos informan de una posible rotura por el aumento brusco de los caudales. Esto se observa con especial claridad en las presas bóveda en condiciones de máxima deformación hacia aguas abajo, en coincidencia de embalse lleno con temperaturas bajas.

Intercalados con los drenes deben colocarse los piezómetros para medida de subpresiones, cuya disposición es aconsejable que incluya algunos perfiles transversales que permitan enjuiciar el comportamiento de toda la planta de la presa. En caso necesario, si existe un nivel apreciable en el cuenco o la cimentación es demasiado larga, puede establecerse una segunda línea de drenaje en el pie de aguas abajo de la presa.

Cuando la roca presenta fisuras subhorizontales de cierto espesor puede ser conveniente su lavado y posterior inyección de consolidación. Este trabajo se debe realizar una vez iniciado el hormigonado de la presa y con presiones relativamente altas ya que solamente son extensivas a una superficie de dimensión limitada. Se comprueba fácilmente la mejora de las características del cemento mediante sondeos sísmicos que midan la celeridad de las ondas antes y después del tratamiento.

Otra práctica habitual en fallas de cierto espesor es la excavación de galerías que interesen a ambos labios y su posterior relleno con hormigón armado que, a su vez, conviene que sea accesible para su observación y control.

8.4 Recomendaciones aplicables a las presas de fábrica

Se consideran como tales las construidas con hormigón o mampostería, pudiendo agruparse atendiendo a su tipología en presas de gravedad, contrafuertes, bóveda, bóvedas múltiples, mixtas y móviles. Por sus particularidades derivadas de la tecnología de construcción se hacen también algunos comentarios a las presas de hormigón compactado con rodillo (HCR).

8.4.1 Presas de gravedad

Fiada su estabilidad al peso propio se deben diseñar sus secciones tipo (taludes y vértice del triángulo básico) para conseguir el mejor comportamiento frente a las condiciones más limitativas (deslizamiento, tracciones aguas arriba y limitación de compresiones) combinando las distintas opciones para que resulte una solución lo más simple posible, constructiva y económica, globalmente considerada, que no es necesariamente la que cumple las condiciones de seguridad con el menor volumen de hormigón.

Aunque el encaje en la cerrada admita cualquier forma en planta, se prefieren los trazados rectos o con ligera curvatura que obligue a la interacción de los bloques independientes.

Las juntas de retracción suelen estar separadas del orden de 15 m y pueden ser lisas o con artesas que limitan los movimientos relativos en su propio plano.

Puede ser conveniente el diseño de un sistema de inyección de las mismas, aun cuando no esté decidida la realización de tal tratamiento, lo que dotaría a la presa de un cierto efecto tridimensional. También sería útil para reducir las filtraciones que pudiera haber en ellas. En tal

caso las juntas deben estar cerradas eficazmente en su contorno, incluida la cimentación, y subdivididas en recintos de tamaño adecuado para su eventual inyección.

Las juntas longitudinales son necesarias en la parte inferior de los bloques de las grandes presas cuya anchura sea excesiva, para evitar su fisuración. Han de tener la forma adecuada para transmitir los esfuerzos y deben ser inyectadas para establecer la continuidad de los bloques.

La existencia de una red de galerías bien dimensionadas es de gran importancia de cara a una explotación segura de la presa. Suele consistir en un sistema de galerías longitudinales relativamente próximas al paramento mojado y habitualmente enlazadas con la galería perimetral. Otras galerías transversales pueden ser útiles para cubrir la planta del cimiento más profundo o como salidas al exterior en las laderas. En resumen, los objetivos asignados a las galerías son:

- acceso a mecanismos interiores
- posibilitar la realización de los trabajos de impermeabilización y drenaje (del cimiento y del cuerpo de presa)
- facilitan la inyección y drenaje de las juntas
- permiten la inspección visual y la auscultación de la presa
- son el cauce natural para la evacuación de filtraciones
- garantizan la comunicación entre ambas márgenes
- facilitan la ejecución de eventuales trabajos de mantenimiento correctivo

Se recomiendan unas dimensiones mínimas que permitan la realización de los trabajos descritos, siendo habituales alturas del orden de 2 a 2,5 m y anchuras de 1,50 m.

Aunque en las presas de hormigón bien construidas la efectividad del drenaje del cuerpo de presa es reducida, conviene siempre disponer de un sistema, relativamente próximo al paramento, formado por conductos sensiblemente verticales, moldeados o perforados entre galerías, que informan de la existencia de juntas de tongada defectuosas o del hormigonado deficiente de alguna zona, lo que puede conducir a un tratamiento correctivo específico.

8.4.2. Presas de hormigón compactado con rodillo.

En las presas de gravedad de hormigón compactado con rodillo la puesta en obra implica unos condicionamientos de diseño específicos que es muy importante tener en cuenta.

El empleo de la maquinaria de compactación exige hormigones secos, superficies suficientemente grandes y ausencia, dentro de lo posible, de galerías u obstáculos que entorpezcan el desarrollo de unos trabajos planteados, mayoritariamente, de forma ininterrumpida. En consecuencia, es aconsejable la concepción de los desagües profundos y de

las tomas fuera del tajo principal de hormigonado o realizados en una fase previa e independiente.

Para no entorpecer el ritmo del hormigonado se suele recurrir a la formación de juntas provocadas, bien por hincas de chapas metálicas en cada tongada o bien por un corte con sierra radial. En ambos casos es necesario garantizar su estanqueidad futura, lo que suele lograrse mediante la disposición clásica de cubrejuntas de material plástico como los utilizados en las presas de hormigón vibrado, aun cuando es posible también el empleo de impermeabilizaciones exteriores, menos frecuentes.

La efectividad de las bandas de impermeabilización es función de un buen diseño y cuidadosa ejecución, debiendo cuidarse especialmente este punto.

Otra particularidad de las presas de hormigón compactado con rodillo es el gran número de juntas de tongada, realizadas en algunas ocasiones sin tratamiento alguno, siempre y cuando se consiga que refluya el mortero y no haya transcurrido excesivo tiempo para su recubrimiento, lo que se logra con una relación pasta/mortero igual o superior a 0,5 (Ver Guía nº 2). Si se supera el tiempo de maduración la unión debe tratarse como una junta fría.

La impermeabilidad del paramento mojado es uno de los principales problemas de este tipo de presas siendo muchas las soluciones utilizadas con mayor o menor fortuna : desde placas de hormigón prefabricado usadas como encofrado perdido a impermeabilizaciones superficiales realizadas a posteriori. El empleo de hormigones vibrados en una determinada anchura tiene el inconveniente del uso simultáneo de dos tecnologías que se interfieren mutuamente. Por ello todos los esfuerzos se centran en la puesta en obra de un material único, aun cuando la riqueza del situado aguas arriba sea mayor. Por razones prácticas esta dosificación puede ser generalizada a toda la sección, habiéndose obtenido buenos resultados con el empleo de un hormigón de riqueza en pasta del orden de 180 a 200 kg de conglomerante por m³, complementado en su caso con mortero de adición, en cada tongada, en sendas bandas paralelas a los paramentos.

Las galerías dificultan el proceso de hormigonado y se tiende a minimizar su número con la consiguiente pérdida de su valor añadido. La galería perimetral, prácticamente ineludible a efectos de drenaje, puede incorporarse en una primera fase de regularización del terreno, a realizar con hormigón vibrado o con HCR enriquecido, para facilitar la ejecución con continuidad. Para su encofrado rápido pueden utilizarse elementos prefabricados que se dejan como encofrado perdido, chapas metálicas y, más comúnmente, el encofrado convencional de los hastiales y una losa prefabricada en la clave, con la resistencia suficiente para soportar la compactación superior. Un inconveniente de los encofrados perdidos es el impedimento de la observación directa del hormigón.

El drenaje del cuerpo de la presa habrá de realizarse mediante perforación del hormigón desde la coronación o desde los distintos niveles de galerías. Su importancia es mucho mayor que en las presas de gravedad, dado el gran número de retomas que hacen más probable la existencia de filtraciones según planos horizontales.

8.4.3 Presas de contrafuertes

Este tipo de presas, cuya estabilidad se basa también en su peso propio, requieren menos volumen de hormigón que las de gravedad, en contraste con una mayor dificultad constructiva derivada de sus formas (encofrados y armaduras) que contrarresta de forma importante las ventajas económicas, por lo que su construcción ha perdido actualidad en los últimos años.

Desestimada la solución de placa y contrafuertes independientes, las soluciones habituales están formadas por bloques con uno o dos contrafuertes y un ensanchamiento superior (cabeza) que constituye el elemento de cierre al paso del agua.

La disminución del volumen de hormigón se deriva de la drástica reducción de las subpresiones y del talud del paramento de aguas arriba, que aporta la componente vertical del empuje. Sin embargo, este tipo de presas presenta inconvenientes de menor estabilidad transversal, peligro de fisuración, mayor superficie expuesta a los agentes externos y mayores gradientes hidráulicos en el cimiento, lo que aumenta el peligro de filtraciones y arrastres.

Por su menor estabilidad transversal son más adecuadas para cerrar valles con pendientes suaves, aun cuando se pueda mejorar este aspecto uniendo las colas de los contrafuertes aguas abajo, de forma parcial o total.

Para estudiar la estabilidad al deslizamiento de cada bloque hay que asegurar la reducción de las subpresiones en el cimiento, verificando la ausencia de planos horizontales con baja permeabilidad en la dirección vertical.

El grado de aligeramiento viene limitado por la necesidad de evitar el pandeo de los contrafuertes y por la conveniencia de una adecuada transmisión de las cargas de la cabeza al alma, evitando esfuerzos de flexión en las secciones horizontales.

Las cabezas de los contrafuertes deben de unirse a ellos en forma de cartelas. La superficie expuesta a los empujes de forma circular o poligonal equivalente permite centrar la resultante con ausencia de tracciones.

Por razón de las compresiones crecientes es usual el aumento de los espesores de los contrafuertes de cabeza a cola y desde la coronación al cimiento, o bien un ensanche progresivo de los extremos inferiores (colas) que pueden llegar a ponerse en contacto total o parcialmente, mejorando la estabilidad transversal.

El comportamiento de las presas de contrafuertes se aleja mucho de las hipótesis del cálculo clásico por lo que el estudio tenso-deformacional se recomienda realizarlo mediante el método de elementos finitos o similar.

La aparición de fisuras es más frecuente que en las presas de gravedad, siendo especialmente vulnerables a las sollicitaciones térmicas.

Tanto las juntas de hormigonado como las juntas entre bloques son análogas a las existentes en las presas de gravedad y exigen el mismo tratamiento.

Para evitar fisuraciones incontroladas ha sido frecuente el establecimiento de juntas "longitudinales" semejantes a las comentadas para las presas de gravedad. En algunas presas importantes se han diseñado estas juntas siguiendo las isostáticas del contrafuerte para evitar deslizamientos relativos y mantener un reparto tensional del peso propio sobre el cimiento adecuado.

En este tipo de presas no existen galerías propiamente dichas, aunque son comunes los pasos a través de los contrafuertes enlazando pasarelas para inspección, auscultación y como acceso a la base de los recintos intermedios.

8.4.4 Presas en arco

Se pueden considerar como tales aquellas en que las secciones horizontales están constituidas por arcos en los que la compresión predomina sobre la flexión a efectos tensionales. Aunque los métodos de cálculo basados en considerar la presa como un entramado de arcos y ménsulas quedaron obsoletos frente al método de los elementos finitos no deben olvidarse los criterios conceptuales del reparto de la carga hidrostática, con ménsulas en las que se revela un fuerte apoyo en los arcos superiores, y consiguientes empujes negativos por encima de un determinado nivel, y arcos con cargas decrecientes de clave a arranques y simétricas siempre que la presa y las características geotécnicas del cimiento lo sean.

A medida que aumenta la anchura de la cerrada predomina la carga de las ménsulas, llegando como límite a la presa arco gruesa, con talud de aguas arriba vertical y secciones con áreas superiores a $0,2 H^2$. Por debajo de esta cifra se entra en el dominio de las presas bóveda.

Los momentos negativos de la parte superior de las ménsulas, en las presas bóveda, se compensan con un desplome, en tanto que los positivos de la parte inferior están en oposición al peso propio y al efecto del desplome hacia aguas arriba.

A lo anterior se unirá un espesor creciente desde la coronación hasta el cimiento ya que tanto las tensiones debidas al peso propio como a la carga hidrostática crecen con la profundidad.

La mayor carga hidrostática de los arcos exige una mayor curvatura en la zona de clave lo que conduce habitualmente a una directriz en forma de arco de tres centros.

El efecto de empotramiento de los arcos induce momentos flectores que van disminuyendo hacia la clave, lo que determina espesores decrecientes hacia el centro, con relaciones variables de 1,5 a 2,5 según los casos.

Al igual que en las presas de gravedad, separaciones de juntas del orden de 15 m evitan el agrietamiento. Por el contrario, el menor espesor de las presas bóveda las hace más susceptibles a las variaciones térmicas ambientales, afectando de forma especial a los arcos, como parte hiperestática del conjunto. Un aumento térmico provocará el desplazamiento de los arcos hacia aguas arriba, recibiendo mayor carga hidrostática, disminuyendo en consecuencia la colaboración de las ménsulas.

La disposición ideal de las juntas, normal a la directriz de los arcos, conduciría a una superficie helicoidal. Sin embargo, por razones constructivas suelen diseñarse juntas planas normales a

un arco intermedio y con pequeñas desviaciones resultantes en los arcos superior e inferior, sobre todo en el caso de laderas suaves. Si las laderas son escarpadas son preferibles las juntas inclinadas al acercarse al cimientto.

En las presas en arco, una vez enfriado el hormigón de los bloques y en una situación ambiental favorable, es necesario proceder a la inyección de las juntas para establecer la continuidad necesaria para su funcionamiento tridimensional. Para ello se deben proyectar adecuadamente los recintos y dispositivos de inyección y control, normalmente definidos por los distintos niveles de las galerías longitudinales. Cuando la esbeltez de la presa no permite el establecimiento de galerías pueden realizarse estos trabajos desde el paramento de aguas abajo o utilizando pozos diseñados para ello.

Para el sistema de galerías, los dispositivos de estanqueidad de las juntas y el sistema de drenaje del cuerpo de presa, son válidas las consideraciones hechas al tratar de las presas de gravedad, procurando la colocación de una armadura de contorno, dadas las tensiones que cabe esperar en estas estructuras más solicitadas.

Las presas en arco grueso, también denominadas arco-gravedad, permiten usualmente la disposición del vertedero sobre el paramento de aguas abajo, con soluciones similares a las presas de gravedad.

8.4.5. Presas de bóvedas múltiples

Formadas por contrafuertes y arcos presentan semejanzas y diferencias con cada uno de los tipos descritos. La transmisión de los empujes se realiza a través de las bóvedas, por efecto arco, en tanto que los contrafuertes transmiten las tensiones al terreno por gravedad. La reducción del volumen de hormigón es posible por las mismas razones expuestas para las presas de contrafuertes: reducción de las subpresiones y talud de aguas arriba que proporciona la componente vertical del empuje hidrostático, siendo habituales ángulos de 45° a 60° con la horizontal.

Son adecuados arcos circulares de espesor creciente con la profundidad, luces del orden de 15 a 18 m y ángulo central próximo a 180° para reducir al mínimo la componente transversal de los empujes, que se compensarían en el caso de que las bóvedas sean simétricas. Por ello esta solución es poco adecuada para cerradas con pendiente.

Las bóvedas y los contrafuertes son elementos diferenciados en rigidez y deformabilidad. En muchos casos se disponen juntas entre ambos para evitar el agrietamiento resultante de las flexiones en el empotramiento.

La separación entre contrafuertes es mayor que en las presas de este tipo, lo que implica una mayor precariedad de su estabilidad transversal. Por estas razones no suelen proyectarse actualmente presas de bóvedas múltiples.

8.4.6 Presas mixtas de fábrica

Se denominan así a las que combinan, en una sola realización, las tipologías descritas. Entre ellas merecen un breve comentario las asociaciones de presas en arco con estribos de gravedad

en la parte superior de la cerrada, cuando ésta carece de la altura suficiente. Estos estribos han de estar proyectados para resistir los empujes de los arcos a la vez que el hidrostático por lo que es usual una disposición en planta en forma de V con el brazo situado aguas arriba para completar el cierre del embalse y el de aguas abajo en prolongación de la tangente al extremo del arco. También es corriente la prolongación del primer estribo citado mediante diques de collado, que completen el cierre del embalse en las depresiones contiguas, si existen.

8.4.7 Hormigones de proyecto

Las características de los hormigones de presas varían de unas a otras y aun para cada parte de la obra. No obstante lo anterior existen una serie de cualidades comunes que los diferencian de los empleados en otras estructuras.

A los hormigones definitivos se les exige durabilidad, impermeabilidad y resistencia adecuadas, todo lo cual se puede sintetizar en un alto grado de compacidad y en la exigencia de la calidad debida en todas y cada una de las partes de la presa (uniformidad).

La resistencia puede no ser la condición más exigente, especialmente en las presas de gravedad. Sin embargo es de gran interés en tanto está directamente relacionada con las características exigibles, tanto los valores medios como su dispersión.

El proyecto deberá contemplar la procedencia, calidad y cantidad de los áridos, un estudio previo de los conglomerantes y la definición de los distintos tipos de hormigón a utilizar en cada zona de la presa, así como del acabado de sus superficies, todo lo cual exige la realización de una serie de ensayos encaminados a justificar su viabilidad técnica y económica compatible con las previsiones del proyecto.

Como condición previa a la aceptación de un árido debe estudiarse su reactividad potencial a largo plazo y las medidas adoptadas para evitar o disminuir su incidencia sobre la durabilidad de la obra.

El tamaño máximo del árido es de gran interés dentro de ciertos límites prácticos que unas veces vienen dados por el origen de los propios áridos y otras por las dificultades que implica en la fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón.

En obras de cierta importancia debe ser preceptiva la dosificación en peso de los distintos tamaños de áridos, siendo habitual la consideración de cuatro fracciones para el árido grueso y de dos para las arenas.

El estudio de la composición de los hormigones debe concretarse de forma definitiva mediante ensayos de laboratorio con los componentes que realmente se van a emplear en la obra. Los resultados así obtenidos se comprobarán en las instalaciones de dosificación y amasado, que normalmente exigirán ciertas correcciones hasta obtener el resultado apetecido. En especial, la dosificación del agua de amasado, complementaria de la humedad de los áridos, se obtendrá por ajustes sucesivos hasta obtener el asiento requerido, pudiendo entonces verificarse el contenido de agua real de la muestra tomada en el tajo.

Los aditivos al agua de amasado han de ser empleados dentro de ciertos límites tolerables, debiendo proscribirse los que tengan riesgo de alterar desfavorablemente algunas de las propiedades del hormigón. Tanto los aireantes como los fluidificantes y plastificantes mejoran la trabajabilidad, reducen la segregación y permiten mejorar la relación agua/cemento. Es de advertir, no obstante, que su efectividad se reduce drásticamente en los hormigones muy secos.

El proyecto definirá también la clase y número mínimo de ensayos de control durante la ejecución de los trabajos. Las medidas de la consistencia, peso específico, contenido de aire ocluido y resistencias deben ser preceptivas.

Los conceptos generales expuestos para los hormigones vibrados son válidos también para los compactados con rodillo (HCR), con algunas consideraciones particulares. La reducción drástica del agua de amasado es una exigencia del método de puesta en obra.

El porcentaje que representa el material puzolánico en el total del conglomerante (cemento+cenizas) es una exigencia de las presas de HCR, debida al alto ritmo de puesta en obra del hormigón.

La dosificación de los áridos puede realizarse con los mismos criterios empleados para el hormigón vibrado teniendo en cuenta algunos matices tales como el evitar el empleo de rocas blandas que se rompan durante el proceso de compactación, así como una deseable reducción del tamaño máximo del árido a valores entre 40 y 80 mm, fundamentalmente por problemas de segregación.

La pasta : cemento + cenizas + finos del árido + agua + aditivos, (excluyendo la fracción que pasa por el tamiz 0,080 UNE) ha de rellenar completamente los huecos dejados por el árido, dando lugar así a hormigones compactos. Y para unos áridos prefijados la resistencia será función del contenido de conglomerante.

Como órdenes de magnitud se puede estimar que con un 70% de cenizas y 100 l de agua por m³, contenidos del 14 % de pasta, en peso, son los necesarios para fabricar un buen hormigón compactado. Para la medida de la consistencia no es válido el cono de Abrams, por lo que se suele emplear el método Vebe.

El desarrollo de las resistencias es función de la proporción de cenizas y no deberán vincularse las solicitaciones máximas previsibles a la resistencia a 90 días. El HCR alcanza a largo plazo valores análogos o superiores a los del hormigón vibrado.

8.4.8 Métodos de cálculo

Las recomendaciones que siguen son un resumen del capítulo 6 de la Guía nº 2 (Tomo 1), que las describe con mayor detalle.

En las presas de comportamiento bidimensional, con anterioridad a la aparición del método de los elementos finitos, los cálculos tensodeformacionales más extendidos eran los de Pigeaud y el basado en la resistencia de materiales, empleando en ambos hipótesis simplificadoras que introducen resultados poco precisos en muchos casos.

Por su parte, los programas comerciales de elementos finitos ofrecen gran cantidad de posibilidades en elementos y funciones de forma, por lo que se debe analizar bien su elección y la adaptación al problema que se pretende resolver.

Si el conjunto presa-cimiento presenta características homogéneas a lo largo de la cerrada pueden emplearse modelos bidimensionales de tensión o deformación plana, según que se considere el trabajo aislado o conjunto de los bloques de la presa.

En cuanto al cimiento debe considerarse deformación plana y sin peso. Tomando como condición de contorno la nulidad de corrimientos horizontales y/o verticales esta hipótesis es suficientemente aproximada a la realidad para profundidades del terreno del mismo orden que la altura de la presa. El mismo valor puede adoptarse para los límites del modelo laterales, tanto aguas arriba como aguas abajo.

En cuanto a la comprobación de la estabilidad al deslizamiento deben analizarse las superficies de rotura compatibles con él y en todo caso la superficie de contacto presa hormigón. Se plantea la condición:

$$T \leq \frac{N \tan \varphi}{F_1} + \frac{cS}{F_2}$$

en donde T es la resultante de las fuerzas tangenciales, considerando positivo el sentido que favorece el deslizamiento. N es la resultante de las fuerzas normales a la superficie, tomando como sentido positivo el que tiende a juntar los dos labios de la superficie considerada, φ es el ángulo de rozamiento a lo largo de la superficie, c es la cohesión, S es el área movilizada y F_1 y F_2 son los coeficientes de seguridad respecto de rozamiento y cohesión. En general, salvo adecuada justificación, se recomienda considerar cohesión nula en el contacto presa-cimiento.

El cálculo por elementos finitos generaliza la fórmula como integral de las condiciones de equilibrio correspondientes a cada diferencial de área.

El estudio del comportamiento tridimensional se aplica fundamentalmente a las presas bóveda y arco-gruesa y eventualmente a las de gravedad, contrafuertes, gravedad aligerada o cualquier otra tipología en que las anisotropías geológico-geotécnicas, o de otro tipo, en el sentido longitudinal de la cerrada puedan suponer una alteración significativa de las condiciones estático-resistentes respecto del comportamiento bidimensional. En algunos casos ambos modelos pueden ser complementarios.

Los programas de cálculo del Trial-Load se complementaban asignando una deformabilidad al cimiento mediante la teoría de Vögt, basada en el semiespacio elástico de Boussinesq. Aplicando las cargas obtenidas para cada arco y ménsula se obtenían las tensiones principales aguas arriba y aguas abajo de la estructura.

Estos programas han sido sustituidos por los sistemas tridimensionales basados en el método de los elementos finitos. Se modelizan tanto la estructura como el cimiento, en una extensión y con criterios análogos a lo descrito para el cálculo bidimensional, con la diferencia práctica del mayor número de nudos, con tres grados de libertad. En la Guía nº 2 (apartado 6.3.1) se dan

algunas indicaciones que pueden servir de punto de partida para la programación del modo más adecuado.

El análisis tenso-deformacional de la presa deberá completarse con el cálculo de la estabilidad del conjunto presa-cimiento y de cada una de sus partes. Para la estabilidad global de presas de planta recta o de bloques con juntas no inyectadas en presas de planta curva suele ser suficiente el estudio de la sección plana característica.

En el caso de estribos o zonas con diaclasado especial puede ser preciso recurrir a métodos tridimensionales, siendo preciso establecer un estudio paramétrico que incluye como variables los rozamientos y cohesiones en los planos de las litoclasas, así como la presión intersticial que cabe esperar.

8.4.9 Combinación de solicitaciones de cálculo

Por su especificidad y concreción se reproduce literalmente el contenido de la Guía nº 2.

La estabilidad de la presa y sus tensiones internas máximas, tanto en compresión como en tracción, se determinarán en las situaciones que se detallan a continuación. En todas ellas, las variaciones térmicas se refieren a la variación de temperatura en el interior de la presa debida a las oscilaciones térmicas estacionales de la temperatura ambiente o del agua, en su caso.

SITUACIONES NORMALES (N)

N_1 : Embalse vacío: Actuación del peso propio, solo o acompañado de las variaciones de temperatura.

N_{11} .- Peso propio

N_{12} .- Peso propio + efectos térmicos

N_2 : Embalse lleno: Actuación del peso propio + empuje hidrostático al N.M.N. y variaciones térmicas estacionales.

N_{21} .- Peso propio + empuje hidrostático (NMN) + presión intersticial con drenaje eficaz, si existe drenaje + efectos térmicos + empuje de sedimentos + ola máxima para el nivel normal de embalse.

El empuje del hielo y el oleaje son mutuamente excluyentes, considerándose en cada caso la acción más desfavorable. Es importante señalar que, además, se considerarán las posibles situaciones de presa en construcción y/o de embalses parciales que pudieran, según el caso analizado, ser más desfavorables que las indicadas. En caso de no existir drenaje, la presión intersticial será la correspondiente a drenaje ineficaz.

SITUACIONES ACCIDENTALES

Originadas por la presentación no simultánea de la avenida de proyecto o del terremoto de proyecto (T.P.).

A_1 : Embalse vacío:

A_{11} .- Peso propio+ efectos térmicos + efecto sísmico (T.P.)

A_2 : Embalse lleno:

A_{21} .- Peso propio + empuje hidrostático (N.A.P.) + ola máxima a nivel de la avenida de proyecto + efectos térmicos + presión intersticial con drenaje eficaz, si existe drenaje.

A_{22} .- Peso propio + empuje hidrostático (N.M.N.) + ola máxima a nivel normal de embalse + efectos térmicos + presión intersticial sin funcionar el drenaje.

A_{23} .- Peso propio + empuje hidrostático (N.M.N.) + efecto sísmico (T.P.) + ola sísmica + efectos térmicos + presión intersticial con drenaje eficaz, si existe drenaje.

En estas combinaciones debe considerarse, en su caso, el empuje de los sedimentos.

El empuje del hielo y el oleaje son cargas mutuamente excluyentes, por lo que se considerará la primera en lugar de la segunda en caso de que sea más desfavorable. Salvo en casos de terrenos muy permeables, y de posible ineficacia de la pantalla de impermeabilización, la presión intersticial será la correspondiente al Nivel Máximo Normal de Embalse.

SITUACIONES EXTREMAS (E)

Corresponden a la presentación no simultánea de la Avenida Extrema o del Terremoto Extremo (T.E.).

E_1 : Embalse vacío:

E_{11} .- peso propio + efectos térmicos + efecto sísmico (T.E.)

E_2 : Embalse lleno

E_{21} .- Peso propio + empuje hidrostático (N.A.E.) + ola máxima a nivel de la avenida extrema + efectos térmicos + presión intersticial con drenaje eficaz, si existe drenaje.

E_{22} .- Peso propio + empuje hidrostático (N.M.N.) + efecto sísmico (T.E.) + ola sísmica + efectos térmicos + presión intersticial con drenaje eficaz, si existe drenaje.

En todas estas combinaciones debe considerarse, en su caso, el empuje de los sedimentos.

El empuje del hielo y el oleaje son mutuamente excluyentes por lo que se considerará la primera en lugar de la segunda en caso de que sea más desfavorable.

Salvo en caso de terrenos muy permeables y de posible ineficacia de la pantalla de impermeabilización, la presión intersticial será la correspondiente al Nivel Máximo Normal de Embalse.

En todo caso, deberá comprobarse que, con una situación parcial de construcción o embalse, no se produce inestabilidad elástica o estática para la presa.

En los casos de comportamiento bidimensional se podrá prescindir del efecto térmico, con la excepción de la combinación N_{12} en la que el único efecto a considerar es el descenso de temperatura.

8.4.10 Coeficientes de seguridad

Con el mismo criterio que en el capítulo anterior se transcribe el contenido de la Guía nº 2.

En general, a falta de otros criterios específicos del caso, se recomiendan los siguientes coeficientes de seguridad mínimos :

1. COEFICIENTES DE SEGURIDAD RESPECTO AL DESLIZAMIENTO

SITUACIÓN	Clasificación de la presa					
	A		B		C	
	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2
NORMAL	1,5	5,0	1,4	5,0	1,4	4,0
ACCIDENTAL	1,2	4,0	1,2	3,0	1,1	3,0
EXTREMA	>1,0	3,0	>1,0	2,0	>1,0	>1,0

2. COEFICIENTES DE SEGURIDAD RESPECTO A LAS TENSIONES

SITUACIÓN	Clasificación de la Presa		
	A	B	C
NORMAL	3	2,5	2,00
ACCIDENTAL	2,0	2,0	1,50
EXTREMA	1,5	1,5	1,20

Se recomienda mantener los coeficientes de seguridad mínimos anteriores con los siguientes criterios:

- Los coeficientes mínimos recomendados para presas de categoría B o C se considerarán en el caso de que, con muy alta probabilidad, no vayan a variar en el tiempo de vida de la

presa las condiciones que justificaron su clasificación como B o C. En caso contrario, los coeficientes mínimos a considerar deben ser los indicados para la categoría A.

- Se tomará como resistencia del hormigón a compresión su resistencia característica a 90 días.
- La resistencia a tracción podrá obtenerse a partir de la resistencia a compresión mediante aplicación de la fórmula correspondiente que se indique en la Instrucción de Hormigón vigente.
- Se podrá considerar como valor de la tensión máxima obtenida en el cálculo el valor medio en una extensión de suficiente amplitud para que su rotura suponga un peligro real para la presa, evitando condicionar el diseño a valores puntuales sin relevancia práctica.
- Se aconseja evitar la utilización de hormigones con resistencias características muy elevadas, de más de 250 kg/cm² aproximadamente que, si bien permitirían estructuras más esbeltas, agravan el problema térmico.
- También se aconseja evitar que la estructura trabaje con tensiones altas, pues ello conduce a un más rápido envejecimiento del hormigón, lo que resulta contrario al objetivo esencial de durabilidad. Se recomienda que las tensiones no rebasen los 100 kg/cm² en situaciones Normales ni los 120 kg/cm² en situaciones Accidentales, ni 140 kg/cm² en situaciones Extremas. Se recomienda no admitir tensiones de tracción superiores a 10 kg/cm² en situaciones Normales. En las situaciones Accidentales podrán admitirse tensiones de tracción de hasta 12 kg/cm², y de hasta 14 kg/cm² en situaciones Extremas.

8.5. Recomendaciones aplicables a las presas de materiales sueltos

Se consideran como tales, todas las presas realizadas con materiales naturales, con nula o limitada cohesión y sin utilizar un conglomerante que la aumente.

Dentro de la amplia gama de tipología de presas, pertenecientes a este grupo, puede hacerse una primera diferenciación atendiendo al elemento impermeabilizador, clasificándolas en: presas homogéneas, presas de núcleo y presas de pantalla, y dentro de cada uno de estos tipos se distinguirá en razón de los materiales que sean utilizados para la realización, tanto del cuerpo de la presa, como del elemento impermeabilizador.

Se exponen a continuación unos conceptos muy generales, como primera aproximación a la problemática de estas estructuras. Para una información mucho más completa se puede consultar el segundo tomo de la Guía nº 2, dedicado monográficamente a este tema.

8.5.1. Presas homogéneas

A este tipo pertenecen aquellas cuyo material de constitución es el mismo en todo el cuerpo de la presa, salvo zonas específicas. Por esta razón el material ha de cumplir la doble finalidad de mantener la estabilidad y la impermeabilidad de la estructura.

El primer cometido se consigue dimensionando un cuerpo de presa con taludes estables, en función de las características del material y sus condiciones de trabajo, en especial su red de filtración, y teniendo en cuenta también que entre las presas de materiales sueltos son las más vulnerables frente a movimientos sísmicos. El control de calidad de los materiales precisa de un análisis de las características de los préstamos, teniendo en consideración, además de las razones económicas (distancia, facilidad de explotación), la posible existencia de suelos orgánicos, materiales solubles, el estado de humedad y la homogeneidad general o la posibilidad de conseguirla en el yacimiento mediante el procedimiento de explotación. En general se recomienda realizar un terraplén de ensayo con objeto de definir los parámetros de control en la ejecución de la obra, como densidad, humedad, granulometrías, permeabilidad, módulo de compresibilidad, espesor de tongadas y comportamiento ante distintos procedimientos de compactación.

La estabilidad frente a los procesos de erosión interna o en las proximidades de los taludes se ha de asegurar, bien por las características propias del material del cuerpo de la presa o bien por el dimensionamiento de drenes que alejen las presiones intersticiales de los paramentos, drenes que han de cumplir las condiciones de filtro o han de estar protegidos de forma que no permitan el arrastre de los finos por el agua de filtración. El establecimiento de drenes chimenea, de pie, horizontales o mixtos, según circunstancias, y el diseño del material de filtro anterior o interior a los drenes es de gran importancia para garantizar la seguridad de la estructura.

Este tipo de presas tiene especial relevancia por su gran número y, en bastantes casos, por cierto descuido en los controles de diseño y construcción, más habitual en las de reducidas dimensiones.

La cimentación de una presa de materiales sueltos si bien es permisiva respecto a la carga portante no lo es en cuanto a la posibilidad de filtraciones.

El control de la erosión interna por filtraciones hacia la cimentación, tanto en la base como en los estribos, se ha de llevar a cabo mediante un riguroso examen de la excavación, con limpieza y posterior relleno de las diaclasas o con un tratamiento de conjunto, en caso de necesidad.

Cuando las características de la cimentación no permitan este tratamiento y se prevean filtraciones con posibilidad de erosión interna y aumento de presiones intersticiales, se estudiarán las posibles redes de filtraciones hacia aguas abajo, controlando que las presiones efectivas se mantengan con valores que proporcionen estabilidad al conjunto y, en caso necesario, se establecerán pozos de alivio que las reduzcan y controlen. Los posibles arrastres se evitarán mediante la interposición de filtros entre el material de la presa o de la propia cimentación susceptible de ser transportado y la zona drenante.

8.5.2. Presas de núcleo

En este tipo de presas, la estabilidad está confiada a los espaldones y la impermeabilidad al núcleo; de esta forma las condiciones de seguridad han de ser diferentes para cada elemento.

El Núcleo, ha de tener una permeabilidad pequeña, y su espesor ha de estar condicionado no sólo por ella sino también por las características resistentes frente a una posible fisuración; en este sentido se recomiendan, en caso de ser factibles, núcleos gruesos, entendiendo por tales los

que tienen un espesor superior al estrictamente necesario para cumplir su misión de impermeabilidad de forma segura; los taludes razonables en núcleos considerados gruesos son del orden de 1/5 a 1/4. El material ha de cumplir unas especificaciones estrictas de densidad, humedad, sales solubles, carbonatos, materia orgánica, permeabilidad, cohesión, expansividad y dispersabilidad.

Es de gran importancia, para un correcto comportamiento del núcleo, dimensionar con rigor los filtros necesarios. Cuando se prevea que la compactación puede hacer variar las granulometrías, es necesario hacer terraplenes de ensayo para verificar la granulometría resultante.

Con el mismo objeto, también interesa que el material mantenga una homogeneidad tal que cumpla correctamente las condiciones impuestas para la definición de los filtros que han de protegerlo.

La homogeneidad del núcleo proyectado se garantiza acotando los límites de Atterberg entre valores que permitan mantener sus características.

En consecuencia, la construcción del núcleo implica necesariamente la realización de un terraplén de ensayo para conocer la humedad óptima, el número de pasadas y el espesor de la tongada, con objeto de obtener la densidad requerida de forma homogénea y rutinaria.

En presas donde sean previsibles grandes deformaciones es recomendable realizar los contactos con el terreno o zonas rígidas con arcillas compactadas del lado húmedo.

Las posibles fisuraciones del núcleo motivadas por asientos diferenciales se corregirán, en la medida de lo posible, actuando sobre las causas que las provocan para disminuir sus efectos. En cualquier caso, no hay que olvidar que la seguridad de un núcleo impermeable está dependiendo de los filtros que lo protegen, por lo que el correcto dimensionado, construcción y estabilidad a largo plazo de éstos es la mejor garantía para el conjunto.

El contacto del núcleo con la cimentación ha de dar continuidad a la zona impermeable de forma estable a lo largo del tiempo; para ello se extremará el tratamiento de limpieza en general y el particular de posibles diaclasas, fallas u otras zonas cuya mejora sea recomendable.

Los Espaldones de las presas de núcleo han de asegurar su estabilidad, de ahí la importancia de contar con un material de suficiente calidad, tanto en lo que se refiere a su ángulo de rozamiento interno como a su permeabilidad, ya que si ambos son elevados se minimizará el volumen de la presa.

Los espaldones estarán formados por rocas capaces de mantener ampliamente sus características una vez cargadas, transportadas, regadas y compactadas con rodillos de más de 10 t de peso estático y con acción vibratoria.

Si la roca utilizada se considera que proporcionará un pedraplén poco drenante se puede zonificar con capas más permeables, acción que puede resultar antieconómica frente a un cambio de diseño con aumento de taludes o a un cambio a préstamos de mejor calidad.

El uso de escolleras siempre llevará unas especificaciones mínimas relacionadas con:

- Tipo de compactador y número de pasadas.
- m^3 de agua por m^3 de escollera, lanzada en chorro directo sobre el vertido del camión.
- Tamaño máximo de la escollera y espesor máximo de tongada.
- Porcentaje de finos, con objeto de garantizar su permeabilidad.

La colocación de los espaldones de escollera sobre el terreno debe hacerse después de haber retirado toda la capa vegetal y materia orgánica. En caso de existir un suelo erosionable en profundidad, es recomendable extender una capa de filtro antes de la escollera, o al menos una escollera de granulometría más cerrada en las proximidades del terreno, para evitar la penetración de este en aquella.

La escollera de los espaldones debe ser zonificada para mejorar la economía y la funcionalidad, de tal forma que el paramento de aguas arriba sea estable frente al oleaje, el de aguas abajo tenga la estética que se proponga y el interior de los espaldones permita una gradación de tamaños hacia los filtros y unos espesores de tongada mayores o menores según la importancia resistente de la zona.

La suma de efectos no deseables al construir los espaldones de escollera, tales como: demasiado espesor de tongadas, proporción de finos alta, riego escaso, escollera friable y compactación escasa, darán lugar a un aumento considerable de las deformaciones, especialmente al producirse el llenado, con posibilidad de importantes asientos diferenciales entre los espaldones de aguas arriba y aguas abajo.

En el supuesto de utilización de gravas en vez de escollera, es inusual el riego con agua en el vertido del material. El espesor de tongada suele ser menor, llegando en algunos casos hasta los 30 cm, dependiendo del tamaño máximo, y especial importancia requiere el control del contenido de finos, con objeto de que el espaldón sea muy drenante; en caso contrario se precisará la necesidad de drenes intermedios. El conseguir la autoestabilidad de la zavorra, al menos en la zona próxima a los filtros, aumentará la seguridad de la presa, aún cuando se produzca una filtración importante causada por la fisuración del núcleo.

Especial mención requieren los núcleos asfálticos, los cuales han de cumplir las características básicas de un núcleo impermeable. Como su espesor suele estar comprendido entre 60 y 100 cm, siendo habitual los 80 cm, la permeabilidad ha de ser, al menos, de 10^{-8} a 10^{-10} m/s, que se consigue con dosificaciones adaptadas a la curva de Fuller, manteniendo el tamaño máximo por debajo de los 20 mm y con un contenido en arena y filler del orden del 44%. El betún utilizado suele ser 60/70 en una proporción del orden del 6% en peso.

Son características fundamentales de estos núcleos el que sean flexibles, difíciles de fisurar, resistentes a la erosión y a los esfuerzos y además de su impermeabilidad han de tener capacidad de autosellado con los materiales de transición que se colocan en contacto con él; especialmente el de aguas arriba llevará contenido de finos suficientes para proporcionarlos en caso de fugas. El material de transición de aguas abajo ha de ser autoestable y estar protegido

por el material del espaldón próximo a él, con la condición de filtro. Tanto el núcleo como las zonas de transición se construyen simultáneamente, lo que obliga a que gran parte, y a veces toda la presa, acompañe su ejecución.

Los núcleos de diafragma sólo son recomendables en presas de poca altura. La seguridad y funcionalidad están condicionadas a la deformación de la pantalla sin romperse, y en este supuesto a la estabilidad interna de los materiales granulares. Su uso está muy limitado, especialmente a reparación de presas.

8.5.3. Presas de pantalla

Se denominan así a las que tienen el elemento impermeabilizador adosado al paramento de aguas arriba, usualmente unido a la cimentación mediante el plinto.

Las pantallas más usadas son las asfálticas y las de hormigón, y sólo en presas de menor altura se utilizan las láminas de polímeros.

La seguridad de una presa de pantalla está condicionada al comportamiento de la misma, en íntima relación con las deformaciones del espaldón sobre el que se apoya y muy especialmente con las uniones con la cimentación u otras estructuras adyacentes, de forma que se impidan las filtraciones.

Las pantallas se unen al cimiento mediante el plinto, que puede tener o no galería de inspección, control e inyecciones. La cimentación correcta del plinto, asegurando su estabilidad frente a las sollicitaciones y su contacto permanente con la pantalla, es punto crucial en el diseño y la correcta construcción de este tipo de presas.

El plinto o zócalo de apoyo es muy distinto según el tipo de pantalla, características de la cimentación y de la propia presa.

Es de gran importancia que la pantalla se adapte con facilidad a la deformación de la presa sin romperse, como es el caso de las asfálticas, o la construcción de un terraplén poco deformable adecuado a pantallas más rígidas como las de hormigón. En este sentido se recomienda lo siguiente:

Pantallas Asfálticas: El control de los betunes fluidificados y la emulsión asfáltica, que componen el aglomerante de los áridos, y del filler se realizará en laboratorio según normas específicas y ha de estar garantizado por los suministradores. Los áridos y especialmente el filler han de ser limos no plásticos, procediendo el análisis de su granulometría y límites de Atterberg, así como el de su actividad puzolánica.

El árido utilizado debe de ser preferiblemente básico, para que la adherencia del betún sea correcta; en caso contrario se emplearán aditivos homologados.

La construcción ha de hacerse sobre el paramento de aguas arriba de la presa, una vez regularizado por una capa seleccionada de material granular sobre la escollera de transición y procurando que los taludes sean del orden de 1,7/1 a 1,4/1, siendo recomendables para su

correcto compactado y estabilidad a largo plazo los taludes más próximos a 1,7/1 ó 1,6/1. Las alturas máximas recomendadas en estas presas con pantalla asfáltica no superan los 100 m.

Sobre el material granular seleccionado se da un riego de penetración previo al extendido de la primera capa de las que se compone la pantalla. Las granulometrías de las capas asfálticas se estudian en cada caso según las propiedades de permeabilidad exigidas aunque es habitual, en presas importantes, el diseño de una pantalla tricapa formada por dos impermeables y una central porosa que drena la primera y detecta los fallos en la misma. Un sistema selectivo de evacuación del drenaje permite conocer los puntos de filtración.

Es importante para la seguridad de la presa que bajo la capa impermeable el material de regularización sea autoestable y quede protegido por la escollera seleccionada frente a los huecos de la escollera principal del espaldón.

El tratamiento de juntas, si son calientes, no requiere especial cuidado pero en caso de juntas frías hay que asegurarse de que el calentamiento del betún antes de aplicar la nueva capa sea el correcto. En ningún caso se harán coincidir las juntas de distintas capas, para evitar su continuidad.

El plinto de unión de una pantalla asfáltica con la cimentación puede incluir una galería perimetral encajada en la cimentación y desde la cual se realizarán los tratamientos de consolidación del terreno, inyecciones y drenajes que sean necesarios o convenientes. Su unión con la pantalla se realiza mediante sistemas que han de cumplir las condiciones de:

- Contacto permanente.
- Deformaciones sin rotura.
- Drenaje de la capa intermedia hacia la galería.

En presas de menor importancia y con terrenos de cimentación de buenas características se puede prescindir de la galería al diseñar el plinto.

Pantallas de Hormigón: Las presas con pantalla de hormigón son más exigentes frente a la calidad de la cimentación, tanto para conseguir que el plinto o zócalo permanezca estable como para garantizar el buen comportamiento de la generalidad de la pantalla.

La seguridad de este tipo de presas, cuyas alturas superan en algunos casos los 200 m con un comportamiento correcto, está basada fundamentalmente en las características y diseño del zócalo, en la baja deformabilidad de los espaldones y en el correcto diseño y construcción de la capa de apoyo sobre la escollera.

La anchura del zócalo es función del gradiente hidráulico y suele estar comprendida entre 1/20 y 1/25 de H (altura de presa), dependiendo de la calidad de la cimentación, con un mínimo de 3 m. Se analizará su estabilidad frente a las acciones a las que está sometido y presentará una base uniforme para el apoyo de la pantalla. Su espesor debe estar comprendido entre 0,4 y 0,5 m y sólo en casos excepcionales se ha llegado a 0,6 m, no siendo recomendables alturas superiores a las estrictamente necesarias, porque obligan a un relleno bajo la junta perimetral que puede producir deformaciones no deseables.

La pantalla se construirá sin juntas horizontales, salvo las de construcción que sean imprescindibles y cuyo tratamiento ha de ser especialmente cuidadoso.

Las juntas verticales se harán cada 12 a 18 m, siendo normal la distancia de 15 m, y el espesor de la pantalla es variable con la altura, partiendo en la coronación de 0,3 m y aumentando en una relación de 0,004 H a 0,0002 H, aunque se recomienda el valor de 0,002 H para presas de gran altura.

La armadura de reparto se suele diseñar simétrica y con una cuantía entre 0,35% y 0,40% de la sección teórica.

Para mejorar la seguridad frente a una filtración a través de la pantalla o de sus juntas se debe disponer una zona granular de apoyo cuyo diseño en granulometría y espesor ha de ser especialmente cuidado, no solo para limitar las posibles fugas sino para proporcionar un sistema de sellado mediante el arrastre de limos o arena fina aportados al agua, actuando como un filtro colmatado.

Para conseguir estas características se construirá una capa de apoyo de espesor comprendido entre 4 y 5 m, con compactación horizontal y en el talud, en capas de 40 a 50 cm. La granulometría de esta zona es especialmente delicada, limitándose el tamaño máximo, el porcentaje inferior al tamiz nº 4 y el contenido de finos, todo lo cual se concluye en el establecimiento de husos granulométricos recomendados para su definición.

Pantallas de material polimérico : Son habituales en los depósitos y balsas para almacenar agua destinada a usos agrícolas, ganaderos y abastecimiento a industrias y poblaciones, que suelen hacerse fuera del cauce de un río. Por estar estos pequeños embalses fuera de un curso fluvial el nivel freático circundante suele ser habitualmente bajo, lo que comporta un gradiente que ha de corregirse impermeabilizando artificialmente todo el vaso.

Aunque cabe el empleo de todo tipo de pantallas, como las ya comentadas, este apartado trata solamente de las formadas por productos derivados de polímeros sintéticos y, en especial, de las geomembranas o láminas delgadas.

El talud interior conviene que sea único y se determinará por las características del material que forma la capa soporte y las condiciones de colocación de la membrana y del material de protección, si lo hubiere.

La altura de las balsas, en España, raramente supera los 20 m, aun cuando se pueden alcanzar valores muy superiores si la lámina está en situación interna.

El término geomembrana se emplea para designar los materiales impermeables ($\leq 10^{-11}$ cm/s) y flexibles que se utilizan para retener el agua cuando se colocan en un depósito, balsa o presa. Para el fin que se persigue se pueden considerar dos grupos, en función de sus características : los plastómeros o termoplásticos y los elastómeros.

Los primeros son muy sensibles a la temperatura, reblandeciendo, de forma reversible, entre 120° C y 180° C, en tanto que los elastómeros son cauchos de comportamiento predominantemente elástico.

Las láminas más utilizadas para la impermeabilización de balsas son de:

PVC-P Policloruro de vinilo plastificado

PEAD Polietileno de alta densidad

EPDM Etileno-propileno-monómero-diénico

PP Polipropileno

Existiendo muchas otras, incluso con propiedades mixtas de las clases anteriores, como el polietileno clorosulfurado (HYPALON).

En la segunda parte de la Guía nº 2, relativa a las presas de materiales sueltos, se comentan las solicitaciones y los detalles constructivos a tener en cuenta en el proyecto, con detalle de la colocación, soldaduras y solapes y una dedicación especial al anclaje de las membranas a la coronación, taludes y obras de fábrica, tratando siempre de evitar concentraciones de tensiones y desgarros.

8.5.4.- Seguridad al deslizamiento

El contenido de este capítulo está tomado de la Guía nº 2, Tomo 2, que establece los criterios para el proyecto de presas de materiales sueltos, a la que se remite al lector interesado en un mayor detalle.

Para comprobar la seguridad al deslizamiento del cuerpo de presa se recomienda utilizar las solicitaciones que figuran a continuación, teniendo en cuenta los comentarios que se indican respecto a los métodos de cálculo y los coeficientes de seguridad mínimos recomendados.

8.5.4.1.- Tipos de solicitaciones o combinaciones de ellas que han de considerarse.

Los tipos de solicitación se indican en el Reglamento que desarrolla esta Guía. Siguiendo la nomenclatura que allí se establece se considerarán, al menos, las siguientes solicitaciones:

Normales, N

N1 Embalse lleno al máximo nivel normal (MNN)

En esta situación se supondrá que las variables que pueden afectar a la estabilidad, tales como las presiones intersticiales en el núcleo, si es el caso, y en el cimiento, alcanzan valores normales que se recomienda sean una estimación prudente dentro del rango de variación esperado.

Accidentales A

El Reglamento Técnico define las situaciones accidentales indicando que tienen duración limitada. Por ese motivo se recomienda considerar también como “accidentales” aquellas

situaciones transitorias que se dan durante la construcción y durante la explotación, como pueden ser los fallos eventuales del sistema de drenaje y los desembalses rápidos.

- A1.- Distintas fases de construcción.
- A2.- Embalse lleno a nivel de la avenida de proyecto (NAP).
- A3.- Desembalse rápido.
- A4.- Fallo del drenaje.
- A5.- Embalse lleno y terremoto de proyecto.

Para cada una de estas situaciones se supondrá que las variables referentes a los niveles inicial o final del embalse, el estado tensional y la resistencia y deformabilidad de los materiales que caracterizan la situación, adquieren el valor accidental (o transitorio) que sea razonable estipular. El resto de variables tendría su valor normal.

Extremas E

Dentro de este tipo se considerarán, al menos, las siguientes solicitaciones:

- E1.- Embalse lleno a nivel de la avenida extrema, NAE.
- E2.- Distintas fases de construcción y terremoto de proyecto.
- E3.- Fallo del sistema de drenaje y terremoto de proyecto.
- E4.- Desembalse rápido y terremoto de proyecto.
- E5.- Embalse lleno al nivel normal y terremoto extremo.

Para cada una de las situaciones extremas se supondrá que la variable (o las variables) que caracterizan la situación alcanza el valor o condición que se indica en su título y que será oportunamente definido por el ingeniero de manera justificada y razonada. Para el resto de las variables se adoptará el valor normal.

Además de las situaciones indicadas se recomienda revisar si en la presa en cuestión existen situaciones específicas especiales que puedan resultar de interés. En la enumeración precedente se indican aquellas situaciones que siempre han de considerarse pero no excluye otras que pueda ser necesario tener en cuenta en algunas obras singulares.

En especial se tendrá en cuenta la posibilidad de una rotura progresiva en la cimentación o en el núcleo de la presa. Se recomienda una mayor atención sobre la posibilidad de rotura progresiva para presas de categoría A. Es conveniente destacar el influjo que tiene la existencia de capas arcillosas duras en las cercanías de la base de la presa o planos de sedimentación en las formaciones arcillosas, de espesor muy moderado, pero suficiente para servir de base a la rotura o deslizamiento progresivos.

8.5.4.2.- Métodos de cálculo recomendados y coeficientes de seguridad.

Los procedimientos más modernos que hoy se utilizan para analizar la estabilidad de presas de materiales sueltos están basados en modelos numéricos que reproducen aceptablemente la geometría de la presa y de su cimiento y, además, consideran de forma adecuada las características resistentes de los materiales. Los modelos numéricos pueden programarse de manera que como resultado del análisis se obtenga un coeficiente de seguridad al deslizamiento

F. Cuando se utiliza el modelo resistente de Mohr-Coulomb, el coeficiente de seguridad F es el número por el que han de dividirse simultáneamente las cohesiones y tangentes de los ángulos de rozamiento de cada material, de forma que el resultado del cálculo indique que el modelo de la presa es inestable.

En la Guía nº 2 también se recomienda que, además de los diversos modelos numéricos que puedan haber sido utilizados, se realice una comprobación adicional mediante el análisis del equilibrio límite de secciones representativas del cuerpo de presa. En algunas ocasiones (valles estrechos) puede ser conveniente tener en cuenta de manera aproximada el efecto tridimensional. Dentro de los procedimientos existentes, los de mayor uso se denominan “métodos de rebanadas”. Son bien conocidos y de amplia utilización los métodos de Morgenstern-Price, Spencer, Janbu y Bishop. Se aconseja la utilización de métodos que cumplan todas las condiciones de equilibrio.

En general, se recomienda que los coeficientes de seguridad mínimos que se obtengan mediante el uso de modelos numéricos o mediante el uso de métodos de equilibrio límite sean siempre iguales o superiores a los que se indican en la Tabla 1.

El coeficiente de seguridad depende del tipo de solicitaciones o combinaciones de ellas a que corresponda el caso y de la categoría de la presa en función de su riesgo potencial.

TABLA 1
ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO DE PRESAS DE MATERIALES SUELTOS
COEFICIENTES DE SEGURIDAD MÍNIMOS RECOMENDADOS SEGÚN LA
CATEGORÍA DE LA PRESA.

TIPO DE SOLICITACIÓN O COMBINACIÓN DE SOLICITACIONES	CATEGORÍA A	CATEGORÍA B	CATEGORÍA C
NORMAL	1.4	1.4	1.3
ACCIDENTAL	1.3	1.2	1.1
EXTREMA	>1.0	>1.0	>1.0

En la aplicación de esta tabla se aconseja tener en cuenta las consideraciones que se indican en la Guía nº 2 respecto a los métodos de cálculo, así como las recomendaciones específicas particulares que se detallan para ciertos tipos de presas.

8.5.5. Solicitaciones sísmicas

En la Guía Técnica nº 3 y en el capítulo 7.3 de la presente se describen los estudios necesarios para definir la acción sísmica, cuya amplitud e intensidad depende de la categoría de la presa en función de su riesgo potencial y de la peligrosidad sísmica del emplazamiento. También se indican los estudios complementarios relativos a la caracterización del comportamiento dinámico de los distintos materiales que forman el cuerpo de presa y del terreno de apoyo.

Para complementar los resultados de ensayos de laboratorio se deben conocer las propiedades geotécnicas en profundidad y definir la respuesta a las sollicitaciones dinámicas.

Con los materiales ya colocados en el núcleo, la transición, o presentes en el cimiento se deben efectuar :

- perfiles sísmicos de refracción
- ensayos down-hole o up-hole
- ensayos de columna resonante, triaxiales o de corte simple dinámico, bajo diferentes presiones de consolidación isotrópica o anisotrópica.

Una vez definido el comportamiento dinámico de los suelos incoherentes y de las arcillas se procede al cálculo, por aplicación de distintos procedimientos en función de la categoría de la presa.

Los métodos indicados son : el denominado “pseudoestático”, el cálculo de movimientos de la coronación y el cálculo mediante elementos finitos (o diferencias finitas). Su descripción figura asimismo en la Guía nº 2.

Para terminar este pequeño comentario a los efectos de la sismicidad sobre las presas de materiales sueltos se relacionan las siguientes conclusiones generales:

- Se deben reducir los riesgos de licuefacción, tanto en la cimentación como en el cuerpo de la presa. Ello se consigue mediante la eliminación de materiales licuables, el descenso de los niveles freáticos y una buena compactación de los suelos incoherentes.
- Un resguardo amplio de la coronación permitirá absorber los asientos generados por el seísmo.
- Las zonas de transición y filtros deben estar generosamente diseñadas.
- La utilización de drenes chimenea cerca de la posición central de las presas homogéneas reduce notablemente el estado de saturación del espaldón de aguas abajo.
- Es conveniente diseñar núcleos anchos, con materiales poco susceptibles al agrietamiento y tendidos hacia el embalse, de forma que aumente la amplitud del espaldón no saturado.
- Es necesario garantizar la estabilidad de los taludes, aun bajo las sollicitaciones dinámicas.
- Conviene evitar que las propiedades tenso-deformacionales de los distintos materiales que constituyen el cuerpo de la presa sean muy diferentes.

9.

RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE CONSTRUCCIÓN

9.1 Exigencias legales

Con independencia de las alusiones a la fase de construcción ya comentadas a lo largo de esta Guía, el capítulo IV del Reglamento, relativo a las condiciones técnicas a cumplir, dedica su artículo 27 a esta fase, con el siguiente contenido:

Artículo 27- Construcción.

27.1 En la fase de construcción, el titular de la presa designará un equipo técnico, dirigido por un Técnico competente que ejercerá las funciones de Director de Construcción, y estará encargado de la dirección de la obra y de que en ella se cumplan las condiciones de seguridad exigidas.

Para dar comienzo a la fase de construcción se precisará la aprobación por la Administración del proyecto, así como de la designación del equipo técnico y del Director de construcción.

27.2 El equipo técnico comprobará que los materiales utilizados en la obra, los métodos de construcción de los distintos componentes, las dimensiones de las obras y la maquinaria cumplan las previsiones del proyecto y que se ejecutan con la calidad requerida.

27.3 En el caso en que sea necesario por razones de seguridad, el titular deberá modificar el proyecto, los procesos constructivos o el plan de la obra. Estas modificaciones deberán ser aprobadas por la Administración previo informe de su adecuación a los requisitos de seguridad exigidos.

27.4 En esta fase se constituirá el Archivo Técnico de la Presa en el que quedarán reflejadas las modificaciones del proyecto, el desarrollo normal de los trabajos y las incidencias

especiales que pudieran producirse. Igualmente, se ampliará la información existente en el proyecto sobre aspectos como el clima, el río, el medio ambiente, el terreno y los materiales.

27.5 Los embalses formados por las ataguías utilizadas para la construcción de las presas, así como los embalses parciales originados por la propia presa durante la construcción en épocas de aguas altas, estarán sometidos a los mismos requisitos de seguridad, aunque considerando las circunstancias específicas de plazo y riesgo.

Consecuentemente con el texto anterior se organizan las recomendaciones siguientes atendiendo a las organizaciones responsables, planificación y control de los trabajos, desvío del río, excavaciones y construcción propiamente dicha, control de calidad, medidas preventivas y su extensión a otros trabajos de ampliación o mejoras de cierta importancia. Por el contrario, el contenido del Archivo Técnico ya ha sido comentado en el capítulo 6.3 de la presente Guía.

9.2 Aspectos de la construcción relacionados con el proyecto

El Ingeniero Director de la construcción será responsable de coordinar las distintas fases de la obra y a las distintas organizaciones o empresas participantes. Asegurará la planificación de los trabajos y mantendrá las reuniones periódicas necesarias para la consecución de los objetivos.

La supervisión de la construcción y las inspecciones deben ser realizadas bajo la dirección de un ingeniero generalista, con experiencia suficiente para comprender la interdependencia entre las prácticas de construcción y los principios y objetivos del proyecto.

Es deseable mantener un contacto continuo entre el equipo responsable del proyecto y el equipo de construcción. Al proyectista, o a la asesoría técnica que le sustituya, se le debe asignar al menos la función de colaborador permanente, mediante visitas a la obra que permitan estudiar las modificaciones que fuesen planteadas por diversos motivos.

Cualquier modificación del proyecto original que se derive del proceso de construcción debe ser documentada e incluida en los planos definitivos.

Un proyecto bien definido ha de tener muy en cuenta los métodos constructivos, los medios auxiliares y los materiales a emplear. Antes de iniciar la planificación, la dirección de obra verificará la conformidad de los métodos y materiales con las especificaciones, así como la existencia, alcance y eficiencia del programa de control de calidad.

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta al comienzo de las obras es el de la salud pública, sobre todo en regiones con enfermedades endémicas y transmitidas por el agua, al objeto de adoptar las medidas sanitarias convenientes tanto en los campamentos como en las localidades vecinas, en colaboración con las autoridades locales.

En todos los casos es obligatorio el establecimiento de un Plan de Seguridad y Salud que habrá de ser aprobado oficialmente, así como la designación del correspondiente Coordinador. En el mismo figurará la organización médica propia y la de apoyo en los centros sanitarios que estén situados en las proximidades de la obra. También se incluirá un estudio detallado de las instalaciones de abastecimiento de agua potable, recogida y tratamiento de aguas residuales,

basuras, etc., de forma que se cumplan las reglamentaciones en vigor y se garantice la salud pública.

Con independencia de lo anterior serán de aplicación los planes de protección ambiental y no se deben olvidar tampoco las previsiones necesarias en materia de seguridad industrial.

El presupuesto de seguridad debe estar dotado con los fondos necesarios, independientemente de las unidades de obra. En el caso de ocurrencia de algún accidente o incidente deberán investigarse a fondo sus causas y consecuencias con el fin de tomar las medidas para hacer menos probable su repetición. Paralelamente se analizarán de forma periódica los presupuestos de gastos en materia de seguridad comprobando la existencia de elementos bien fundados que justifican el costo y la necesidad de las medidas propuestas.

9.3 Planificación

La planificación establece el nexo entre las exigencias del proyecto y los elementos y métodos para su ejecución. Debe ser realista, fijando los plazos con las holguras necesarias para absorber las posibles desviaciones.

Antes de dar comienzo a los trabajos es muy conveniente contar con la disponibilidad de todos los terrenos afectados así como haber obtenido todas las autorizaciones administrativas necesarias. El comienzo de las obras en precario puede acarrear graves problemas cuya solución tendrá probables repercusiones económicas de signo negativo.

Entre los terrenos a expropiar, además de los que serán ocupados por las instalaciones definitivas y el embalse, hay que contar con una superficie suficiente para las instalaciones de obra, accesos, escombreras, canteras, graveras y préstamos, todo lo cual ha de estar, al menos, insinuado en el proyecto, pudiendo en algunos casos proponerse alternativas.

Del mismo modo, es necesario conocer el entorno de las obras, las infraestructuras existentes y los recursos disponibles, en función de los cuales se adoptará el sistema constructivo más conveniente para conseguir la solución más económica compatible con las exigencias de calidad y plazo.

La organización general contempla cinco fases bien diferenciadas y no necesariamente sucesivas en la construcción de una presa:

1. Accesos generales, poblado y desvío del río
2. Montaje de instalaciones auxiliares y excavación de cimientos
3. Ejecución de presa y demás instalaciones definitivas
4. Cierre del desvío y trabajos de remate
5. Desmontaje y retirada de las instalaciones auxiliares y acondicionamiento del terreno

Una vez realizado el programa general de la obra se completarán los programas parciales de detalle para cada uno de los elementos constituyentes de las instalaciones, excavaciones, cuerpo de presa, etc., constituyendo lo que normalmente se denomina "Proyecto de Ejecución", cuyos apartados habituales, al igual que la planificación de detalle, se describen pormenorizadamente en la Guía nº 6 -"Construcción de presas y control de calidad".

Para la programación de las obras se suelen utilizar los métodos llamados de ruta crítica: Pert o CPM y los de Precedencias o Potenciales. Una vez definido el programa se puede representar de forma sencilla en un gráfico de Gantt.

Es muy aconsejable que los responsables de la obra participen en la programación inicial y en su seguimiento periódico, cuya frecuencia puede ser variable en función del grado de cumplimiento, siendo recomendable una revisión mensual.

En el caso desfavorable de incumplimiento de los objetivos propuestos puede ser necesario un cambio sustancial del programa, bien potenciando los medios previstos o bien utilizando otras alternativas que puedan eludir los condicionamientos restrictivos.

9.4 Desvío del río

Es una actividad relacionada de forma particular con el riesgo a asumir durante el transcurso de los trabajos de construcción.

Los criterios sobre los que se basará el desvío serán determinados por el diseñador y propietario, conjuntamente aceptados por el contratista y aprobados por el organismo público.

El plan de desviación se basará en la probabilidad de ocurrencia de crecidas, hidrograma, riesgos aceptables, etc., sin que, en ningún caso, este riesgo sea superior al previsto para la fase de explotación. De acuerdo con esta premisa parece poco probable tal superación en el caso de presas y ataguías de hormigón, pero no se puede afirmar lo mismo si se trata de ataguías o presas de materiales sueltos, no aptas para soportar vertidos.

En las Guías Técnicas 4 y 6 se limita el riesgo aceptable y se fija la probabilidad de que sea superada la capacidad del desvío para las distintas categorías en función del riesgo potencial, con especial atención a las presas de materiales sueltos. En la citada Guía Técnica nº 4, -"Avenida de Proyecto", se puede ver la forma de determinar los valores de estas avenidas en función de la información hidrológica disponible: registro de caudales, avenidas y precipitaciones. Las probabilidades de superación recomendadas figuran en el apartado 7.2 de la presente Guía.

Debido a que las distintas fases de la desviación del río están estrechamente ligadas a otras actividades de la construcción y al régimen estacional de caudales, cualquier variación del plan establecido habrá de ser cuidadosamente analizada para determinar si los cambios pueden ser aceptados o dan lugar a modificaciones que, en algunos casos, suponen retrasos importantes.

El cierre del desvío es otra maniobra que habrá de ser estudiada cuidadosamente, programando las distintas fases de forma que se transfiera de forma segura el control del embalse a otros

órganos de desagüe, cuya capacidad en niveles bajos suele ser bastante reducida. Este inicio del llenado no puede realizarse sin autorización previa del organismo público competente.

Las obras para el control del río tienen gran incidencia en la concepción, programación y ejecución de las obras definitivas, de las que algunas veces llegan a formar parte.

Para disminuir el riesgo es conveniente también que las ataguías no den lugar a grandes volúmenes de embalse, por la posibilidad de que su rotura produzca una avenida artificial importante.

Se debe analizar la posibilidad de inundación del recinto ataguado, valorando sus consecuencias y programando determinados trabajos para su realización en periodos de baja probabilidad.

9.5 Excavaciones y tratamiento de las cimentaciones

La Dirección de obra realizará la vigilancia y los controles de las voladuras y demás trabajos de excavación, concretando las exigencias, de forma y calidad, que ha de cumplir la roca de cimentación. No se debe olvidar que las exigencias deben estar adaptadas a lo que se puede conseguir y muchas veces es el propio terreno el que impone las formas y dimensiones definitivas.

Los estudios geológicos previos, de gran utilidad para la planificación de las excavaciones, pueden ser complementados durante la ejecución de los trabajos mediante reconocimientos y ensayos "in situ".

Cuando se requiera, por las condiciones del cimientado o magnitud de la presa, se verificarán las deformaciones y se compararán las tensiones y esfuerzos con los valores predeterminados en el proyecto.

En las excavaciones, con carácter general, se pueden distinguir los trabajos de volumen de los de refino, implicando estos últimos el saneo y limpieza de la roca hasta su situación definitiva, procurando que no esté afectada por las voladuras ni expuesta a una posible meteorización.

En las presas de materiales sueltos la calidad de la roca de cimentación suele ser inferior a la requerida para una presa de fábrica. Otras veces existe un cauce con depósitos de gran espesor, siendo poco frecuente el empleo de explosivos. En estas presas las condiciones para la excavación varían en función de que se trate de la cimentación del núcleo, pantallas o espaldones.

Es fundamental que la cimentación del núcleo sea impermeable, lo que se puede lograr profundizando la excavación hasta la roca o bien mediante la consolidación e impermeabilización del terreno subyacente.

Los plintos y rastrillos de las pantallas requieren cimentaciones similares a las presas de hormigón, pudiendo ser necesario un tratamiento de consolidación a realizar antes de iniciar la construcción del cuerpo de presa o bien desde la galería perimetral, en caso de que exista.

Las excavaciones subterráneas: galerías y pozos, se realizarán con las técnicas específicas para este tipo de trabajos. Suelen aportar información de interés para la interpretación del comportamiento del terreno.

La Dirección de obra realizará una vigilancia continua de todo el proceso de excavación, hasta su completa finalización, debiendo informar de todas las singularidades que pudieran implicar modificaciones o planteamientos distintos a los iniciales del proyecto.

Las cimentaciones y su tratamiento deben ser formalmente aprobadas antes de su cubrimiento definitivo.

Todas las excavaciones que van a quedar ocultas deben reflejarse en planos taquimétricos de detalle, con indicación de los accidentes geológicos más notables y de la calidad de la roca en cada zona, todo lo cual puede ser complementado con una información fotográfica adecuada. Estos datos son de gran interés para el análisis del comportamiento futuro y la realización de eventuales tratamientos de consolidación, impermeabilización y drenaje, así como para la interpretación y análisis de las filtraciones y subpresiones que puedan resultar del llenado del embalse.

También debe quedar constancia de los tratamientos particulares de las cimentaciones, (puenteado de fallas, llaves de hormigón, anclajes, etc.) cuya descripción formará parte del Archivo Técnico y Memoria de la Construcción.

La existencia de manantiales se registrará con la mayor precisión. La canalización hacia las galerías u otro espacio libre hará posible el seguimiento de su evolución y el eventual tratamiento con inyecciones, si fuese conveniente.

Ha de tenerse en cuenta que las medidas de filtraciones y subpresiones sugieren un análisis conjunto, difícil de prever. El origen y la calidad de las aguas deben de ser investigados, realizando análisis químicos, comprobando la posible existencia de arrastres, analizando las temperaturas, etc.

Las galerías y pozos tienen también gran importancia en el tratamiento de los estribos y deben estar documentadas de forma adecuada, en especial si la roca requiere un recubrimiento protector.

El Archivo Técnico de construcción incluirá el detalle de todos los trabajos realizados para mejorar las características de las cimentaciones y en particular de los tratamientos de consolidación, impermeabilización y drenaje.

Se registrarán los gráficos de todos los taladros realizados, las pruebas de permeabilidad, porcentajes de testigos recuperados, en su caso, dosificaciones, presiones, absorciones y mejoras observadas en la calidad o comportamiento de los cimientos.

Especial dificultad presenta el tratamiento de los terrenos kársticos dada la indefinición de las cavernas existentes y su frecuente extensión al embalse por lo que ha de ser planificado de forma particular para cada caso.

El tratamiento de los suelos implica el empleo de técnicas específicas. Aun cuando la utilización de inyecciones sea un denominador común, puede ser conveniente la utilización de pantallas continuas, pilotes tangentes, jet-grouting y tapices impermeables para configurar la barrera de estanqueidad necesaria.

En algunas rocas de peor calidad o estabilidad precaria se utilizan anclajes activos o pasivos cuya localización es de interés para el futuro explotador de la instalación tanto para la interpretación del comportamiento como por la interferencia que pueden suponer para la realización de determinados trabajos de conservación.

9.6 Control de calidad durante la fase de construcción

Con carácter general, para todo tipo de presas, la organización o equipo encargado de la supervisión de la obra establecerá un programa de control de calidad, definiendo funciones, responsabilidades y procedimientos. Las rutinas, métodos de ensayo y criterios de aceptación serán fijados en el proyecto y deberán perfeccionarse si las circunstancias particulares lo requieren.

El control de calidad e inspección de la construcción están regulados por las especificaciones, documentos y normas establecidas en los Pliegos de Condiciones, y sus resultados deben ser documentados e incluidos en el Archivo Técnico de construcción, cuyo contenido básico se ha descrito en el apartado 6.3.

Para la construcción de las presas de hormigón hay que determinar la procedencia, cantidad y calidad de los áridos, mediante ensayos de laboratorio y estudios petrográficos.

Mención especial merece el estudio previo de la reactividad de los áridos con los álcalis del cemento, para cuyo análisis es insuficiente el empleo de la norma ASTM-C-289, que ha sido utilizada históricamente. Se hace esta observación particular por cuanto el problema de hormigones expansivos con áridos silíceos se ha puesto de manifiesto con gran generalidad a medio y largo plazo. Una mejor selección de los áridos y el empleo de aglomerantes adecuados evitarán el problema en las presas de nueva construcción.

El cemento a utilizar en la construcción de presas debe ser de gran estabilidad, con contenido mínimo de cal y magnesia libres, suficiente resistencia a largo plazo y bajo calor de fraguado. La adición de puzolanas o cenizas volantes viene a resolver esta última condición por lo que el planteamiento de su empleo está prácticamente generalizado en las presas de nueva construcción.

En el empleo de aireantes, plastificantes y aceleradores o retardadores de fraguado hay que tener la precaución de analizar su compatibilidad con el conglomerante adoptado y su influencia sobre las características del hormigón.

La dosificación en peso de los distintos componentes del hormigón ha de tener en cuenta la humedad de los áridos, añadiendo únicamente el agua necesaria para alcanzar la relación agua/cemento deseada. El mantenimiento del slump prefijado es la fórmula más efectiva para corregir el agua de amasado, por su gran influencia en dicha variable.

Para una completa información acerca de los procesos de fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón remitimos al lector al capítulo 6 de la Guía de Construcción. En ella se relacionan también los ensayos y medios de control de calidad que exigen, en las presas de alguna importancia, la existencia de un laboratorio especializado, que debe concluir su trabajo con un informe detallado de los resultados, a incluir en el Archivo Técnico de la Presa.

Los ensayos se pueden agrupar de la forma siguiente:

- Ensayos físicos y químicos del cemento y otros conglomerantes
- Ensayos físicos y químicos del agua
- Ensayos físicos, químicos y análisis petrográfico de los áridos
- Ensayos físicos, químicos y de los efectos de los aditivos
- Ensayos sobre el hormigón fresco
- Ensayos sobre el hormigón endurecido

En la misma Guía nº 6 se relacionan las normas UNE de aplicación a los ensayos descritos.

De cara al control de la explotación futura es necesaria la anotación de todas las juntas de hormigonado, incluyendo las de construcción, tanto transversales como longitudinales, con indicación de las fechas de puesta en obra de cada tongada, tipos de hormigón empleado y cualquier otro dato que pueda ser de interés para la interpretación futura de su comportamiento.

En la misma línea del párrafo anterior, se realizará la anotación cuidadosa de la posición y tipo de todos los dispositivos previstos para las inyecciones de juntas, con detalle de cada uno de los recintos. Del mismo modo se consignarán las coordenadas de los aparatos de auscultación que vayan a quedar embebidos en el cuerpo de la presa, sin olvidar el detalle del paso de cables hasta las centrales de lectura.

La construcción de presas con hormigón compactado con rodillo presenta particularidades derivadas fundamentalmente de la puesta en obra, que condiciona de forma importante su composición y consistencia. La composición de la pasta y su riqueza, junto con una cierta limitación del tamaño máximo de los áridos son premisas básicas a tener en cuenta a la hora de adoptar las soluciones definitivas, que habitualmente se verifican de forma previa en bloques de prueba.

Los problemas más habituales durante la explotación suelen estar referidos a la impermeabilidad de las retomas horizontales y a la mayor o menor dificultad existente para su corrección posterior. Por ello deberá cuidarse muy especialmente esta unión, tanto si se emplea un solo tipo de hormigón como si se recurre a tratamientos especiales del paramento de aguas arriba (empleo de hormigón vibrado, prefabricados, laminados superficiales, etc.).

La colocación de bandas de estanqueidad en todo el perímetro de las juntas transversales, incluyendo las provocadas, y en su intersección con las galerías, facilita mucho los tratamientos con inyecciones que puedan ser necesarios.

En las presas de materiales sueltos se deben distinguir los controles previos, de los materiales que se van a emplear, de los relativos a su puesta en obra. Y en ambos casos tendrán un tratamiento distinto las partes de obra diferenciadas tales como los núcleos impermeables,

filtros, drenes y espaldones, con exigencias particulares para cada una. Análogamente, en el caso de existir pantallas asfálticas, de hormigón, geomembranas o cualquier otro tipo se utilizarán las técnicas de control de calidad específicas de cada solución.

Normalmente, las condiciones que se piden en las especificaciones del proyecto a los materiales para núcleos se refieren a:

- Origen del material
- Tamaño máximo de partículas
- Mínimo que pasa por el tamiz 0,080 UNE
- Máximo que pasa por el tamiz 0,080 UNE
- Condiciones de material autoestable y relación con los filtros
- Límites de Atterberg
- Otras especificaciones (relacionadas en el punto 7.1.2 de la Guía nº 6)

Para los filtros y drenes los controles deben conducir a la comprobación de su permeabilidad y estabilidad, al objeto de asegurar la función que se les asigna, en tanto que para el cuerpo de la presa, espaldones y escolleras el diseño más económico responderá al tipo que utilice las zonas de préstamo más próximas a la presa, sin que sea necesario realizar excesivas modificaciones al material de origen. Las especificaciones habitualmente exigidas son las siguientes:

Presas de tierra:

- Origen de los materiales
- Tamaño máximo de las partículas o fragmentos de roca
- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Espesor de tongadas. Contenido de agua y densidad
- Tipo y peso del compactador
- Rellenos en contacto con la cimentación
- Ajuste del contenido de agua
- Compactación de las zonas exteriores

Presas de escollera con núcleo impermeable:

- Tamaño máximo de la escollera y espesor de tongada
- Granulometría de la escollera
- Uso de agua
- Tipo de compactador y número de pasadas
- Calidad de la roca
- Selección y colocación del material de protección de paramentos
- Material y granulometría de los filtros.

Presas de escollera con pantalla aguas arriba:

La zona de transición, situada inmediatamente debajo de la pantalla estará constituida por un material en el que se limita el tamaño máximo a unos 75 mm y suele tener de un 35 % a un 55 % en peso de partículas menores de 5 mm y entre un

5 % y un 15 % menores de 0,08 mm, con objeto de lograr una permeabilidad relativamente baja.

Atendiendo ahora al proceso de construcción de los núcleos de procedencia natural se debe prestar especial atención al dimensionamiento del rastrillo de empotramiento en el terreno cuya anchura en la base es función de la carga de agua H y de la roca de cimentación, pudiendo variar desde $0,1 H$ para rocas de baja permeabilidad y no erosionables hasta valores superiores a $1 H$, sobre suelos. Las pendientes de los taludes en zanja también deben ser más tendidas de $0,5:1$, para facilitar una buena compactación. Estos taludes deberán ser impermeables, especialmente el de aguas abajo, y en caso contrario deberá interponerse un filtro entre ellos y el material del núcleo. También es aconsejable la construcción de una galería perimetral en el cimientado, bajo el núcleo, para su control durante la fase de explotación, a la vez que posibilita la realización de trabajos correctivos.

En el transporte, extendido y compactación en presa se utilizan medios convencionales de muy distinta entidad en función de los volúmenes a realizar. Para la compactación se utilizan rodillos de pata de cabra, de neumáticos y vibratorios lisos, debiendo procurarse una humedad ligeramente superior a la óptima del ensayo Próctor Normal al objeto de reducir el riesgo de fisuración y la permeabilidad del núcleo.

En la construcción de los filtros hay que evitar la segregación de los materiales y su contaminación, especialmente por el tráfico de vehículos que los cruzan.

Para la construcción de espaldones de escollera, los más habituales, hay que considerar la procedencia del material, su tamaño máximo, su fracturación y la topografía de la cerrada y sus alrededores, que condicionará los medios de transporte a emplear. Lo más habitual es el empleo de dumpers, la extensión con tractores de empuje y su compactación con rodillos.

Si los espaldones están constituidos por tierras el tratamiento es análogo al de los núcleos aunque con tongadas de mayor espesor. En el caso de escolleras los métodos de compactación varían considerablemente en función del tipo de roca y del asiento permisible. El uso de chorros de agua a presión en la escollera gruesa suele ser recomendable aunque no es estrictamente necesario. La compactación en escolleras normalmente se lleva a cabo con rodillos vibratorios lisos, con pesos estáticos entre 10 y 12 t, con los que se pueden conseguir densidades entre $2,1$ y $2,25 \text{ t/m}^3$.

Lo expuesto está más detallado en la Guía nº 6, específica para la construcción de presas y control de calidad, en la que se tratan estos temas con la amplitud que requieren.

Con carácter general, para todo tipo de presas, se establecerá un programa específico de control de calidad para el suministro, transporte y montaje de los elementos mecánicos y demás instalaciones complementarias (comunicaciones, energía, alumbrado, accesos, etc.). Por su dificultad se deberá prestar especial atención al dimensionado y limpieza de los elementos de aireación en aliviaderos y desagües.

Del mismo modo, tiene especial interés la actuación coordinada de los constructores con los responsables futuros de la auscultación, que deberán intervenir desde la fase de proyecto. Tanto

la colocación de los distintos aparatos como su verificación previa y lectura frecuente en la fase inicial son premisas básicas para su utilización e interpretación posterior.

La auscultación debe ser iniciada durante la fase de construcción, contrastando las lecturas automáticas con las obtenidas de forma directa. El reflejo de los valores más notables en gráficos sinópticos permite enjuiciar de forma fácil y continua el comportamiento de la presa y sus cimientos.

Como indica el artículo 30 del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, previamente a la entrada en servicio de un embalse, el titular deberá disponer la incorporación al Archivo Técnico de la Memoria de Construcción, que deberá incluir la información suficiente sobre las obras realmente ejecutadas, así como de aquellas incidencias acaecidas durante la misma que puedan influir en el comportamiento y seguridad futura de la presa.

9.7 Medidas preventivas

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de una presa se tomarán las medidas preventivas adecuadas para posibles situaciones de emergencia. El plan se hará conjuntamente por el propietario, el proyectista y el constructor y deberá incluir:

- La definición de las situaciones de emergencia y seguridad en el trabajo propias del emplazamiento de las obras.
- Riesgos y situaciones derivados de las actividades de construcción y que supongan una amenaza a terceros.
- Situaciones catastróficas derivadas de siniestros naturales (causas de fuerza mayor).
- Situaciones excepcionales producidas por motines, huelgas, sabotajes u otras acciones violentas.

Además de las instrucciones de actuación, tales como avisos, planes de evacuación, utilización de equipos de emergencia, etc., el plan deberá contener una definición clara de los niveles de autoridad y de decisión que regirán en tales situaciones.

Las instrucciones detalladas de emergencia, redactadas en un lenguaje sencillo y de fácil comprensión, serán distribuidas en cada equipo y unidad de trabajo de modo que se encuentren siempre disponibles. El personal asignado a operaciones de emergencia debe ser sometido a una formación y entrenamiento adecuados.

El propietario y el contratista, con ayuda del organismo público si procede, establecerán conjuntamente un plan fiable de vigilancia mediante el cual se obtenga información inmediata sobre crecidas que se presenten aguas arriba, o cuya evolución sea previsible, a fin de tomar las precauciones necesarias lo antes posible.

9.8 Trabajos importantes y reparaciones menores.

Todos los trabajos de ampliación, modificación o reparación de presas y embalses existentes, que por su importancia requieren la actuación de equipos y medios propios de una gran obra deben estar regulados por los mismos criterios descritos para la fase de construcción.

Se adoptarán cuidados especiales para proteger las instalaciones existentes de posibles riesgos y daños resultantes de las nuevas obras, tales como voladuras, excavaciones, etc.

Si los trabajos requieren el vaciado del embalse deberá informarse de ello al organismo público competente, recabando su autorización.

Las pequeñas reparaciones estarán reguladas, en lo que se refiere a requisitos de seguridad, por las normas técnicas en vigor, las directrices de Seguridad y Salud Laboral y los criterios particulares que se consideren oportunos, todo ello de forma proporcionada a la importancia de los trabajos a realizar.

Si las reparaciones han sido necesarias para restaurar la seguridad operativa el organismo o entidad pública deberá aprobar el trabajo realizado.

10.

RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE PUESTA EN CARGA

10.1. Exigencias legales

El Reglamento contempla, por primera vez, la puesta en carga como una fase independiente de las de construcción y explotación, en contraste con la Instrucción de 1967 que la incluía dentro del período de construcción, aun cuando se podía dar el caso de la recepción definitiva de las obras continuando el Servicio de Explotación el proceso de puesta en carga hasta el total llenado del embalse.

La nueva reglamentación recoge en su artículo 28 las disposiciones relativas a esta fase, con el siguiente tenor:

Artículo 28.- Puesta en carga.

28.1 Para la ejecución de la fase de puesta en carga de una presa, el titular de la misma designará un equipo técnico, dirigido por un Técnico competente, que será encargado de redactar el programa de puesta en carga y desarrollar sus contenidos.

La Administración, en el ejercicio de las funciones de vigilancia e inspección de presas, aprobará el programa de puesta en carga con las modificaciones que estime oportunas.

28.2 La puesta en carga podrá ser total o parcial y con las obras terminadas o sin terminar, debiendo analizarse todas estas posibilidades en el precitado programa.

Si la puesta en carga de la presa sobreviniera, total o parcialmente, antes de que las obras estén terminadas, o por casos de fuerza mayor, sin que el equipo técnico específico de esta fase estuviera designado, será el equipo de construcción y su director quienes estarán encargados del control de la puesta en carga.

28.3 *El programa de puesta en carga, independientemente que ésta sea total o parcial, comprenderá, al menos, los siguientes aspectos:*

- *Evolución probable del nivel de embalse.*
- *Escalones voluntarios en el nivel de embalse que permitan la observación del comportamiento de la presa y su cimientto.*
- *Máximos ritmos recomendables en las variaciones de nivel de embalse.*
- *Comportamiento de los órganos de desagüe en relación con su capacidad para controlar los niveles en el embalse.*
- *Comprobaciones y observaciones a realizar durante el proceso.*
- *Caracterización de las situaciones extraordinarias previsibles y estrategias y actuaciones a desarrollar en estos casos.*

28.4 *El titular comunicará a la Administración todas las incidencias que se produzcan a lo largo del proceso de puesta en carga de la presa.*

El equipo técnico redactará una memoria del desarrollo de esta fase que se incorporará, junto con el programa de puesta en carga, al Archivo Técnico de la presa.

10.2 Equipo responsable

Como se indica en el artículo 28.1, el titular de la presa se responsabilizará de la seguridad durante esta fase y en consecuencia deberá disponer de los medios para satisfacer tal exigencia, designando un equipo dirigido por un Técnico competente que estará encargado de redactar y seguir el programa de llenado del embalse, garantizando la continuidad en la dirección del proceso y el adecuado traspaso de funciones, que se formalizará documentalmente. (art. 25.2). No obstante lo anterior, en el artículo 28.2 se contempla la posibilidad de que sea el equipo de construcción y su director los encargados de esta fase, por causas de fuerza mayor. En este caso se cuenta con la aportación positiva del conocimiento de las obras, que puede ser de gran utilidad a la hora de interpretar su comportamiento.

En el caso de que el Director de la puesta en carga sea diferente al de construcción, el primero recibirá formalmente toda la información documentada en el Archivo Técnico y sería aconsejable se designase como tal al futuro Director de explotación, aun cuando el equipo asignado sea ligeramente diferente en una u otra circunstancia.

10.3 Planificación del llenado del embalse

Las operaciones de llenado no deben ser iniciadas sin la autorización del organismo o autoridad pública competente y estarán precedidas por la terminación de los trabajos previstos en la zona inundable, de acuerdo con las especificaciones de diseño, de seguridad y medioambientales. Del mismo modo, será exigible la implantación del Plan de Emergencia de acuerdo con la normativa en vigor.

La Administración podrá introducir las modificaciones que estime oportunas en el programa de puesta en carga, cuyo contenido deberá considerar los siguientes aspectos:

- Se planificará un ritmo teórico de elevación del nivel del embalse de forma que se pueda seguir de forma adecuada la evolución de las variables a controlar. Para ello el proceso será lento, aumentando las precauciones en niveles altos. La posibilidad de esta ley se basará en la evolución probable de los caudales entrantes al embalse y en la disponibilidad y capacidad de los órganos de desagüe que controlan su evolución.

Se deberán establecer limitaciones a la velocidad de llenado de cada tramo, procurando que sea sensiblemente uniforme. Estas velocidades habrán de ser decrecientes con el aumento del nivel del embalse, dada su mayor repercusión en el empuje hidrostático.

También deberán establecerse escalones, con estabilización de la cota de embalse, que permitan la realización de observaciones generales del comportamiento de la presa y su cimiento, analizando a la vez la evolución bajo carga sostenida y la influencia de las variaciones de temperatura. El número de escalones no será excesivo ni su duración tendrá que superar la de los días necesarios para el análisis del comportamiento de la presa, salvo que del mismo o por otras circunstancias se determine su mantenimiento. Se estima que cuatro o cinco niveles de control pueden ser suficientes en una presa de dimensiones medias. En todo el proceso son admisibles, cuando no obligadas, ligeras variaciones de la evolución programada, que lógicamente se tendrán en cuenta al analizar el comportamiento.

- El plan de puesta en carga contendrá la relación de las observaciones y mediciones a realizar, con indicación de su frecuencia, así como la organización del proceso hasta el análisis de los resultados. Si se prevé sismicidad inducida por el embalse el sistema sismográfico debe estar instalado con la suficiente antelación y en funcionamiento.
- Una observación general antes de iniciar la puesta en carga servirá como referencia de partida para los posteriores controles. Especial interés tienen las nivelaciones de las galerías inferiores y cimientos de la presa, que pondrán de manifiesto el efecto del llenado del embalse. Estas mediciones, poco usuales, deben iniciarse en la fase de construcción a fin de observar también el efecto del peso propio, y sus valores son muy significativos por cuanto no están muy afectados por los fenómenos térmicos ni por el efecto multiplicador de la estructura, en cotas más altas.
- Se analizará la operatividad de los órganos de desagüe utilizables en cada situación del embalse, y su capacidad de control en todas las circunstancias previsibles, disponiendo la organización del personal necesario y las garantías en el suministro de energía con los mismos criterios exigibles en la fase de explotación.
- El cierre del desvío del río en épocas de aguas altas puede dar lugar a una cierta incapacidad de control del llenado del embalse por insuficiencia de los desagües profundos. Estas circunstancias deben ser contempladas previamente al objeto de evitar situaciones irreversibles, con el consiguiente riesgo.

10.4 Seguimiento del proceso de puesta en carga.

El equipo responsable de la puesta en carga conocerá la información contenida en el Archivo Técnico, prestando especial atención a las singularidades observadas durante la fase de construcción. También será útil que los responsables del proyecto conozcan la evolución del proceso de puesta en carga y colaboren en los casos particulares que así lo requieran.

Aunque se caractericen las situaciones extraordinarias y las estrategias o actuaciones a llevar a cabo en su caso, el proceso puede conducir a situaciones no previstas que pueden ser, incluso, resultado de la simultaneidad de hechos que por sí solos carecerían de importancia, lo que determina la necesidad de un seguimiento continuo y el disponer de una capacidad de respuesta en el menor plazo posible, pudiendo considerarse como característico de esta fase un estado de especial atención.

El personal encargado de las inspecciones visuales deberá cumplimentar siempre un listado preestablecido que recoja todos los puntos de atención, añadiendo al mismo cualquier anomalía observada que no estuviera incluida. Estos trabajos requieren accesos fáciles y una iluminación adecuada tanto de las galerías como del exterior de la presa y estribos.

Hay que insistir en la importancia de las inspecciones visuales durante todo el proceso de llenado, siendo aconsejable una periodicidad diaria.

En los paramentos vistos de una presa de fábrica pueden aparecer fisuras o filtraciones, en tanto que la coronación puede presentar desalineaciones o asientos entre bloques. En las galerías se examinarán las juntas de construcción, observando su estanqueidad y movimientos. Aguas abajo se vigilará la aparición de filtraciones en el terreno, incluyendo la posibilidad de manantiales relativamente alejados del embalse pero relacionados con él.

En las presas de materiales sueltos se observarán posibles agrietamientos, fugas, humedades, asientos, desalineaciones, surgencias en el terreno natural y el crecimiento especial de vegetación que ponga de manifiesto la humedad de alguna zona.

En cuanto al embalse cabe la posibilidad de deslizamientos en las laderas, sumideros o afecciones a obras auxiliares.

Los croquis y fotografías son de gran utilidad para la comparación temporal de la evolución de un hecho visible.

La auscultación propiamente dicha proporciona en unos casos información de utilización inmediata (filtraciones, subpresiones y péndulos) en tanto que otros sistemas requieren una elaboración algo más compleja de las mediciones (topografía, extensometría, etc.).

Desde el punto de vista práctico es de gran utilidad el seguimiento de gráficos sinópticos que reflejen la evolución interrelacionada de las variables más representativas, que se mantendrán actualizadas de forma continua. Estas variables incluyen la evolución del embalse y de las temperaturas, el péndulo más representativo, las filtraciones totales o por tramos y la medida de las subpresiones en un perfil crítico, pudiendo añadirse otras observaciones de interés particular.

En ocasiones puede ser necesaria la puesta en práctica de alguna actuación correctiva que implique la interrupción del llenado o un vaciado parcial. El cimiento es uno de los elementos que más frecuentemente necesita tratamientos complementarios, para lo que es de gran utilidad la información del terreno recogida en las fases de proyecto y construcción.

El Director de la puesta en carga deberá tener la suficiente autoridad para tomar decisiones inaplazables como respuesta a situaciones extraordinarias. Del mismo modo, todas las incidencias remarcables, y sus soluciones, deberán ser puestas en conocimiento de la Administración.

La experiencia extraída del comportamiento de presas análogas constituye una pauta adecuada para el establecimiento de un plan de puesta en carga y para las actuaciones subsiguientes.

Circunstancias especiales, naturales, técnicas o administrativas, pueden conducir a que la fase de puesta en carga se prolongue considerablemente, determinando etapas bien diferenciadas cuyo seguimiento estará sujeto a las mismas exigencias descritas.

La situación contraria puede ser provocada por aportaciones que excedan la capacidad de control de los órganos de desagüe, al menos hasta alcanzar los umbrales de los aliviaderos principales. Una programación adecuada debe tratar de evitar estas situaciones, que pueden suponer un riesgo adicional importante.

La puesta en carga de la presa se completará con las pruebas de los órganos de desagüe, siquiera con aperturas parciales, comprobando su disponibilidad y correcto funcionamiento.

Terminado el proceso de puesta en carga, el equipo técnico redactará una memoria de su desarrollo, comparando el programa inicial con la realidad de los hechos y que incluirá todas las incidencias y actuaciones correctoras realizadas, y programadas, como consecuencia del comportamiento observado. Dicha memoria se incorporará al Archivo Técnico y será remitida a la Administración para su conocimiento y como exigencia previa a la entrada en explotación del embalse.

11.

RECOMENDACIONES PARA LA FASE DE EXPLOTACIÓN

11.1 La explotación y la seguridad

Realmente, las afecciones a la seguridad de una presa comienzan en la fase de construcción pero su limitada duración implica normalmente una menor atención derivada también de la ausencia de cargas exteriores importantes. Es por ello que la fase de explotación, de duración indefinida, requiere el establecimiento de requisitos de seguridad permanentes, unos de carácter sistemático y otros que podríamos llamar extraordinarios por su menor frecuencia y mayor intensidad (inspecciones periódicas y trabajos correctivos).

El artículo 29 del Reglamento establece la responsabilidad del titular con el siguiente contenido:

Artículo 29.- La explotación y la seguridad.

29.1. La fase de explotación constituye la finalidad de la presa, por lo que las condiciones en que ésta vaya a realizarse deben tenerse presentes en todas las fases anteriores.

29.2. El titular de la presa como responsable de su seguridad, de la del embalse y de los efectos que ambos puedan producir en el cauce, deberá disponer lo necesario para que las funciones del equipo encargado de la seguridad en la fase de explotación queden perfectamente definidas, previendo las acciones oportunas y determinando las prioridades de objetivos e intereses en el caso que pudiera presentarse una colisión entre las exigencias de la seguridad y las conveniencias de explotación.

29.3. Durante la fase de explotación, el titular adoptará las medidas pertinentes para detectar y corregir eventuales defectos anteriores o deterioros producidos por la edad, así como para incorporar las que fueran aconsejables debido a innovaciones tecnológicas, para lo cual deberá realizar una observación e interpretación constante del comportamiento de la presa.

Consecuentemente con lo legislado, el titular deberá disponer los medios humanos y materiales que exija el mantenimiento de las condiciones de seguridad, con carácter prioritario.

En el caso de que la explotación de la presa sea cedida a otra persona, física o jurídica, el cesionario asumirá las obligaciones del titular, si bien éste será responsable subsidiario de la seguridad de aquélla. (art. 4.1 del Reglamento).

En algunos casos el equipo responsable de la seguridad no coincide con el encargado de la explotación del aprovechamiento para el uso que lo motiva, debiendo prevalecer los criterios del primero si hay colisión de intereses.

La solvencia técnica y económica del titular es una exigencia de cara a la explotación segura de una presa y su defecto debe de estar cubierto de algún modo por razones de interés público.

El equipo responsable de la seguridad ha de tener un conocimiento profundo de las instalaciones, especialmente de los hechos diferenciales que las caracterizan, y ser depositario del conocimiento histórico de las mismas y en especial de los incidentes acaecidos. La continuidad de estos conocimientos ha de estar asegurada documentalmente en el Archivo Técnico.

La creciente importancia y complejidad de estos trabajos conduce a la necesidad de equipos especializados, con los conocimientos, dedicación, experiencia y continuidad necesarios, siendo recomendable su jerarquía sobre un conjunto de presas por cuanto proporciona un cúmulo de información que permite comparar comportamientos y adquirir con ello el conocimiento de lo que podría denominarse “orden de magnitud de la normalidad”.

Los equipos responsables de las presas, conocedores de las instalaciones y después de las inspecciones, reconocimientos y auscultación necesarios, han de concluir de algún modo el grado de seguridad de cada una de ellas, entendiendo por tal el margen que separa las condiciones reales de las que conducen al deterioro o destrucción.

La dificultad de cuantificar numéricamente todos los aspectos de la seguridad de una presa es grande. Por otra parte, las exigencias serán mayores si puede producir daños importantes o pérdida de vidas humanas. El intento de evaluación matemática del riesgo, aplicable a algunos aspectos parciales (avenidas, sismicidad, resistencia de materiales, etc.) es difícilmente extrapolable a la globalidad de la presa, que puede estar afectada de formas muy diversas por las actuaciones humanas. Es por ello que los sistemas de vigilancia y la existencia de un equipo responsable eficaz, son factores decisivos para la seguridad.

Los equipos responsables de la seguridad deben reunir unas condiciones de meticulosidad y constancia que en muchos casos no están debidamente motivadas. Al mismo tiempo, el técnico responsable, aun con una formación integral adecuada, debe ser consciente de sus propias limitaciones, trabajar en equipo y solicitar de los especialistas las colaboraciones oportunas.

El equipo responsable de la explotación deberá estar claramente definido y contar con las instrucciones precisas para el desempeño de las funciones individuales, de cuya importancia deben ser conscientes.

También se deberá tener en cuenta que la progresión tecnológica aporta cada día nuevos recursos que habrán de ser aplicados al análisis y mejora de la seguridad, pudiendo derivarse de los mismos actuaciones físicas o estructurales que perfeccionen la situación anterior.

11.2 Comienzo de la explotación

El Reglamento determina las exigencias previas para el inicio de la explotación de un embalse, tendentes todas ellas a garantizar la seguridad en esta fase.

Artículo 30.- Comienzo de la explotación.

30.1 Previamente a la entrada en servicio de un embalse, el titular de la presa deberá:

- a) Designar el equipo encargado de la explotación de la presa, así como al Director de explotación de la misma, que deberá ser un Técnico competente. El Director de explotación desempeñará asimismo la dirección de los equipos de seguridad en el caso que éstos estuvieran diferenciados.*
- b) Disponer la incorporación al Archivo Técnico de la Presa de la Memoria de Construcción, que deberá incluir la información suficiente sobre las obras realmente ejecutadas, así como de aquellas incidencias acaecidas durante la misma que puedan influir en el comportamiento y seguridad futura de la presa.*
- c) Disponer igualmente la incorporación al Archivo Técnico de la presa de la Memoria de la puesta en carga, así como de los resultados habidos en esta fase.*
- d) Tener aprobado y adecuadamente implantado el correspondiente Plan de Emergencia de la Presa, en aquellas que en función de su riesgo potencial hayan sido clasificadas en los grupos A o B.*

30.2 La entrada en explotación del embalse, una vez finalizada la fase de puesta en carga de la presa, deberá ser aprobada expresamente por el organismo competente. Dicha aprobación podrá ser provisional, con vigencia temporal limitada, o definitiva.

30.3 Excepcionalmente, la explotación del embalse podrá comenzar sin haber finalizado la fase de puesta en carga. En este caso, el Director de explotación será también el Director de puesta en carga.

30.4 El titular deberá disponer de unas Normas de Explotación, que incluirán necesariamente las de Seguridad para la presa y el embalse, y que, como mínimo, deberán contener los siguientes extremos :

- Programa normal de embalses y desembalses.*
- Resguardos mínimos estacionales.*
- Actuaciones específicas en caso de avenidas.*
- Programa de auscultación e inspecciones periódicas.*
- Programas de mantenimiento y conservación.*
- Sistemas de preaviso en desembalses normales.*

- *Estrategia a seguir en situaciones extraordinarias.*
- *Sistemas de alarma.*

Las Normas de Explotación podrán sufrir modificaciones a lo largo del tiempo en función de la experiencia que se vaya obteniendo en la fase de explotación o debido a cambios sustanciales del entorno. En ningún caso esta modificación supondrá una disminución de los niveles de seguridad preexistentes.

Todas las Normas de Explotación quedarán incorporadas al Archivo Técnico de la presa.

Parece conveniente insistir en la necesidad de que el Director de explotación, en el sentido dado por el Reglamento, ha de ser necesariamente el responsable de los equipos de seguridad, con independencia de los objetivos económicos de la presa o embalse, que habrán de ser compatibles con las exigencias que se determinen, aun cuando lógicamente se trate de optimizar el conjunto con criterios aceptables.

En ningún caso deberá producirse un vacío en la dirección del equipo técnico. El titular garantizará su continuidad y el adecuado traspaso de funciones tanto entre fases distintas como dentro de cada una. Este traspaso se realizará formalmente, comunicándolo a la Administración.

Otras obligaciones del titular derivadas del artículo 5.3 del Reglamento (ver apartado 6.1) consisten en promover las inspecciones periódicas para verificar el estado real, la auscultación sistemática, reflejada en informes periódicos, y la comunicación de los episodios excepcionales o circunstancias anómalas, promoviendo su estudio y procediendo a las reparaciones necesarias.

Las inspecciones y mediciones sobre el conjunto presa-cimiento y su entorno, junto con la constatación del buen dimensionamiento y operatividad de los órganos de desagüe y una adecuada explotación del embalse, son fundamentos básicos de la seguridad.

El intercambio de información entre presas de una misma cuenca, y su explotación coordinada, es especialmente útil con ocasión de avenidas extraordinarias.

En el caso de ríos fronterizos se adoptarán medidas de seguridad semejantes, que tendrán en cuenta lo establecido en los convenios internacionales.

La entrada en explotación del embalse requiere la incorporación al Archivo Técnico de la Memoria de construcción, de la Memoria de la puesta en carga y el tener aprobado e implantado el Plan de Emergencia (para las presas clasificadas en las categorías A y B). El contenido de estos documentos ya ha sido comentado en capítulos anteriores de esta Guía. En todos los casos, el comienzo de la fase de explotación ha de estar autorizado expresamente por el organismo competente, bien de forma provisional, temporal o definitiva.

11.3 Contenido de las Normas de Explotación

El documento que deberá presidir todas las actuaciones con repercusión en la seguridad de presa y embalse está constituido por las Normas de Explotación, cuyo contenido mínimo,

descrito en el artículo 30 del Reglamento, difiere ligeramente del relacionado en el artículo 5.7, por lo que se considera obligatorio el cumplimiento de ambos, para todas las presas incluidas en su ámbito. Quedan excluidas las presas de titularidad no estatal con concesión anterior a la entrada en vigor del Reglamento, en tanto no se generalice a las mismas la nueva normativa, debiendo regirse por la Instrucción de 1967 todavía vigente.

La obligación de enviar estas Normas a la Administración, para su aprobación si procede, se deduce indirectamente del artículo 6.1 de Reglamento, relativo a la Vigilancia e Inspección de presas, que tiene entre otros cometidos el de informar y proponer al organismo competente la aprobación de las Normas de Explotación.

Estas Normas serán perfeccionables en función de las experiencias adquiridas durante la explotación o debido a cambios sustanciales del entorno, sin que en ningún caso las modificaciones supongan una disminución de los niveles de seguridad preexistentes.

Es importante precisar que las Normas deberán incluir las disposiciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento y la seguridad de la presa, tanto en condiciones normales como en las extraordinarias que fueren previsibles, a lo que hay que añadir la inclusión de los Planes de Emergencia, prescrita en el apartado 5.7 del Reglamento, para las presas clasificadas en las Categorías A o B.

Por el contrario, los programas de explotación del embalse de cara a la consecución de los objetivos propuestos (regulación, abastecimientos, regadíos, electricidad, etc.) aunque forman parte de estas Normas y deberán tenerse en cuenta para la optimización del conjunto, habrán de estar supeditados en todo momento a las medidas de seguridad necesarias. La conveniencia de disponer de unas Normas de Explotación, concretas, concisas y completas, aconseja el tratamiento de ambos conceptos de forma coordinada, pero en lo que sigue se abordarán únicamente los aspectos relacionados con la seguridad.

Las Normas de Explotación definitivas habrán de ser redactadas una vez estudiado el correspondiente Proyecto y el Archivo Técnico de Construcción, contemplando a la vez la finalidad del embalse y el contenido del Plan de Emergencia, evitando descripciones repetitivas e incompatibilidades entre los distintos documentos.

Una relación no exhaustiva del contenido de las Normas de Explotación podría ser la siguiente:

- Organización del personal que participa en la explotación
- Materiales y medios auxiliares relacionados con la seguridad de la presa
- Observaciones meteorológicas
- Registro y vigilancia de los niveles de embalse
- Aportaciones al embalse y volúmenes desagüados
- Programa normal de embalses y desembalses

- Niveles máximos y mínimos para cada época del año. Resguardos convenientes
- Velocidad de variación del nivel del embalse
- Consignas de actuación en presencia de avenidas
- Operación y mantenimiento de los órganos de desagüe
- Precauciones y aviso de riesgos aguas abajo. Sistemas de alarma
- Conservación de la obra civil de la presa y demás instalaciones
- Inspección, vigilancia y auscultación de la presa y su entorno
- Inspecciones periódicas
- Otros aspectos relacionados con la seguridad

Una vez redactadas y aprobadas, las Normas deben tener el carácter de mínimos de obligado cumplimiento, de lo que será responsable el equipo técnico de explotación.

Aun cuando las Normas de Explotación podrán sufrir modificaciones a lo largo del tiempo, no es conveniente su alteración frecuente o por motivos de escasa importancia, lo que puede conducir a errores o confusiones que conviene evitar. Por ello se recomienda que el Director de explotación disponga de una relación de copias controladas que serán sustituidas por las versiones sucesivas, previa aprobación oficial. Paralelamente se examinará la validez del Plan de Emergencia que, aunque se integra dentro de las Normas de Explotación, sigue una tramitación independiente.

Tanto las Normas como los resultados de su aplicación se incorporarán al Archivo Técnico, conforme a lo exigido en los artículos 5.5 y 5.7 del Reglamento.

Para las presas de titularidad no estatal, anteriores al Reglamento, es aplicable la Instrucción de 1967 cuyos artículos se inscriben íntegramente en el contenido propuesto, con menor detalle. Las únicas diferencias proceden de la limitación del NMN del embalse hasta que todas las compuertas estén completamente abiertas y de la inclusión del Plan de Emergencia, entonces inexistente. Se propone que, a pesar de no ser obligatorio el Reglamento, las Normas que se redacten en lo sucesivo tengan en cuenta su contenido, convergiendo hacia un modelo único.

11.3.1 Organización del personal

Debe establecerse el personal asignado a las distintas funciones de la explotación, que habrá de contar con las instrucciones que le incumben. Estas instrucciones han de inscribirse en su totalidad dentro del contexto de las Normas de Explotación, aun cuando pueden ser más detalladas y restrictivas, como medida de seguridad adicional.

En el Plan de Emergencia, deberán relacionarse también los refuerzos externos a utilizar en caso necesario.

Todo lo anterior ha de estar referido a las actuaciones concretas que se desarrollan en los apartados siguientes.

11.3.2 Materiales y medios auxiliares relacionados con la seguridad de la presa

Aunque no parece obligada su relación concreta dentro de las Normas se exige en los Planes de Emergencia y no debe olvidarse este concepto por cuanto puede ser indispensable para llevar a cabo las actuaciones previstas. Es aconsejable la existencia de una relación de los medios necesarios, con indicación de su situación y disponibilidad. Como tales se pueden considerar los combustibles, grupos electrógenos portátiles si los hubiere, repuestos, consumibles, maquinaria de elevación, vehículos o cualquier otro elemento que se juzgue necesario para la explotación segura de la presa.

11.3.3 Observaciones meteorológicas

La medida de precipitaciones y temperaturas en el emplazamiento de la presa es de gran interés para la correcta interpretación de los resultados de la auscultación, especialmente en lo que atañe a las filtraciones, subpresiones y deformación de las estructuras. La temperatura del agua del embalse a distintas profundidades, el grado de humedad y la evapotranspiración del embalse son otras variables de posible consideración.

Se indicará el tipo de aparatos utilizados, siendo preferibles los de registro continuo, y el modo y frecuencia de las medidas realizadas.

11.3.4 Registro y vigilancia de los niveles de embalse

Se consignarán los niveles mínimos de explotación, máximo normal y los correspondientes a las avenidas de proyecto y avenida extrema, así como el modo y frecuencia de las medidas a realizar.

Es tradicional la existencia de una escala física en la presa, o en sus inmediaciones, que permite la observación directa de la cota de embalse y el contraste con otras mediciones del mismo parámetro. La medida continua de los niveles de embalse utilizando limnímetros registradores se sustituye actualmente por sistemas más sofisticados, de diversos tipos, con lectura directa o programable y registro automático por ordenador. Estas técnicas permiten conocer a distancia, desde puestos de control centralizados, la situación del embalse en cada instante y almacenar la información registrada para su utilización en otros procesos.

11.3.5 Aportaciones al embalse y volúmenes desaguados

Con independencia del conocimiento estadístico de las aportaciones y vertidos, estos datos son de gran interés para la gestión de las avenidas. Su conocimiento se deriva de forma casi inmediata de:

- a) Las variaciones resultantes en el embalse deducidas de las variaciones de nivel, utilizando para ello las tablas o curvas de volúmenes en función de la cota.

- b) Volúmenes vertidos a través de las tomas, determinados mediante aforos directos, posicionamiento de compuertas, producción de electricidad, o cualquier otro sistema que asocie los consumos con la cota de embalse.
- c) Caudales vertidos a través de los órganos de desagüe : aliviaderos y desagües profundos, deducidos de los correspondientes ábacos de gasto en función de sus aperturas y de la cota de embalse.

Para la realización de estos balances es necesaria la anotación de todos los movimientos de compuertas y válvulas, con indicación temporal de las sucesivas posiciones, archivando los registros resultantes para la realización de los cálculos. En bastantes casos este proceso está informatizado y proporciona los resultados de forma instantánea.

En la Instrucción se exigen, entre otros, un registro diario de niveles de embalse, las aportaciones diarias en épocas normales y el registro de caudales, cada dos horas, durante las avenidas. Fácilmente se comprende que estos valores pueden ser insuficientes y debe adoptarse un método que permita el seguimiento continuo de las aportaciones y vertidos, aun cuando el proceso de cálculo en tiempo real se limite a los periodos en que tal información sea necesaria.

11.3.6 Programa normal de embalses y desembalses

Esta exigencia del artículo 30.4 del Reglamento es una novedad respecto a la Instrucción de 1967, que puede estar relacionada con los resguardos estacionales necesarios en algunos casos. En principio, constituye un elemento atípico orientado a la mejor consecución del aprovechamiento del embalse.

El artículo 45.1 del Reglamento de la Administración Pública del Agua determina que “corresponde a la Comisión de Desembalses deliberar y formular propuestas al Presidente del Organismo sobre el régimen adecuado de llenado y vaciado de los embalses y acuíferos de la cuenca, atendidos los derechos concesionales de los distintos usuarios”. En consecuencia, el programa normal de embalses y desembalses que el titular debe incluir en las Normas de Explotación, será el derivado de las limitaciones impuestas por la Junta de Explotación y Comisión de Desembalse, solamente en los casos que proceda, y cabe suponer que afectará mayoritariamente a las presas de titularidad pública.

11.3.7 Niveles máximos y mínimos para cada época del año. Resguardos convenientes

La consideración de valores mínimos está ligada al programa de embalses y desembalses, como garantía para satisfacer la demanda o por otro tipo de exigencias: mínimo técnico de explotación, calidad del agua, presencia de lodos, vida piscícola, etc.

El establecimiento de niveles de resguardo está contemplado en el artículo 5.7 del Reglamento para las épocas con riesgo de avenidas, en tanto que el artículo 30.4 se refiere a resguardos mínimos estacionales. Se interpreta que ambos planteamientos tienen el objetivo común de laminar las avenidas, bien para aumentar la seguridad de la presa o bien para reducir las afecciones aguas abajo de la misma.

El establecimiento de estos resguardos ha de ser el resultado del adecuado equilibrio entre las pérdidas que inducen, al disminuir la garantía de satisfacer las demandas, y los beneficios de la laminación, todo ello susceptible de estudios estadísticos para las distintas épocas del año.

Para ponderar adecuadamente este balance es necesario analizar cualitativa y cuantitativamente cada una de las variables al objeto de dar la solución más adecuada al conjunto de exigencias, cuya satisfacción será, en gran parte de los casos, parcial.

El tamaño del embalse potencia lógicamente la repercusión de los resguardos, y la capacidad de las tomas y desagües posibilita también, en mayor o menor grado, la realización de vaciados previos a la aparición de una avenida, evitando o reduciendo la permanencia continua del embalse en un nivel bajo. Esto es especialmente útil en embalses de pequeño volumen para los que se pueden programar niveles decrecientes en función de los caudales de aportación reales o previsibles. La transcendencia económica en estos casos es reducida por cuanto se puede aprovechar la fase de descenso de la avenida para restituir la situación de embalse lleno.

Como conclusión, el establecimiento de resguardos adicionales se basará siempre en estudios previos, con especial atención al aspecto que se pretende mejorar, que en ocasiones puede ser crítico, tal es el caso de una cierta insuficiencia en la capacidad de evacuación de los aliviaderos, la garantía de un suministro o la producción de daños aguas abajo.

Por el contrario, en presas bien dimensionadas y sin problemas propios ni inducidos, puede ser innecesario el establecimiento de resguardos adicionales. Si por mayor seguridad el titular decide adoptar alguno como medida precautoria ante alguna posible deficiencia de la operación, puede indicarlo en las Normas con las matizaciones que sean necesarias.

La existencia de resguardos en grandes embalses supone una colaboración inestimable a la gestión de una cuenca que, habitualmente, no se valora de forma adecuada.

En todos los casos, y con independencia de lo descrito anteriormente, debe comprobarse que los resguardos establecidos en la presa y tratados en el capítulo 7.2 de esta Guía, son suficientes para su explotación segura. En caso contrario deberá plantearse el aumento de la capacidad de los aliviaderos.

11.3.8 Velocidad de variación del nivel del embalse

Esta limitación es especialmente aplicable al descenso del embalse si existen riesgos de inestabilidad en las laderas y en el caso de presas de materiales sueltos, para dar tiempo al drenaje de las zonas saturadas por los niveles freáticos. Es relativamente frecuente también la existencia de carreteras o ferrocarriles sobre terraplenes parcialmente sumergidos en los que puede surgir el mismo problema descrito.

Si se procede al vaciado del embalse, con aportaciones reducidas, conviene hacerlo de forma lenta o con paradas temporales de modo que se enriquezca el contenido de oxígeno y se eliminen de forma gradual los gases que eventualmente se puedan desprender de la materia orgánica de los sedimentos al disminuir la presión sobre los mismos.

11.3.9 Consignas de actuación en presencia de avenidas

La gestión de las avenidas se basará en la previsión de las aportaciones, atendiendo a la seguridad de la presa y los daños que eventualmente se puedan producir aguas abajo de la misma, y cuenta como únicas variables de gestión con la operación de los órganos de desagüe (con abstracción de los consumos industriales, regadíos, etc., que son limitados e inseguros) y el volumen del embalse.

Es de gran interés el disponer de una previsión anticipada de la evolución de las avenidas, su duración y caudales de puntas. Para ello se cuenta con la previsión meteorológica general, con la información de las precipitaciones en la cuenca, el conocimiento, en su caso, de la nieve acumulada y con la información procedente de las instalaciones de aforo o de otras presas y embalses situados aguas arriba. Si existe un modelo de predicción ha de ser rápido y las comunicaciones entre el centro de decisión y los de información fiables y redundantes, para garantizar su eficacia.

En cualquier caso debe existir un programa previsto para la gestión aislada de las avenidas que fije las actuaciones necesarias en función de la evolución de la cota de embalse. El responsable de la explotación local deberá asegurar el cumplimiento de estas exigencias mínimas.

En pequeños embalses de cabecera situados en cuencas con tiempos de concentración muy reducidos es aconsejable la disposición de aliviaderos sin compuertas, o la automatización parcial o total de las existentes, para hacer frente a aumentos muy rápidos de los caudales de aportación.

Los modelos de gestión de las avenidas han de tener en cuenta también la situación del cauce aguas abajo de la presa, en previsión de los daños que se puedan producir. En principio, la maniobra de los órganos de control no deberá dar lugar a caudales desagüados que originen daños superiores a los que se podrían producir naturalmente sin la existencia del embalse, cuidando también que en el entorno de la presa no se altere la capacidad de evacuación del cauce necesaria para su explotación normal.

El tramo de río situado aguas abajo de la presa debe ser inspeccionado periódicamente y proceder a la retirada de residuos o vegetación que haya podido desarrollarse afectando a la evacuación eficaz de las crecidas.

Un problema grave es el derivado de la invasión de los cauces de avenidas por actividades humanas, incluso residenciales o industriales, en la creencia errónea de que su ausencia durante largos periodos de tiempo, originada por la regulación del embalse, tiene carácter definitivo. Los organismos facultados por la Administración deberán poner el máximo cuidado para evitar estas situaciones conflictivas. En estos casos se suele obligar al titular de la presa a fijar niveles de resguardo no previstos en la concesión, con grave repercusión económica, y es frecuente en presas con compuertas la limitación de los vertidos a valores tolerables sobreelevando el embalse por encima de su nivel máximo normal. Pero se comprende que esta estrategia sólo es válida para determinados hidrogramas con caudales y/o duraciones limitados.

Es habitual que los resguardos de los embalses se fijen de acuerdo con la previsión de aportaciones para cada época del año (resguardos estacionales), pero en los de pequeño

volumen es más útil hacer desembalses hasta las cotas de consigna en función de los caudales entrantes. Su capacidad de regulación será siempre reducida pero en gran número de situaciones se consigue una cierta laminación de los valores máximos.

Los embalses de una misma cuenca o río deben explotarse coordinadamente, si es posible, de modo que se evite la sincronización de las puntas de avenida en los tramos inferiores.

Es aconsejable evaluar periódicamente el régimen hidrológico natural, el de crecidas y el hidrograma de la avenida máxima de proyecto, atendiendo a posibles cambios de uso del suelo aguas arriba que puedan afectar a las condiciones de escorrentía. Si se observara un aumento sustancial de los valores máximos se investigará la necesidad o conveniencia de ampliar los aliviaderos u otros dispositivos de desagüe.

Una vez fijados los resguardos y las limitaciones a la velocidad de variación del embalse, si proceden, las consignas de actuación se referirán exclusivamente al orden y amplitud con que deben maniobrarse las compuertas de los órganos de desagüe y a la manera de avisar de los riesgos que pudieran existir aguas abajo.

De cara a posibilitar la comprensión de las consignas es conveniente señalar previamente los objetivos buscados, estableciendo una jerarquía entre ellos.

En general se exige que el embalse no se eleve sobre su nivel máximo normal, antes de que las compuertas queden completamente abiertas. Este objetivo, puede ser sustituido por otros planteamientos más adecuados a determinadas situaciones particulares sin que esto vaya en detrimento de la seguridad de la presa. Otras opciones posibles son:

- Adelantar los vertidos para limitar el caudal punta de avenida.
- Limitar los vertidos, dentro de lo posible, a valores máximos que no producen daños aguas abajo de la presa, aun cuando esto conduzca a una cierta sobreelevación sobre el nivel máximo normal. Esta actitud es especialmente válida para avenidas de volumen limitado, cuya evolución es previsible.
- No superar los gradientes de crecimiento del hidrograma de entrada.
- Conseguir y estabilizar la cota de consigna o el máximo nivel normal del embalse.
- Asegurar el llenado del embalse o su cota de consigna al finalizar la avenida.

Las Normas deberán incluir una breve descripción de todos los dispositivos de desagüe sujetos a control, identificados con claridad, así como de los órganos de cierre con sus dimensiones y capacidad de vertido en todas las situaciones previsibles del embalse.

Las Normas precisarán el orden y cuantía de cada maniobra de compuertas o desagües, y la variable que las determina, hasta la situación de lámina libre o apertura total de los desagües en carga.

Para la fase de descenso del embalse se establecerán actuaciones de signo contrario con criterios similares.

Es habitual la utilización en primer lugar de los aliviaderos de superficie, reservando los desagües profundos como complemento para las puntas de avenida, si fueren necesarios. Este orden se deriva de su capacidad relativa y de la facilidad de actuación y puede ser alterado si alguna circunstancia lo aconseja.

La apertura de las compuertas de aliviadero debe superar valores mínimos del orden de 30 a 50 cm para evitar obstrucciones por cuerpos semisumergidos que dañen las gomas de cierre. Del mismo modo, no es aconsejable funcionar con aperturas parciales de las válvulas de compuerta en los desagües de fondo, debido a los fenómenos de inestabilidad originados por las altas velocidades y las aireaciones frecuentemente escasas.

En aliviaderos en túnel la experiencia pone de manifiesto situaciones no deseables para una determinada gama de caudales en la transición de régimen en carga a lámina libre, con abundantes ejemplos de cavitaciones y erosiones que se deben evitar.

En el caso de que las consignas normales de actuación no estuviesen referidas directamente al nivel del embalse, deberán establecerse otras en función de dicho parámetro, que serán válidas para la explotación comunicada por parte del personal de operación en la presa, como medida de seguridad adicional.

11.3.10 Operación y mantenimiento de los órganos de desagüe

El artículo 31 del Reglamento se refiere a la operación de los órganos de desagüe como un mayor detalle de la exigencia derivada de las propias Normas de Explotación. El mismo carácter tienen los artículos siguientes (Mantenimiento, Auscultación e Inspección y Situaciones de Emergencia) que serán tratados dentro de los correspondientes subtítulos del presente capítulo. Su transcripción literal es como sigue:

Artículo 31.- Operación de los órganos de desagüe.

31.1. La operación de los órganos de desagüe precisa tener a disposición, en el entorno de la presa, de personal suficiente y capacitado.

31.2. En las presas con aliviaderos controlados por compuertas deberá garantizarse la maniobra de éstas incluso en situaciones meteorológicas adversas. Los sistemas de accionamiento dispondrán, al menos, de dos fuentes de energía diferenciadas, y podrán ser, además, accionadas manualmente.

31.3. Los accesos, las comunicaciones, el suministro de energía y la iluminación de las instalaciones deberán mantenerse en perfecto estado de utilización, garantizándose su funcionamiento conforme a los artículos 22 y 23 de este Reglamento técnico.

31.4. El titular realizará la operación de los órganos de desagüe de manera que, en el entorno de la presa, no se altere la capacidad de evacuación del cauce necesaria para la normal explotación de aquélla.

El personal responsable de la operación de los órganos de desagüe no ha de ser necesariamente el encargado de su mantenimiento, aun cuando es conveniente que tenga la formación adecuada para resolver los problemas que eventualmente puedan surgir en el desarrollo de su cometido.

Se debe recordar que la operación de los órganos de desagüe es siempre un trabajo de riesgo, por la cantidad de energía que liberan, a la que hay que prestar la máxima atención aun en condiciones de absoluta normalidad. Es por ello que el Reglamento exige para la operación de los órganos de desagüe la disposición, en el entorno de la presa, de personal suficiente y capacitado. Esta obligación debe hacerse extensiva, con menor exigencia, a los vertederos en lámina libre, para la observación de posibles incidencias que perturben su funcionamiento u originadas por él.

En el caso de compuertas automáticas, cualquiera que sea la fuente de energía utilizada, o manejadas mediante control remoto, la presencia de personal también es inexcusable, debiendo estar instruido para la gestión directa de la operación, si fuese necesaria por fallo de los automatismos, comunicaciones o cualquier otra causa.

El titular deberá prever, con la anticipación necesaria, el reclutamiento de personal suficiente para la operación de los órganos de desagüe, contemplando la posible existencia de dificultades en las comunicaciones, disponibilidad, accesos, etc. Para mayor seguridad, es posible la automatización limitada de alguna compuerta que cubra un eventual retraso con carácter excepcional.

El personal de operación, cualquiera que sea su ubicación, deberá anotar todas las maniobras realizadas con indicación de los cambios de posición, hora y cota de embalse, amén de las incidencias particulares que pudieran surgir.

En cuanto al personal de mantenimiento de los equipos electromecánicos, deberá contar con la instrucción técnica necesaria y planificar los trabajos con un programa adecuado a cada caso, con una revisión mínima anual y muy especialmente antes del comienzo de la época de avenidas e inmediatamente después de un periodo prolongado de funcionamiento.

Durante la utilización de los órganos de desagüe se observará la existencia de vibraciones, ruidos, acodamientos o cualquier otra anomalía que afecte a los equipos y a la obra de fábrica. Del mismo modo, la integridad de todos los elementos de accionamiento se verificará sistemáticamente con ocasión de las visitas periódicas a la presa. Por el contrario, la revisión más detallada de estanqueidades, pinturas, lubricación, engrase, conducciones, cableados, alumbrado, etc. formará parte del programa de mantenimiento preventivo, que deberá ser alterado si hay constancia de alguna deficiencia importante.

El funcionamiento correcto de los órganos de desagüe se verificará periódicamente, aun cuando normalmente hay que tener en cuenta la existencia de limitaciones para ello. Así, en las compuertas de los aliviaderos de superficie se suelen realizar aperturas individuales y limitadas, para no provocar grandes aumentos de caudal aguas abajo, salvo que el embalse no alcance la cota del umbral del vertedero, en cuyo caso se puede completar la maniobra en todo su recorrido, aunque con ausencia de la presión del embalse.

En los desagües de fondo también es recomendable hacer pruebas con frecuencia mínima anual, que pueden ser “en blanco”, actuando alternativamente las compuertas del doble cierre, pero es muy aconsejable la realización de vertidos, siquiera parciales, para proceder a la limpieza de sedimentos o acarreos en su embocadura. La existencia de ruidos y vibraciones que suelen acompañar a los procesos de apertura y cierre, en algunos desagües profundos, suele inducir a su abandono, la mayor parte de las veces injustificado. Si la aireación de las compuertas fuera insuficiente se deberá estudiar la posibilidad de su adecuación hasta conseguir unas condiciones de servicio adecuadas.

Las pruebas de los desagües de fondo, con vertidos, suelen ir acompañadas de arrastres que enturbian el agua durante un periodo de tiempo normalmente muy reducido por lo que es conveniente realizarlas en época de aguas altas, tanto para su dilución como para producir una menor alteración relativa de los caudales circulantes aguas abajo.

Para la realización de estos trabajos, el titular debe contar con un manual de mantenimiento preventivo de uso interno, con indicación de los elementos, frecuencias, alcances y equipos responsables de hacer las revisiones, que se registrarán en las correspondientes fichas descriptivas de las inspecciones y actuaciones llevadas a cabo. Estos documentos pasarán a formar parte del Archivo Técnico de Explotación.

Una relación indicativa de los sistemas y componentes a revisar podría ser la siguiente:

Rejillas y limpiarrejás

Compuertas y válvulas (estructuras, guías, estanqueidades, anclajes, etc.)

Ataguías y dispositivos de elevación

Cabrestantes y sus motores

Cables y cadenas

Sistemas de accionamiento oleohidráulico o de aire comprimido

Equipos de ventilación

Bombas, reductoras y motores

Sistemas antihielo

Generadores de emergencia y sistemas de transmisión

Almacenamiento y suministro de combustible

Transformadores y líneas de distribución

Sistemas de control local y remoto

Iluminación normal y de emergencia

Equipos contra incendios y de seguridad

Telecomunicaciones

Equipos móviles: vehículos, grúas, embarcaciones, etc. adscritos a la operación normal y de emergencia

Repuestos necesarios

La realización de estos trabajos de conservación preventiva y pruebas debe llevarse a cabo de forma coordinada con la explotación, al objeto de no introducir riesgos adicionales.

El Reglamento reitera la necesidad de dos fuentes de energía independientes y del accionamiento manual, a lo que habría que añadir la posible conveniencia, en algunos casos, de doble circuito entre las fuentes y los puntos de consumo.

La garantía de suministro eléctrico debe generalizarse a la iluminación de galerías y puntos del exterior de la presa cuyo control sea necesario o conveniente, disponiendo siempre de un alumbrado de emergencia adecuado a las condiciones de humedad habituales en estos casos.

La disposición de un grupo electrógeno portátil, como repuesto a utilizar en casos de avería, puede ser útil para una agrupación de presas, con la limitación derivada del riesgo de su transporte y funcionamiento en el momento necesario.

Las comunicaciones han de ser redundantes y comprenderán las internas y con los centros de control propios y las externas, de enlace con la red nacional y, en particular, con los poblados situados aguas abajo. Las exigencias de los Planes de Emergencia son determinantes de su adecuación a las necesidades reales.

11.3.11 Precauciones y aviso de riesgos aguas abajo. Sistema de alarma

Estos aspectos han de estar contemplados con todo detalle en los Planes de Emergencia, que formarán parte de las Normas de Explotación en función de lo exigido en el artículo 5.7 del Reglamento. Para conocer el nivel de exigencia se remite al lector a las Guías Técnicas que sobre el particular ha publicado la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, del Ministerio de Medio Ambiente.

La señalización acústica de la zona afectada se apoyará mayoritariamente en el establecimiento de sirenas actuadas por sistemas de comunicación redundantes que garanticen la transmisión y verifiquen la funcionalidad del sistema. El mayor problema se derivará de las comunicaciones, que deben seleccionarse de forma especialmente precisa y fiable.

Una vez establecidos los sistemas de alarma se debe informar de los mismos a los Ayuntamientos, precisando el significado de las señales instaladas y los lugares de evacuación de cada localidad.

Con independencia de lo anterior y con motivo de vertidos normales es de gran utilidad su iniciación lenta y gradual de forma que permita la retirada de las personas que puedan estar situadas en las inmediaciones del cauce.

La señalización de la presa con bandera y luz, para aviso a la navegación sobre el embalse, y la utilización de señales acústicas que anuncien el comienzo de los vertidos en la vecindad de la presa son actuaciones que se vienen realizando desde hace bastantes años en algunos emplazamientos. Estas precauciones deben completarse también con carteles de peligro situados en los accesos y zonas de especial concurrencia, como norma de aplicación general.

El establecimiento de alarmas derivado del Plan de Emergencia se realizará coordinadamente con el personal técnico de Protección Civil.

11.3.12 Conservación de la obra civil de la presa y demás instalaciones

El artículo 32 del Reglamento se refiere a los trabajos de mantenimiento con el siguiente contenido:

Artículo 32.-Mantenimiento.

32.1. Durante la fase de explotación de la presa, el titular deberá realizar los trabajos de conservación de la obra civil, maquinaria e instalaciones, así como los de reparación y reforma necesarios, con la finalidad de mantener permanentemente los niveles de seguridad requeridos en la presa y de garantizar la operatividad del embalse.

32.2. El titular deberá reparar lo más rápidamente posible los daños producidos en los aliviaderos, canales de descarga y cuencos amortiguadores, así como restituir la capacidad de desagüe del cauce en el entorno de la presa.

32.3. Las reparaciones y reformas que se ejecuten en la presa se someterán a los mismos requisitos y condiciones exigidos para el proyecto y construcción de una nueva presa.

En los epígrafes anteriores ya se ha tratado con detalle el mantenimiento de la maquinaria, instalaciones electromecánicas y comunicaciones, por lo que se dedican los comentarios siguientes al mantenimiento de la obra civil de la presa e instalaciones complementarias, con el mismo carácter.

Se pueden distinguir tres niveles de actuaciones en función de los objetivos y causas que las originan:

- mantenimiento ordinario
- mantenimiento correctivo
- grandes reparaciones y modificaciones

El primer nivel tiene carácter preventivo, es programable, sin excesivas rigideces, y repetitivo. Comprende habitualmente actividades tales como:

- Trabajos de limpieza de galerías y pie de presa
- Mantenimiento de la red de desagüe y control de las filtraciones
- Mantenimiento del sistema de auscultación topográfica: limpieza de vegetación, conservación de los pilares de lectura, puntos de referencia y dianas de control (pintura), etc.
- Mantenimiento de los accesos
- Retirada de cuerpos flotantes
- Mantenimiento de edificios
- Retirada de vegetación en presas de escollera y estabilización con plantas herbáceas en las de tierra. Reparación de erosiones producidas por el oleaje.

Las actividades de mantenimiento correctivo se suelen relacionar con:

- Erosiones y cavitaciones en aliviaderos
- Erosiones en los cuencos
- Reducción de filtraciones
- Reperforación de drenes
- Mantenimiento de las aireaciones
- Limpieza y mantenimiento de paramentos
- Corrección de erosiones en cauce y laderas
- Retirada de obstáculos y vegetación en el cauce
- Perfeccionamiento del sistema de auscultación

En el tercer grupo se incluyen las grandes reparaciones que puedan ser necesarias en cada caso, incluyendo en ellas las modificaciones del proyecto o tratamientos especiales necesarios para garantizar el buen funcionamiento y seguridad de la presa. Ejemplos de estas actuaciones pueden ser:

- El recrecimiento de la presa
- La ampliación de los aliviaderos
- Recrecimiento de compuertas

- Inyecciones en presa y cimientos
- Refuerzos en laderas y estribos
- Colocación de anclajes
- Reconstrucción de paramentos y vertederos
- Impermeabilizaciones superficiales
- Modificación de desagües profundos
- Mejora de las aireaciones
- Actuaciones motivadas por fenómenos expansivos
- Corrección de acodamientos de compuertas
- Reparación de grandes erosiones. etc.

Buena parte de estas actuaciones deben contar con la aprobación del proyecto correspondiente por parte de la Administración, a la que se comunicarán las causas que las motivan y las soluciones previstas, con el mismo nivel de exigencia utilizado para las obras nuevas.

11.3.13 Inspección, vigilancia y auscultación de la presa y su entorno

El paso de una época, en la que se prestaba atención prioritaria al proyecto y construcción de presas, al momento actual, con un gran patrimonio a conservar, en condiciones de seguridad cada vez más exigentes, determina inexcusablemente la existencia de equipos solventes encargados de dirigir una explotación adecuada y realizar la observación continua de su comportamiento.

En línea con la argumentación anterior, el artículo 33 del Reglamento tiene el siguiente contenido:

Artículo 33.- Auscultación e Inspección.

33.1. Dentro de las Normas de Explotación existirá un Plan coordinado de auscultación e inspecciones periódicas de la presa y el embalse orientado a la comprobación de su seguridad y estado de funcionamiento. El Plan señalará el alcance y periodicidad de las inspecciones, así como la composición del equipo encargado de la toma de datos del sistema de auscultación, indicando la frecuencia de lectura de cada aparato, las especificaciones relativas a la recogida y procesado de la información y el método para su interpretación.

33.2. El Director de explotación redactará un informe anual en el que recogerá los resultados de las inspecciones realizadas y de la auscultación, identificará las deficiencias observadas y propondrá las acciones de corrección oportunas. Este informe se incorporará al Archivo Técnico de la presa.

En el caso de las presas de categoría A, este informe deberá ser enviado por el titular a la Administración, que en el ejercicio de las funciones de Vigilancia e Inspección realizará las observaciones y propuestas que estime pertinentes.

33.3. Después de un acontecimiento extraordinario, como seísmos, modificación brusca de los niveles de embalse, desagüe de grandes caudales, avalanchas en el embalse u otros, se deberá realizar preceptivamente un reconocimiento de la presa y sus instalaciones, incluidos los accesos y comunicaciones.

El Director de explotación redactará un informe sobre el resultado de dicho reconocimiento y la situación de la presa y el embalse, que será remitido por el titular a la Administración que procederá como en el apartado anterior.

33.4. Además de las inspecciones antes citadas, el titular, y a su cargo, está obligado a realizar periódicamente una revisión y análisis general de la seguridad de la presa y el embalse. En el caso de que el titular no la realice, y previo el oportuno requerimiento, la Administración podrá realizar esta revisión directamente.

Esta revisión se llevará a cabo por un equipo técnico especializado y distinto del equipo de explotación.

Los plazos para la realización de dichas revisiones generales serán propuestos por la Administración atendiendo a las características específicas de cada presa y, en ningún caso, podrán ser superiores a los señalados en el artículo 5.8.

El equipo técnico realizará un informe de estas revisiones, que el titular remitirá a la Administración. Si como consecuencia de la revisión general, y para garantizar la seguridad de la presa, se estimara necesario realizar modificaciones en la misma, en sus instalaciones complementarias o en su régimen de explotación, el titular someterá a la aprobación de la Administración las actuaciones a realizar y los plazos para llevarlas a cabo.

33.5. Independientemente de estos plazos y situaciones, la Administración podrá recabar en todo momento del titular un informe sobre el estado de seguridad de la presa y el embalse, fijando los términos del mismo y el plazo para su remisión.

33.6. Los documentos generados en la fase de explotación y en especial los que se refieren a las revisiones generales, tanto ordinarias como extraordinarias, auscultación, reconocimiento y operaciones de mantenimiento, deberán incorporarse al Archivo Técnico de la presa.

Personal.-

Es muy importante la calidad del equipo encargado de la fase de explotación, al que normalmente no se le presta la suficiente atención por su aparente falta de espectacularidad o tecnicismo.

También es conveniente que el personal responsable de la seguridad haya participado en la construcción de alguna presa y esté familiarizado con su casuística. En todo caso ha de conocer con el mayor detalle tanto la situación presente como los aspectos singulares e incidentes

históricos, lo que se consigue muchas veces de manera informal a través de comentarios y opiniones de proyectistas, constructores y explotadores que le hayan precedido. Esta continuidad desde el proyecto a la explotación es cada día más difícil de mantener por lo que es obligado documentar toda la información evitando con ello falsas interpretaciones.

El equipo responsable, en sus distintos niveles: toma de datos, proceso de cálculo e interpretación de resultados, debe tener el criterio suficiente para poner en conocimiento del Director de explotación cualquier anomalía que pueda derivarse, tanto de las inspecciones visuales como de las lecturas de auscultación, más allá del rango de variación habitual de las mismas.

Inspecciones visuales.-

Las inspecciones visuales constituyen la forma más primaria de realizar la auscultación, pero no por ello la menos importante. Tienen la virtud de extenderse a la generalidad de la presa y su entorno y poner de manifiesto la aparición de algún hecho imprevisto que probablemente no sería detectado por el sistema de auscultación.

El ingeniero responsable de la seguridad de la presa deberá realizar una inspección visual con periodicidad mínima anual, que será intensificada si alguna circunstancia lo requiere.

Es habitual utilizar a los propios equipos de auscultación para un recorrido, al menos mensual, de las galerías y zonas de interés, en coincidencia con la toma de datos manual de gran número de dispositivos de control que, aun en los casos más avanzados, no se suelen automatizar (drenes, manómetros, apertura de juntas, etc.).

Sin embargo, la documentación de una inspección visual, tal como se propugna anteriormente, exige un esfuerzo adicional y la cumplimentación de un informe con las observaciones obtenidas, para el que parece adecuada una periodicidad anual. La inclusión de dibujos acotados y fotografías permitirá el análisis de la evolución con el tiempo, siendo notable la aportación que supone la cartografía numérica computerizada a la observación de paramentos, que permite la obtención de un registro detallado de los accidentes con visualización de los mismos, clasificación por categorías, tamaños, etc.

Como ayuda a la sistematización de estas inspecciones se propone un listado no exhaustivo de aspectos a tener en cuenta:

PARAMENTO DE AGUAS ABAJO

VISIÓN GENERAL:

- Fecha de la inspección
- Tipo de presa
- Año de construcción
- Orientación geográfica
- Aspecto
- Clima local
- Limpieza del paramento

FISURAS:

- Juntas frías (retomas)
- De retracción
- Térmicas
- De construcción
- De origen expansivo
- Otras fisuras
- Profundidad
- Existencia de croquis
- Cartografía numérica computerizada
- Tratamientos con inyecciones
- Dispositivos de control
- Fotografías

PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

- Agrietamientos
- Hundimientos
- Erosiones
- Vegetación

FILTRACIONES:

- Localización
- Cuántía estimada
- Carbonataciones
- Origen previsible
- Tratamientos realizados

JUNTAS:

- Estanqueidad
- Existencia de dispositivos para inyecciones
- Caudales de filtración
- Drenaje y canalizaciones
- Tratamientos con inyecciones

DISCONTINUIDADES GEOMÉTRICAS:

- Entre bloques
- En alineaciones
- En voladizos
- En barandillas y pretiles
- Otras discontinuidades

ALIVIADEROS:

- Estado de las aireaciones
- Acabado de las superficies
- Erosiones o cavitaciones

PARAMENTO DE AGUAS ARRIBA**PARAMENTO:**

- Cota de embalse
- Estado de las juntas
- Estado de las superficies
- Tratamientos de impermeabilización:

- superficiales
- con inyecciones

INSPECCIONES SUBACUÁTICAS:

Motivos
Resultados
Técnicas empleadas

GALERÍAS Y POZOS

Localización y tipo
Filtraciones catalogadas
Filtraciones no catalogadas
Humedades
Fisuras
Limpieza de cunetas
Conservación de dispositivos
Iluminación
Alumbrado de emergencia
Ventilación
Barandillas de seguridad
Gases tóxicos
Telefonía y alarmas

EMBALSE, ESTRIBOS Y CAUCE

EMBALSE:

Sedimentación:

- tipo
- batimétricas

Desprendimiento de gases
Posibilidades de oxigenación
Exigencias medioambientales
Hielos y cuerpos flotantes

DESLIZAMIENTOS:

Existencia de estudios geológicos
Fotogrametría
Controles topográficos
Desmontes
Drenajes
Anclajes
Estimación de volúmenes
Estimación de daños potenciales

LÍMITES DE EMBALSE:

Observación de erosiones
Afecciones en avenidas

ESTRIBOS:

Limpieza
Filtraciones
Accesibilidad

CAUCE AGUAS ABAJO:

- Edificios e instalaciones fijas
- Campamentos
- Vegetación
- Carteles de peligro

INSTALACIONES Y OBRAS AUXILIARES**OBRAS CIVILES:**

- Inspección de canales
- Conductos a presión
- Chimeneas de equilibrio
- Cuencos amortiguadores
- Accesos
- Otras obras civiles

INSTALACIONES AUXILIARES:

- Integridad de los dispositivos
- Seguridad e Higiene
- Alimentación de energía
- Grupo electrógeno: arranques
- Verificación del mantenimiento electromecánico
- Constatación de vibraciones o ruidos
- Verificación de automatismos y limitaciones
- Comunicaciones
- Combustibles, herramientas y repuestos
- Otras observaciones

Auscultación propiamente dicha.-

La Guía Técnica nº 7 - Auscultación de las presas y sus cimientos - trata estos temas con gran amplitud. En consecuencia, la exposición que sigue se limita a la exposición de conceptos básicos y planteamientos generales.

La auscultación, en su sentido estricto, viene definida como el conjunto de mediciones cuyos resultados ilustran sobre el estado y comportamiento de las presas, tanto por efecto de las variables exteriores como por sus condiciones intrínsecas, y permiten seguir su evolución en el tiempo.

Además de esta función preventiva, los resultados de la auscultación sirven de contraste a las hipótesis del proyecto y proporcionan información de interés para su aplicación en nuevas instalaciones.

La instrumentación básica dependerá del tipo e importancia de la instalación a observar, en tanto que la específica vendrá determinada por los aspectos singulares cuyo seguimiento sea de interés. Durante la explotación también puede surgir la necesidad de completar el equipamiento existente para el control de algún aspecto concreto, no previsto en un principio.

Con el mismo criterio anterior, buen número de presas antiguas, carentes de sistema de auscultación o con una monitorización insuficiente, pueden ser equipadas sin que ello conlleve dificultades técnicas importantes.

La escasez de puntos de control debe preocupar más que su exceso, ya que el interés particular de cada uno no se conoce de antemano. Por otro lado, el temor a una dotación excesiva tiene fácil solución ajustando la periodicidad de lecturas a diversas frecuencias. La informatización del tratamiento de datos reduce el problema a su fase de registro, y solo en el caso de que no estuviese automatizada.

Las medidas habituales en auscultación se pueden agrupar en:

Observaciones morfológicas

Auscultación hidráulica

Extensometría

Auscultación sísmica

referidas todas ellas a las variables exteriores, con incidencia especialmente notable del empuje hidrostático y del efecto térmico.

Las observaciones morfológicas se basan en el establecimiento de péndulos, clinómetros y poligonaciones (escasamente usadas) complementadas por observaciones topográficas, de gran eficacia y fácil establecimiento, (colimaciones, triangulaciones y nivelaciones de precisión). El registro electrónico de estas medidas y su proceso con programas específicos adecuados permite disponer de la información de forma rápida, aun cuando haya que hacer las observaciones siempre con gran meticulosidad y en condiciones climáticas adecuadas. También es necesario verificar la ausencia de vibraciones originadas por el funcionamiento de los órganos de desagüe, centrales eléctricas o cualquier otra causa que perturbe la inmovilidad de la estructura a observar.

La auscultación hidráulica se fundamenta en la cuantía de las filtraciones, el análisis de posibles arrastres y los valores de la subpresión, en clara dependencia, todo ello, con la eficacia de las pantallas de impermeabilización y drenaje. Requiere, por tanto, un análisis conjunto de estas variables, siempre relacionadas con la cota del embalse y el estado tensional de la cimentación, también influido de forma importante por el efecto térmico.

Las filtraciones deberán analizarse por tramos y desglosarse en función de su procedencia (drenes, juntas, manantiales, etc.) considerando que la diferencia al caudal medido en el totalizador es de origen desconocido y su valor, en una medición de calidad, debe ser muy reducido.

Para determinar el estado tensional en distintos puntos de las presas de fábrica es frecuente el empleo de grupos de extensómetros con corrector (liberado de tensiones). Con frecuencia se abandona el proceso de cálculo de estos aparatos basados en la medida de deformaciones según distintas direcciones y en la obtención de las tensiones por aplicación del método de "intervalos

de carga". El análisis de los resultados se basa más en la cuantificación, orientación y evolución temporal que en su valor absoluto. Un análisis previo de la incidencia de cada uno de los parámetros que intervienen en el cálculo pone de manifiesto que los errores que pudiera haber en los módulos de elasticidad o fluencia no alteran significativamente la orientación de las tensiones principales, pudiendo afirmarse que la variación de los valores absolutos no será, por esta causa, superior al 15 %. La gestión informática del proceso de cálculo es indispensable para la obtención de los resultados en un plazo de tiempo adecuadamente corto.

La auscultación sísmica, ya comentada, requiere la asesoría de especialistas y la permanencia de los equipos un tiempo suficientemente largo, después del llenado del embalse, cuando sea de temer la existencia de sismicidad inducida.

La observación del movimiento de juntas, de la temperatura del hormigón en distintos puntos, la medida de manómetros y piezómetros, en sus distintas variantes, el seguimiento de las deformaciones medidas con extensómetros, células de presión total, asentamientos, etc., son otras posibilidades que complementan habitualmente la monitorización de las grandes presas.

Toma de datos. Manual y automática.-

Los equipos encargados de la toma de datos deberán contar con las instrucciones precisas para su realización, constatación de su normalidad dentro de un rango y transmisión urgente de los resultados en caso contrario. También han de ser capaces de verificar el correcto funcionamiento de los equipos de lectura y de los dispositivos instalados, indicando la necesidad de ayudas especializadas si fueren necesarias.

Conforme a lo exigido en el Reglamento, contarán con un programa de lecturas, indicando la frecuencia de cada una, que podrá ser alterado en el tiempo en función del interés de cada variable. Es aconsejable también el establecimiento de un recorrido prefijado para la realización de las lecturas manuales, configurando con ello una inspección visual generalizada.

La automatización de la toma de datos es una tendencia creciente en nuestros días, especialmente en presas importantes y con puntos de control muy numerosos. Esto permite la disposición "on line" de los datos más interesantes y el conocimiento prácticamente continuo del comportamiento de la presa, no obstante lo cual no se debe anular la participación personal comentada, que sigue siendo necesaria por la dificultad práctica de automatizar todo tipo de observaciones.

La automatización está especialmente indicada para la lectura de péndulos, totalizadores de filtraciones y, en general, de todos aquellos dispositivos fundamentados en medidas eléctricas (extensómetros, termómetros, piezómetros, etc.). Presenta las siguientes ventajas:

- Desaparición de errores de lectura manual
- Control de presas de difícil acceso
- Disponibilidad de medidas en tiempo real
- Establecimiento de la frecuencia de lecturas deseable
- Posibilidad de crear fácilmente un banco de datos
- Entrada directa a los sistemas de proceso

- Reducción de horas de personal

Los sistemas mixtos, como la auscultación topográfica, se realizan normalmente con frecuencias menores, que suelen variar desde la mensual, para colimaciones sencillas, hasta la semestral en triangulaciones geodésicas y nivelaciones de precisión, en coincidencia con situaciones extremas de empuje y temperaturas.

Proceso de cálculo.-

Una gran parte de las lecturas debe ser trasformada en magnitudes físicas asociadas al comportamiento de la presa, para posibilitar su análisis. Un mal funcionamiento de la instrumentación, errores en la medición o registro de datos, o en su transmisión, conducirían a conclusiones equivocadas, por lo que es necesaria una validación previa de los valores que presenten alguna singularidad en su magnitud o signo.

El volumen de registros puede originar un cierto estrangulamiento del proceso, superando la capacidad de la organización establecida. La aplicación de medios informáticos a un sistema de gestión especialmente diseñado resuelve de forma adecuada este problema. Debe ser generalizable a los distintos tipos de presas gestionadas por un mismo equipo responsable y puede recibir la información procedente de:

- Lecturas automatizadas
- PC's portátiles en los que se recogen las lecturas manuales
- Sistemas topográficos, a través de terminales informáticos

Existen en el mercado módulos que gestionan la toma de datos, las comunicaciones, los procesos de cálculo y la generación de informes (gráficos y tablas). Son personalizables para cada presa, actualizables y configurables por el usuario, a voluntad, pudiendo fijarse en ellos los niveles de alarma que se deseen.

Informes y conclusiones.-

Con el análisis de la información elaborada se trata de estudiar la respuesta de la obra ante las acciones exteriores a las que está sometida, estableciendo su correspondencia y las posibles excepciones cuyo origen es necesario investigar.

El procedimiento más habitual para el caso de comportamientos normales se basa en la experiencia obtenida de la propia instalación y en presas de características semejantes (modelo estadístico), aun cuando se propugna también la comparación con las leyes teóricas basadas en las características físicas de la obra (modelos deterministas), frecuentemente ajustadas a tenor de los resultados observados (modelos híbridos).

Es muy difícil establecer métodos rígidos para la obtención de conclusiones, a las que hay que atribuir casi siempre un mayor o menor grado de confianza. Como criterio general, se puede enunciar que cada obra requiere una atención específica en función de sus características pero, como denominador común, se puede concluir que los elementos de juicio se basan en la

comprobación de la reversibilidad de los fenómenos, en su cuantificación dentro de un rango aceptable, en la observación de los procesos evolutivos, por pequeños que sean, y en la manifestación de asimetrías, contando con la comparación con otras obras semejantes.

La observación de un aspecto singular puede aconsejar la profundización de su conocimiento. Las actuaciones consiguientes pueden variar desde el establecimiento de sistemas de control suplementarios y la adopción de medidas no estructurales hasta la realización de trabajos de investigación (reológicos, geológicos, químicos, etc.) que requerirán normalmente la intervención de especialistas en cada materia.

Como no puede ser de otro modo, la calidad de las conclusiones depende en alto grado de la cualificación y dedicación del equipo responsable.

Por exigencia del artículo 33.2 del Reglamento, el Director de explotación redactará un informe anual y propondrá las acciones oportunas, si proceden, incorporándolo al Archivo Técnico de la presa. Esta obligación se entiende con carácter general, aun cuando se exige solamente el envío a la Administración de los informes correspondientes a las presas de categoría A, a los que podrá realizar las observaciones y propuestas que estime pertinentes.

El acontecimiento de un suceso extraordinario determinará también un reconocimiento general de la presa e instalaciones complementarias y la redacción del correspondiente informe, que será enviado a la Administración para su consideración con el mismo criterio descrito.

11.3.14 Inspecciones periódicas

Con el mismo ámbito que para las Normas de Explotación, es decir, “para las presas y embalses cuyo titular sea el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente o los Organismos autónomos de él dependientes” y para las “presas y embalses que sean objeto de concesión administrativa por dicho Ministerio u Organismos, conforme a lo dispuesto en la ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, y disposiciones de desarrollo, a partir de la entrada en vigor de esta Orden” (30.03.1996) el Reglamento establece, en su artículo 33.4, la obligación de realizar periódicamente una revisión y análisis general de las seguridad de la presa y el embalse, por un equipo técnico especializado y distinto del equipo de explotación.

Los plazos serán propuestos por la Administración atendiendo a las características específicas de cada presa y, en ningún caso podrán ser superiores a los señalados en el artículo 5.8, cuyo contenido literal es como sigue:

5.8 Con una periodicidad no superior a cinco años, en las presas de Categoría A, o de diez años, en las de Categoría B y C, y siempre después de situaciones excepcionales, como grandes avenidas o seísmos, el titular realizará una inspección detallada para evaluar la situación de seguridad de la presa y redactará un documento en el que se resuman las observaciones realizadas, se señalen los defectos o insuficiencias detectadas y se propongan las acciones necesarias para mantener el nivel de seguridad de la presa. Dicho documento se someterá al órgano competente para la aprobación de las acciones propuestas.

La disposición SÉPTIMA c) del Reglamento precisa que la primera revisión y análisis general de la seguridad de la presa y el embalse se realizará en el plazo que se determine en la resolución de clasificación, en función de las condiciones de seguridad y mantenimiento de la presa.

Para el caso de que el titular no realice las revisiones ordenadas, y previo requerimiento en tal sentido, la Administración podrá realizar esta revisión directamente y, aun cuando no se precisa quien financia este trabajo, se supone que será a cargo del titular.

El informe de estas revisiones será remitido por el titular a la Administración juntamente con las propuestas de actuación que pudieran resultar del mismo para garantizar la seguridad de la presa, al objeto de obtener su aprobación.

Con independencia de lo anterior, la Administración podrá recabar en todo momento un informe sobre el estado de seguridad de la presa y embalse, fijando los términos del mismo y el plazo para su remisión.

Todos los documentos aludidos anteriormente deberán incorporarse al Archivo Técnico.

11.3.15. Otros aspectos relacionados con la seguridad

En general, la organización del titular dispondrá de unas Normas de Seguridad y Salud acordes con la legislación vigente (actualmente la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales) de aplicación al conjunto de sus actividades, por lo que en el proceso de elaboración de las Normas de Explotación deberán abordarse únicamente aquellos aspectos específicos en relación con la explotación de la presa, en lo que tengan de singular y que convenga resaltar.

A título de ejemplo, entre estas actividades pueden estar incluidas las siguientes:

- Accesos a recintos cerrados con posibles problemas de ventilación
- Trabajos en altura de especial significación
- Actuación sobre determinados elementos electromecánicos
- Etc.

Otro aspecto muy importante que se debe tener en cuenta es el relativo a los problemas medioambientales y el cumplimiento de la normativa específica.

Es especialmente crítico el primer llenado del embalse, que suele ir precedido de la deforestación de los terrenos a ocupar. Durante los primeros años de la explotación también se debe prestar especial atención a las áreas más sensibles del contorno del embalse, continuando este seguimiento de forma simultánea con las inspecciones generales. Con ello se controlará la posibilidad de corrimientos de laderas, terraplenes de ferrocarriles y carreteras, etc., para todo lo cual se recomienda el empleo de medios topográficos y de la extensometría.

Tanto el embalse como el área adyacente, especialmente en climas tropicales y subtropicales, deben disponer de un sistema de vigilancia de la salubridad. La aparición de focos de enfermedades relacionadas con el agua debe ser comunicada a las autoridades sanitarias para su corrección. La proliferación de portadores debe ser controlada preferiblemente por medios biológicos, cuya eficacia no se ve afectada por el desarrollo de especies resistentes, como suele ser el caso con los medios químicos de erradicación. No obstante, esta solución es especialmente eficaz en los casos de contaminación masiva.

La interrupción del curso del río concentra dentro del embalse los residuos químicos, industriales y agrícolas, así como las aguas residuales que se vierten al mismo sin el adecuado tratamiento previo. A ello se pueden unir sales disueltas y productos orgánicos procedentes de la escorrentía o del propio vaso del embalse.

La polución y eutrofización del embalse pueden llegar a alterar la potabilidad del agua utilizada para el consumo y a destruir el biomedio de la fauna acuática. Aunque la polución no es normalmente una consecuencia directa de la existencia del embalse, es recomendable la detección de su origen y la colaboración con las autoridades responsables del medio ambiente al objeto de lograr su corrección.

La estratificación del embalse influye decisivamente en la calidad de las aguas vertidas, por lo que es conveniente, en algunos casos, disponer las tomas en el nivel adecuado o la posibilidad de elegir distintas opciones. En el caso de anoxias acentuadas pueden programarse vertidos conducentes a mejorar la oxigenación aguas abajo de la presa.

Los responsables de la explotación deberán cumplir los requisitos contemplados en las reglamentaciones locales, regionales o nacionales relacionadas con la protección medioambiental.

Los depósitos de residuos y estériles procedentes de la fase de construcción deben ser controlados y estabilizados mediante recubrimientos de tierra vegetal, realización de plantaciones, o cualquier otro método que reintegre los terrenos al medio natural de su entorno.

Los depósitos que contengan sustancias tóxicas han de ser controlados de forma especial, ante su potencial peligro para la salubridad, asegurando que no contaminan las aguas subterráneas o la atmósfera. Las organizaciones responsables de las medidas de protección estarán obligadas a dar continuidad a los planes e instrucciones de seguridad y control, que deben ser aprobados previamente por los organismos públicos competentes.

También se establecerán sistemas de prevención de fugas contaminantes procedentes de las instalaciones de la presa, y de gestión para su acopio, recambio y retirada, de acuerdo con la legislación vigente.

Otro problema a tener en cuenta, ya en la fase de proyecto, es el posible aterramiento del embalse, bien por acarreo o bien por sedimentación. A la reducción del volumen del embalse se pueden unir otros efectos secundarios tales como:

- El efecto de remanso en la cola del embalse, con aumento de las inundaciones y elevación de la capa freática en el tramo superior
- Modificación del cauce de aguas abajo por arrastres no compensados
- Posible sobrecarga de la presa
- Posible obstrucción de las tomas y desagües profundos
- Alteración de la calidad del agua, potenciando el proceso de eutrofización. Probable formación de gases (metano, sulfídrico, etc.)

La desertización de la cuenca contribuye en gran medida a la erosión y consiguiente transporte de aportaciones sólidas. Por otra parte, la eficacia de los desagües profundos en grandes embalses está limitada a la zona adyacente a su embocadura, donde las velocidades tienen capacidad de arrastre.

Por el contrario, en pequeños embalses de ríos de montaña, con presas móviles, la apertura de compuertas permite restituir el río a sus condiciones primitivas; en estos casos es de prever una fuerte erosión en las secciones de paso.

11.4 Situaciones de emergencia

En el capítulo 4.2 se comentan los Planes de Emergencia que es obligatorio establecer para todas las presas de categorías A o B, con independencia de su titularidad, exigencia que se recoge asimismo en el artículo 7 del Reglamento. Del mismo modo, ya se ha indicado de forma reiterada que dicho Plan de Emergencia formará parte de las Normas de Explotación, por lo cual ha de ser compatible con el resto de su contenido.

El artículo 34 del Reglamento Técnico establece que:

Artículo 34.- Situaciones de emergencia.

34.1. En circunstancias extraordinarias, sea por la presencia de una gran avenida o por otras causas, en las presas de categoría A y B se seguirán las indicaciones previstas para estas situaciones en el Plan de Emergencia de la presa.

34.2. Las actuaciones previstas en el Plan de Emergencia se ensayarán periódicamente mediante ejercicios de simulación con el fin de que el equipo de explotación adquiera los adecuados hábitos de comportamiento.

34.3. Pasada la situación de emergencia se hará una revisión especial de la presa y de sus instalaciones y órganos de desagüe antes de reanudar su explotación normal. Asimismo, se analizará la efectividad del Plan de Emergencia, proponiendo en su caso las modificaciones pertinentes.

34.4. Cuando existan sistemas de funcionamiento automático o procesos informatizados para atender a las situaciones de emergencia, se deberán poner en marcha los procedimientos de actuación para el caso de fallo de aquellos sistemas.

lo que complementa las exigencias de la Directriz Básica.

Existe una Guía Técnica para la elaboración de los Planes de Emergencia de presas, editada por el Ministerio de Medio Ambiente, que puede servir de apoyo para su redacción y establecimiento.

Con independencia del contenido de la reglamentación que las regula se debe tener presente que en caso de peligro inminente de accidente grave las medidas correctivas deben ser tomadas de modo inmediato, independientemente de los procesos normales, dando cuenta al tiempo de iniciarlas y por el medio más rápido posible a los organismos previstos en el Plan de

Emergencia. Para ello, el personal técnico a cargo de la explotación debe tener nivel y autoridad suficientes para ordenar las actuaciones sin necesidad de autorización especial (art. 21.2.1 del Boletín 59 de ICOLD).

Otras recomendaciones de interés, del mismo Boletín, son las siguientes:

- Verificar periódicamente la necesidad de adaptar la clasificación de las presas, en función de su riesgo potencial, a las condiciones operativas cambiantes del sistema global (cuenca hidrográfica, compañía, etc.), así como a posibles alteraciones en el medio físico o social.
- Verificar la adecuación del plan de actuaciones comprobando la disponibilidad de mapas de inundación, instrucciones de evacuación y rescate, así como la existencia de un catálogo de equipos, materiales y apoyos disponibles para el socorro de emergencia. Se tendrán en cuenta las condiciones operativas cambiantes y la existencia de procedimientos más avanzados de control, revisando la coordinación con otras partes implicadas y realizando los simulacros preceptivos. Debe asegurarse también la disponibilidad y fácil acceso a las instrucciones de emergencia de todas las unidades y puestos operativos.
- Comprobar periódicamente el buen funcionamiento de los sistemas de alarma y planes de evacuación, observando la posible necesidad de su actualización. Asegurar el apoyo público y la coordinación con terceras partes (Protección Civil, Ayuntamientos, Policía, etc.).
- Revisar periódicamente el funcionamiento de las comunicaciones de emergencia determinando la necesidad de su posible actualización.
- Comprobar periódicamente la existencia de un proceso decisorio claramente definido y siempre después de que ocurran cambios institucionales, operativos o administrativos, para su actualización si procede.
- Verificar periódicamente la existencia del número suficiente de personas que habrán de participar en las operaciones de emergencia comprobando su nivel de adiestramiento.
- En presas existentes, cuando la cuenca hidrográfica se extienda a más de una jurisdicción o se levanten nuevas presas dentro del sistema, verificar la uniformidad de los criterios de clasificación, que podrán ser modificados por cambios en el medio físico o socioeconómico.
- Debe asegurarse la investigación a fondo de las causas y consecuencias de los incidentes y accidentes acaecidos.
- Comprobar que todos los componentes de la presa que resulten dañados queden reparados y en condiciones operativas seguras lo antes posible.
- Obtener enseñanzas de los incidentes y accidentes a fin de hacer menos probable su repetición.

- Verificar los presupuestos de gastos para vigilancia de la seguridad, su justificación y necesidad. Paralelamente se comprobará la disponibilidad de los fondos necesarios y la fiabilidad de las fuentes de financiación.
- Para el caso de ríos fronterizos siguen siendo válidas las argumentaciones anteriores, siendo obligado el conocimiento mutuo de las regulaciones respectivas, criterios de seguridad y métodos operativos, al objeto de coordinar adecuadamente la explotación conjunta de la cuenca. Esta coordinación debe ser verificada periódicamente y actualizada si fuese necesario.

12.

RECOMENDACIONES PARA LA PUESTA FUERA DE SERVICIO

12.1 Exigencias legales

Son las condiciones exigibles, por parte de la Administración, para que el titular pueda cesar en su obligación de mantener y gestionar la seguridad de la estructura, que pasará a formar parte del Dominio Público Hidráulico.

La sección cuarta del Reglamento se refiere a esta situación del siguiente modo:

Artículo 35.- Puesta fuera de servicio.

35.1. Ante la eventualidad del abandono de una presa o embalse, el titular encargará la redacción de un proyecto que defina los trabajos a realizar para su puesta fuera de servicio, estudiándose asimismo las condiciones en que ha de quedar su zona de influencia.

La presa a abandonar deberá sufrir las adaptaciones necesarias para que no perturbe nocivamente la circulación del agua y para que su rotura, en el caso que llegara a producirse, no pueda ocasionar daños graves.

35.2. Para iniciar los trabajos de puesta fuera de servicio de una presa o embalse, se requiere que el correspondiente proyecto sea aprobado por la Administración.

Una vez finalizadas las obras, se realizará una inspección de las mismas. En el caso que ésta fuera favorable, la Administración autorizará la puesta fuera de servicio de la presa o embalse.

El proyecto de puesta fuera de servicio, junto con el resultado de la inspección final, se incorporarán al Archivo Técnico de la presa que pasará, en su conjunto, a disposición del Organismo de cuenca correspondiente.

35.3. Las presas abandonadas cuyo titular sea desconocido o insolvente serán reconocidas por el Organismo de cuenca, quien lo comunicará al órgano que realice las funciones de vigilancia e inspección de seguridad de presas; este órgano, una vez recibida dicha comunicación, propondrá al Organismo de cuenca los trabajos necesarios para su puesta fuera de servicio. El Organismo de cuenca realizará el proyecto y ejecutará las obras a que se refieren los apartados anteriores.

12.2. Puesta fuera de servicio

No se incluye en esta situación la reversión de las presas que son objeto de concesiones que así lo especifican, como tampoco aquellas otras cuya permanencia se utiliza para usos distintos del inicial y de las cuales se responsabiliza otro titular o propietario.

Como principio básico, ninguna presa o embalse pueden quedar desatendidos a menos que se haya autorizado formalmente por parte del organismo público competente, en base a un plan detallado de su retirada de servicio y eventual demolición. La solicitud de abandono debe establecer de forma clara y precisa las consecuencias técnicas y económicas que dicho abandono tendrá para la seguridad de las estructuras restantes.

La puesta fuera de servicio puede implicar la demolición, parcial o total, así como la retirada de compuertas u otros elementos auxiliares. También puede exigir el cierre definitivo de conducciones cuya permanencia implique algún tipo de peligro.

Las partes de obra sin demoler no podrán dar origen a presas artificiales por retención y acumulación de arrastres durante las avenidas. Se estudiará con detalle la posibilidad de exposición a combinaciones de esfuerzos no previstas en el diseño original o a cualquier otro tipo de condición inaceptable.

En todos los casos el proyecto deberá incluir:

- Un estudio de la estabilidad de todas las partes permanentes.
- La evaluación de las consecuencias hidráulicas e hidrológicas y en particular un estudio específico del embalse vacío, con la posibilidad de un nuevo cauce, el efecto de las avenidas y estiajes en el valle de aguas abajo y el posible transporte de sedimentos procedentes de los depósitos que se hubieran creado en el embalse.
- Se tratará la posible revegetación del embalse así como las limitaciones de acceso del público a las instalaciones abandonadas.
- También se examinarán las consecuencias de la nueva situación sobre otros usuarios, con especial atención a la planificación de las emergencias. Estas afecciones incluyen las consideraciones de tipo medioambiental que formarán parte del proyecto.

En tanto las actuaciones no hayan sido autorizadas la presa deberá mantener su condición segura de explotación, incluso si el embalse ya ha sido vaciado.

12.3. Criterios de seguridad

Los trabajos para la puesta fuera de servicio necesitan autorización previa y el desmontaje total o parcial de los equipos o elementos estructurales de la presa no deberá iniciarse hasta que el embalse esté vacío, salvo que otras disposiciones adicionales garanticen su permanencia en niveles bajos o la seguridad de las obras que puedan ponerse en carga.

Los trabajos de demolición no deben impedir o perturbar de forma negativa la descarga de avenidas naturales, para lo cual es aconsejable su programación en épocas de estiaje.

Para las partes de obra que permanezcan deberán tenerse en cuenta las posibles erosiones, socavaciones, deterioro de los cimientos u otras afecciones que alteren las condiciones de estabilidad exigibles.

Será el Organismo público el encargado de decidir hasta que punto se restablecen las condiciones naturales preexistentes. Y en ningún caso las obstrucciones que pudieran haber existido en el cauce o área inundada habrán de ser repuestas.

Se tendrá muy en cuenta, a todos los efectos, el nuevo régimen de caudales resultante para el tramo del río situado aguas abajo de la presa, debiendo replantearse la fiabilidad y eficacia de los planes de alarma o de emergencia que pudieran estar en vigor.

A no ser que la presa y todas sus estructuras anejas hayan sido totalmente demolidas, la vigilancia de seguridad en el emplazamiento debe continuar después de su abandono. Si la demolición no es completa el responsable de la presa comprobará periódicamente, con una frecuencia media aconsejable de 5 años, la seguridad de los elementos permanentes y en caso negativo procederá preferentemente a su demolición.

Los resultados de las inspecciones de lo que queda de una presa abandonada deben ser documentados y registrados, pasando a dar continuidad al Archivo Técnico de Explotación.

Como conclusión de los párrafos anteriores son las presas abandonadas con demolición parcial las que requieren una cierta continuidad en las funciones de seguridad siendo preciso concretar sobre quien ha de recaer la responsabilidad de las inspecciones y mantenimiento de las estructuras restantes.

En algunos casos podrá ser necesario proseguir la auscultación de la estructura e investigar la evolución previsible del deterioro de los materiales, la repercusión medioambiental y la capacidad financiera del titular para mantener la seguridad de estas estructuras residuales a lo largo del tiempo.

12.4. Presas abandonadas

El Reglamento Técnico de Seguridad es suficientemente explícito en cuanto a las presas abandonadas, cuyo titular sea desconocido o insolvente, atribuyendo al Organismo de cuenca su reconocimiento. Para su vigilancia e inspección contará con el apoyo del órgano que realice tales funciones, que propondrá los trabajos a llevar a cabo para su puesta fuera de servicio. El organismo de cuenca realizará el proyecto y ejecutará las obras necesarias.

13.

SEGURIDAD DE LAS PRESAS EXISTENTES

13.1 Generalidades

Todo programa efectivo de seguridad de presas es un programa continuo. Comienza con un buen diseño y construcción que garanticen la calidad y seguridad requeridas. Del mismo modo, la presa se deberá explotar de acuerdo con los valores considerados en el proyecto, de modo que no se superen las hipótesis de partida. Esto es especialmente importante en cuanto se refiere a los caudales de avenidas, operatividad de los órganos de desagüe, afecciones aguas abajo, subpresiones, etc., con independencia del comportamiento estructural de la presa y cimientos, que deberán ser auscultados convenientemente para observar el cumplimiento de las condiciones exigibles.

El titular es el responsable de la seguridad de la presa y está obligado a mantenerla de forma permanente mediante revisiones periódicas que, en el caso de las presas que entran dentro del ámbito del Reglamento, se harán cada 5 años para las de categoría A y cada 10 años para las de categoría B y C, sin perjuicio de periodos más cortos si la vigilancia o auscultación así lo aconsejan. En el capítulo 5.8 del Reglamento se explicita con carácter general la obligación de realizar inspecciones después de situaciones extraordinarias, como grandes avenidas o seísmos, y la redacción de un documento que recoja las observaciones realizadas y proponga, en su caso, las acciones necesarias para mantener el nivel de seguridad.

Estas revisiones y el proceso general de mejora de las instalaciones físicas (presa, compuertas, etc.) y de la operación, mantenimiento y vigilancia de las mismas se ilustran en la figura 1, “Ciclo de Seguridad de una Presa”, y se comentan en los capítulos siguientes.

La gestión de la seguridad incluye la operación, mantenimiento y vigilancia de las presas, la planificación para emergencias y la revisión periódica y regular de todos los aspectos relacionados con ellas.

CICLO DE SEGURIDAD DE UNA PRESA

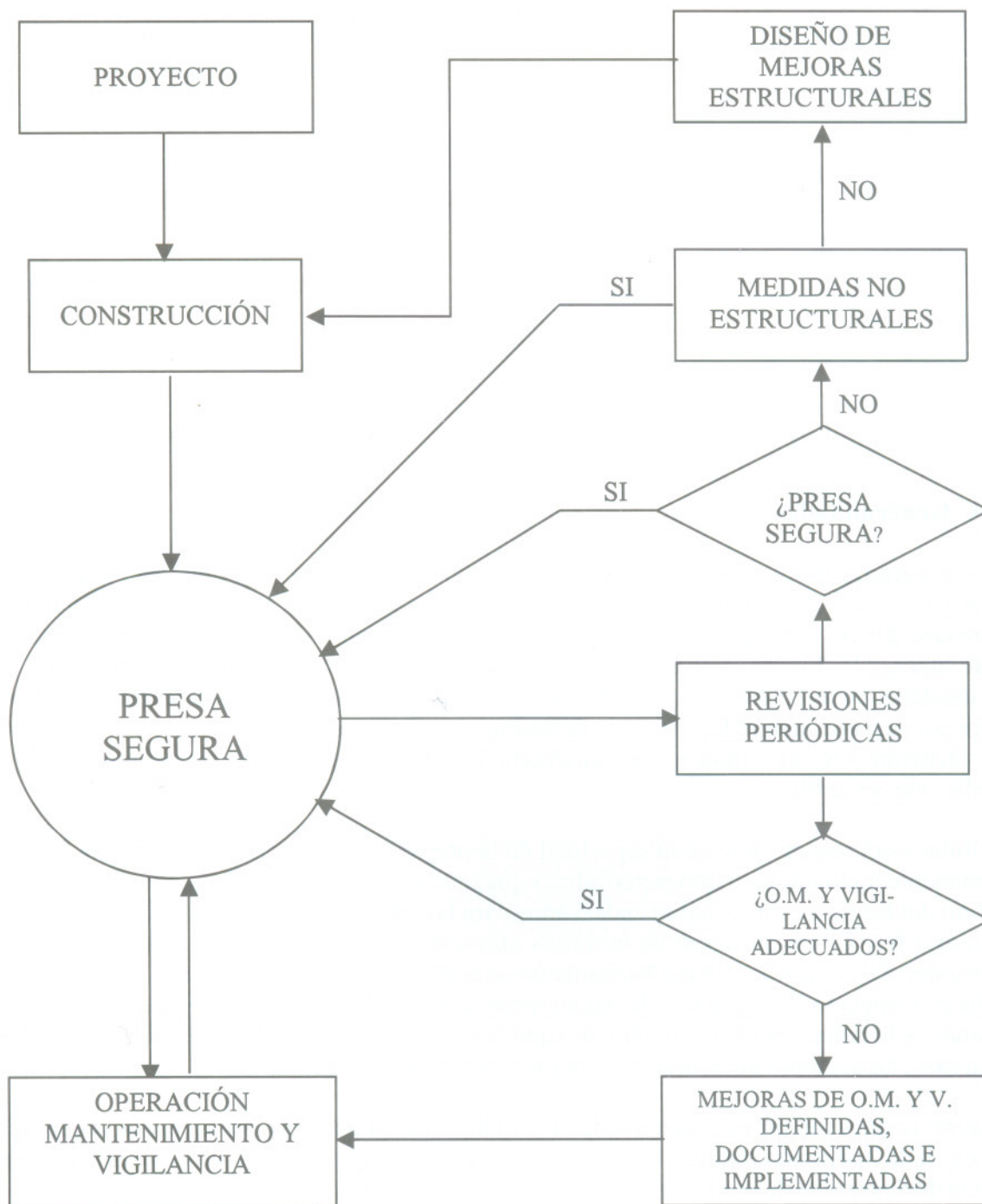


Figura 1

El equipo responsable de la explotación de la presa deberá contar con unas Normas de Explotación que establezcan claramente lo requerido para operarla y mantenerla de forma segura, las intervenciones de vigilancia y auscultación necesarias y los responsables de procesar la información y evaluar la seguridad. El Director de explotación redactará un informe anual en el que se reflejen los resultados de las inspecciones y de la auscultación y en el que se identifiquen las deficiencias observadas y se propongan las acciones de corrección oportunas.

Las revisiones periódicas de seguridad deberán incluir una evaluación de la idoneidad de las Normas de Explotación y la verificación de que se ha operado de acuerdo con las mismas.

Las actuaciones en situación de emergencia estarán documentadas en el correspondiente Plan, que será compatible con el resto de instrucciones de seguridad que figuran en las Normas de Explotación, de las que forman parte. Un elemento clave en el Plan de Emergencia es la clara definición del momento en que debe iniciarse la evacuación de las zonas en riesgo, toda vez que la tendencia es a evitar este paso. El Plan de Emergencia también se deberá verificar periódicamente con el fin de asegurar su efectividad.

La revisión del diseño y construcción es un punto de partida a la hora de analizar la seguridad de la presa. De ahí la importancia de un Archivo Técnico bien documentado. Incluso en el caso de una presa que se considere inicialmente segura, y cuya revisión de seguridad confirme su buen comportamiento, habrá de realizarse el correspondiente informe, que será remitido a la Administración con la periodicidad indicada en el Reglamento.

La realización periódica de revisiones de seguridad es un elemento clave para su aseguramiento. A la hora de realizar estas revisiones se utilizará la información existente en la medida que sea válida. Tales revisiones permiten llevar a cabo comprobaciones críticas de actividades rutinarias y del diseño de la presa respecto a criterios actualizados, a la vista del conocimiento real de la instalación, sus cimentaciones e instalaciones complementarias. El objeto de la revisión de seguridad es su comprobación y, alternativamente, la identificación de las deficiencias ponderando su importancia.

El artículo 33.4 del Reglamento precisa que estas revisiones generales se llevarán a cabo por un equipo técnico especializado y distinto del equipo de explotación. No obstante, parece conveniente la colaboración del equipo encargado de la explotación, como depositario del conocimiento histórico de la presa y conocedor de aspectos singulares que pueden ser de gran interés para los especialistas.

En lo que sigue se trata la seguridad de las presas existentes analizando los factores de riesgo, la evaluación de la seguridad y las acciones para su restablecimiento.

13.2 Factores de riesgo

13.2.1 Introducción

Un mejor conocimiento de los mecanismos de fallo conduce a la revisión de los criterios de diseño y factores de seguridad requeridos. A ello ha de añadirse la disponibilidad de mejores herramientas analíticas que permiten cálculos más ajustados al comportamiento real de las estructuras, integrando al cimiento como parte constituyente de las mismas.

Los cambios más importantes se localizan en los criterios aplicados al dimensionamiento de las avenidas y seísmos, por lo que en muchas presas antiguas es obligada la reconsideración de estos aspectos, aun cuando en la fase de explotación no hayan experimentado situaciones críticas.

Además, durante la explotación de una presa es habitual la aparición de condiciones no previstas en el proyecto, tales como accidentes geológicos, comportamiento anormal del cemento o de los materiales, que pueden constituir factores de riesgo adicionales.

Otro aspecto de gran relevancia es el derivado de reglas de operación, programas de inspección y procedimientos de mantenimiento inadecuados o insuficientes.

Los distintos mecanismos de fallo relacionados con estos factores de riesgo son genéricamente bien conocidos y dependen del tipo de presa y de las condiciones del emplazamiento. El propósito de este capítulo es presentar un resumen de los riesgos encontrados con mayor frecuencia.

13.2.2 Presas de gravedad, de hormigón o mampostería

El mayor riesgo para este tipo de presas se deriva de subpresiones altas, bien en los cimientos o en el propio cuerpo de la presa. Algunas presas antiguas no son lo suficientemente masivas para evitar que la presión del embalse genere y propague grietas de tracción por este motivo.

En las presas de mampostería las fugas a través de planos horizontales degradan los morteros por erosión interna. El resultado es una pérdida de resistencia y la generalización de la presión del embalse en el interior de la presa, situación que puede ser agravada por materiales defectuosos o de baja calidad, áridos débiles o contaminados y envejecimiento.

Cuando se utilizan elementos de anclaje para asegurar las compresiones en el paramento superior de la presa se debe evaluar la posibilidad de corrosión de los aceros sometidos a esfuerzos.

En otros casos se ha sobreestimado la resistencia a esfuerzo cortante de las cimentaciones.

13.2.3 Presas de contrafuertes y bóvedas múltiples

Se deberá analizar la posibilidad de subpresiones altas según planos subhorizontales por debajo de la cimentación.

Las diferencias excesivas en el comportamiento elástico de losas y contrafuertes provocaron el fallo de la presa de Vega de Tera.

La gran superficie expuesta a los fenómenos atmosféricos aumenta la vulnerabilidad de estas estructuras y acelera su envejecimiento.

Uno de los mayores riesgos de deterioro es la formación de grietas, que puede afectar a los contrafuertes, los arcos o ambos. Estas grietas pueden tener su origen en defectos de las

cimentaciones, agravados por asimetrías y efectos térmicos. Las grietas producidas en las interfases hormigón-roca pueden resultar también de su diferente rigidez.

Aun cuando no existen precedentes históricos, es previsible una mayor vulnerabilidad frente a sismos, especialmente cuando los movimientos son perpendiculares al río.

13.2.4 Presas en arco

Todos los fallos importantes de las presas en arco se pueden atribuir a la rotura de las cimentaciones (Malpasset, 1959). El accidente de Vaiont, donde la ola producida por el deslizamiento de la ladera izquierda alcanzó una elevación máxima de 260 m sobre el nivel del embalse, pone de manifiesto el extraordinario margen de seguridad de estas estructuras.

Con independencia de las cimentaciones, los problemas de seguridad más probables se derivan de las variaciones volumétricas del hormigón, que dan lugar a la formación de grietas subhorizontales en la parte inferior o superior de las ménsulas. Las fluctuaciones térmicas de estas estructuras delgadas son muy importantes y producen deformaciones del mismo orden de magnitud que las originadas por la presión hidrostática. Estas deformaciones, unidas a los esfuerzos de tracción locales inherentes al comportamiento estructural de los arcos, pueden dar lugar a la formación de grietas de tensión limitada, en las que puede penetrar el agua del embalse bajo presión. Sin embargo, la ventaja de que casi todo el hormigón de los arcos está sometido a compresión evita la existencia de fugas, salvo en algunos casos excepcionales.

13.2.5 Presas de materiales sueltos

Es comúnmente conocido que el mayor peligro para las presas de materiales sueltos radica en la posibilidad de desbordamientos sobre su coronación.

Una segunda causa de deterioros tiene su origen en la existencia de erosiones internas por infiltraciones a través de terraplenes inadecuadamente zonificados o por materiales de relleno, drenajes o cimentaciones inadecuadamente protegidos mediante filtros de diseño adecuado. Esto puede dar lugar a la migración de finos de una zona a otra o al exterior de la presa, proceso que puede aumentar progresivamente y ocasionar el fallo en un periodo muy corto de tiempo (Baldwin Hills, 1963).

La obturación de un drenaje inadecuadamente protegido dará origen a gradientes de presión de agua no previstos en el proyecto.

Los sismos fuertes pueden provocar aumento de la presión interna, reducción de la resistencia a esfuerzos cortantes y, en casos extremos, la licuefacción de algunos materiales finos.

En el caso de presas homogéneas el mayor problema es la acumulación de presiones intersticiales en el terraplén, con la consiguiente reducción de la resistencia a esfuerzos cortantes.

En las presas zonificadas hay que prestar especial atención al correcto funcionamiento de filtros y drenajes, y prever la posible existencia de fracturación hidráulica, originada por transferencia de esfuerzos.

Las presas de materiales sueltos con membranas aguas arriba son especialmente seguras cuando se utiliza roca como relleno, dada su permeabilidad y resistencia a la erosión. Por la misma razón son mucho más vulnerables si el terraplén es de naturaleza granular y si la membrana es fácilmente dañable (geomembranas).

Las pantallas de hormigón pueden agrietarse o fugar por las juntas. Las de hormigón bituminoso, más flexibles, pueden verse afectadas por fragilización o deslizamiento a lo largo de la superficie de contacto con el terraplén.

13.2.6 Obras auxiliares. Aliviaderos y desagües

Los problemas relacionados con las obras auxiliares tienen que ver normalmente con su capacidad para descargar agua. En algunos casos no son suficientes o adecuadas para los vertidos necesarios mientras que en otros permiten descargas no controladas. Lo primero puede tener su origen en un diseño inadecuado, la falta de suministro eléctrico, la obstrucción de las tomas o conductos, el bloqueo por aludes o hielo, el colapso de túneles o restricciones de los mismos y el agarrotamiento de las compuertas en su posición de cierre.

Las descargas incontroladas pueden ser consecuencia de sifonamientos, existencia de conductos pasantes, erosión de los túneles, agrietamiento de la presa o de las cimentaciones, acodamiento de compuertas en posición de apertura parcial, etc.

13.3 Criterios de diseño obsoletos

Muchas presas se diseñaron con criterios que han cambiado posteriormente. Del mismo modo, los criterios pueden depender de la clasificación de la presa en función del riesgo potencial, que a su vez es función de los desarrollos aguas abajo de la misma.

13.3.1 Avenida de diseño

La avenida de diseño contemplada en la Instrucción de 1967 se establecía mediante un estudio probabilístico para un periodo de recurrencia de 500 años. Las prácticas actuales son muy distintas y en el capítulo 7.2 de esta Guía se proponen estudios que pueden llegar a valores de $T = 10.000$ años, para la avenida extrema de las grandes presas de materiales sueltos. Se recomienda aplicar evaluaciones conservadoras y la solución puede consistir en aumentar la capacidad de los aliviaderos de acuerdo con los resultados de los estudios realizados.

13.3.2 Sismo de diseño

El mismo criterio debe seguirse para confirmar la capacidad de soportar fuerzas de origen sísmico, empleando criterios actuales. En el capítulo 7.3 de esta Guía se describen con bastante detalle estos criterios, siendo de advertir que si bien muchas presas antiguas se diseñaron sin una consideración explícita de posibles cargas sísmicas, o con valores bajos, su resistencia es a menudo suficiente para soportar los resultantes de los nuevos métodos de cálculo.

Los criterios de diseño sísmico de presas de materiales sueltos han cambiado mucho en los últimos años por una mejor comprensión de los mecanismos implícitos en la generación y disipación de presiones en los suelos utilizados para la formación de terraplenes.

13.3.3 Otros criterios de diseño

Los criterios aplicados en su día como solicitaciones debidas al agua, hielo, sedimentos y subpresiones, así como los valores derivados de la resistencia de materiales pueden diferir considerablemente de los utilizados en la actualidad.

En lo referente a las presas de gravedad de hormigón existe la tendencia a depender menos de la resistencia cohesiva de la roca de cimentación y más de su resistencia al rozamiento.

Algunas presas en arco diseñadas con metodologías antiguas tienen espesores inadecuados en comparación con los esfuerzos cortantes o de tracción originados por la transferencia de cargas de una parte del arco a otra.

En el caso de presas de materiales sueltos los cambios en el estado del arte han sido más profundos, en particular los criterios referentes a los filtros, especialmente para suelos de morrenas glaciales de granulometría mixta y suelos “dispersivos”. Se sabe que determinados materiales mixtos utilizados para el núcleo son internamente inestables y que se deben utilizar filtros para proteger a las partículas finas. Del mismo modo, los suelos dispersivos requieren una especial atención debido a su susceptibilidad extrema a la erosión.

13.3.4 Cambio de criterios debido a desarrollos aguas abajo

Son los resultantes del cambio de categoría de la presa en función del riesgo potencial, que puede requerir la aplicación de criterios más estrictos.

13.4 Condiciones no consideradas en el diseño

Se incluyen aquí los aspectos no tenidos inicialmente en cuenta y que se ponen de manifiesto durante las fases de construcción, puesta en carga y explotación. Entre ellos son comunes la aparición de accidentes geológicos no detectados en un principio o evaluados de forma inexacta, defectos de la propia construcción u otras condiciones imprevistas. Es de advertir que en casos extremos estas condiciones pueden conducir al fallo de la presa antes de ser descubiertas, de aquí la gran importancia de un seguimiento adecuado en la fase de puesta en carga.

13.4.1 Problemas de cimentación

Los problemas de origen geológico, por su condición, son difíciles de detectar de forma exhaustiva, a pesar de los ensayos e investigaciones que preceptivamente habrán de realizarse con carácter previo a la construcción de la presa. Existe siempre la posibilidad de existencia de fisuras incontroladas, abiertas o rellenas de materiales erosionables, combinaciones desfavorables de diaclasas, fallas, zonas susceptibles a la solubilidad, erosión o sin la debida resistencia, cavidades y materiales que varían su volumen en presencia de agua, todo lo cual puede afectar de forma importante a la seguridad de la presa.

El comportamiento inadecuado de las cimentaciones y estribos es una de las principales causas de fallos o incidentes importantes en las presas, con ejemplos tan notables como Puentes, San Francisco, Malpasset, Baldwin Hills, Teton, etc.

Los problemas que tienen su origen en las cimentaciones suelen dar lugar a subpresiones anormales, mayores presiones intersticiales, aumento de las fugas o deformaciones inusuales de la estructura.

Las filtraciones y subpresiones altas, íntimamente relacionadas, pueden tener su origen en fracturas subhorizontales, intercalaciones de estratos permeables o en la presencia de materiales solubles como el yeso.

Cuando los elementos finos son susceptibles de ser desplazados por las filtraciones, el proceso puede desarrollarse con gran rapidez, tal es el caso de la presa de Teton, con arrastre de material del núcleo a través de grietas existentes en las cimentaciones.

En otros casos, la degradación del cemento puede producir importantes asentamientos y dar lugar a la seria disrupción de la presa, como en los casos de Zeuzier y Baldwin Hills.

Los asentamientos pueden tener su origen en la mala calidad del terreno que sometido a esfuerzos sufre desplazamientos no previstos, aumentando las filtraciones y dando lugar a desórdenes en la estructura, como en la presa de Grandval.

Aunque menos frecuente, el hinchamiento de las cimentaciones por la presencia del agua del embalse también se pone de manifiesto en determinadas margas, capaces de afectar a una presa rígida.

13.4.2 Licuefacción

Los movimientos sísmicos pueden inducir importantes deformaciones y presiones intersticiales en los suelos de terraplenes y cimentaciones. Las arenas de densidad intermedia, arenas limosas y determinadas gravas son especialmente susceptibles pudiendo dar lugar a deformaciones y derrumbamientos, posiblemente con pérdida del margen de seguridad, y en casos extremos a la licuefacción, cuando el suelo pierde prácticamente toda su resistencia a los esfuerzos cortantes. Estas condiciones posiblemente no se anticiparon en el diseño de presas antiguas.

13.4.3 Rebose por olas inducidas por aludes o deslizamientos

En zonas montañosas son posibles los deslizamientos de ladera o el colapso de glaciares, fenómenos ambos que han generado olas de gran importancia que han pasado por encima de la presa, como el conocido accidente de Vaiont, en Italia.

Lo anterior conduce a la necesidad de observar las zonas críticas del litoral del embalse identificando aquellas laderas que podrían desestabilizarse con el tiempo.

A menudo existen laderas inestables no afectadas por el embalse y no consideradas en el diseño. Su presencia puede constituir una amenaza importante para la seguridad, deben ser observadas cuidadosamente y en caso necesario llevar a cabo medidas protectoras o estabilizadoras.

Las posibles consecuencias de los deslizamientos y aludes varían, lógicamente, en función del volumen arrastrado, velocidad del desplazamiento, volumen del embalse, tipo de presa y grado de desarrollo de la zona potencialmente afectada.

13.4.4 Defectos de construcción

Otra de las principales causas de daños en las presas son defectos de construcción que dan lugar a condiciones no consideradas en el diseño. El uso de materiales de mala calidad o una defectuosa puesta en obra han sido frecuentes en presas de hormigón antiguas. Juntas de hormigonado defectuosas y drenajes inadecuados han dado lugar a subpresiones excesivas y a la reducción de la resistencia al deslizamiento y al vuelco.

También en las presas de materiales sueltos las interrupciones pueden dar lugar a la formación de grietas por secado que constituyen pasos preferentes para el agua a distintos niveles.

La compactación insuficiente del material de relleno en las proximidades de las obras de fábrica o en torno a conductos rígidos, y en el sellado de zanjás, se manifiesta en la formación de zonas permeables, de difícil corrección.

Una colocación deficiente de los filtros puede traducirse en segregaciones o en una contaminación con materiales de características deletéreas. Del mismo modo, cualquier inundación habida durante la construcción puede contaminar los drenajes expuestos en el caso de que no estén debidamente protegidos.

13.4.5 Erosión aguas abajo

Durante la fase de explotación pueden producirse erosiones debidas al funcionamiento de los aliviaderos y desagües de forma distinta a la prevista, o a estudios inadecuados. Es particularmente habitual la cavitación y consiguientes erosiones en los ángulos de túneles aliviaderos, con altas velocidades, y en las fases de transición de un funcionamiento en carga a lámina libre, o viceversa.

Los impactos de los vertidos sobre el cauce han de contar con el alejamiento necesario para que no afecten a la estabilidad de la estructura, habiéndose subestimado en algunas ocasiones la acción de las presiones dinámicas, aun en casos que contaban con un cuenco amortiguador a tal efecto.

En todos los casos es necesario contar siempre con la capacidad de evacuación prevista, subsanando las deficiencias que puedan suponer limitaciones a los vertidos y asegurando la operatividad de los órganos de control y la ausencia de obstáculos tanto en su entrada como en los canales de descarga y en el tramo de río situado aguas abajo.

13.4.6 Obstrucción de los órganos de desagüe

En algunas ocasiones, especialmente cuando la presa se encuentra situada en valles angostos, se pueden producir desprendimientos que obturan las embocaduras de aliviaderos o desagües profundos, con la consiguiente reducción de la capacidad de descarga.

Un diseño hidráulico inadecuado, una excavación incompleta o la obstrucción parcial del canal de descarga pueden dar lugar a limitaciones que originen el rebose sobre la presa o comprometan su estabilidad como consecuencia de erosiones aguas abajo.

13.5 Envejecimiento de los materiales

El deterioro de los materiales es un fenómeno que se produce gradualmente y no suele dar lugar a accidentes graves porque, normalmente, las deficiencias que afectan a la seguridad se corrigen a tiempo.

Aunque la mayoría de los materiales se degrada con el tiempo hay algunas variables tales como la resistencia del hormigón o la densidad y resistencia a esfuerzos cortantes de las arcillas que mejoran durante muchos años. No obstante estas excepciones, el desarrollo paralelo de otros procesos negativos asocia el envejecimiento con la pérdida generalizada de seguridad, más o menos intensa. Ya no se puede considerar, ni siquiera de forma tácita, que las presas son obras de duración indefinida.

Los materiales de construcción se deterioran como consecuencia de cambios físicos y químicos, por la acción disolvente o erosiva del agua, las radiaciones solares, las oscilaciones térmicas y los procesos de congelación y deshielo, que muchas veces actúan combinadamente.

13.5.1 Hormigones, morteros y mamposterías

En lo que atañe a los componentes de las presas de fábrica, en las que intervienen hormigones, morteros, mampostería e inyecciones de cemento, han de tenerse en cuenta los siguientes procesos.

- a) Solubilidad de la cal, especialmente por circulación de aguas puras, lo que puede afectar tanto a los hormigones y morteros como a las pantallas realizadas con inyecciones de cemento.

Las aguas selenitosas atacan al cemento Portland produciendo un efecto de hinchamiento originado por la formación de sal de Candlot.

- b) Meteorización y agrietamiento de los hormigones.
El agrietamiento superficial y la meteorización son fenómenos estrechamente relacionados, donde la calidad del hormigón y de su puesta en obra son factores determinantes. La aparición de grietas más profundas puede resultar de movimientos de las cimentaciones pero el caso más frecuente es la aparición de fisuras debidas a los efectos de la temperatura o de la carga.

En algunas presas el agrietamiento tiene su origen en la presencia de tracciones de trabajo que superan la resistencia del hormigón, pudiendo estar contemplado en la fase de diseño y no constituir un peligro adicional para la estructura.

El agrietamiento térmico inadvertido será aceptable en algunos casos, pero siempre se ha de tener en cuenta que la formación de grietas es un indicio de interrupciones importantes cuya evolución futura puede alterar, de forma notable, el grado de seguridad de la presa.

La entrada de agua a través de las grietas puede dar lugar a la fracturación hidráulica o a la inestabilidad, como consecuencia de los altos valores de la subpresión.

- c) Las reacciones químicas con variación de volumen de los hormigones pueden dar origen a grandes esfuerzos internos que se manifiestan en la aparición de fisuras y en la deformación del conjunto de la estructura.

La variación dimensional más común es la debida a la reacción álcali-árido, más dañina para las estructuras delgadas, tales como presas en arco o de contrafuertes, que para las presas de gravedad.

La expansión autógena del hormigón suele dar lugar a la aparición de fisuras algunos años después de la construcción, como consecuencia de la evolución progresiva de las tensiones.

Se han observado variaciones dimensionales de tipo anisótropo, homogéneas o variables de una parte a otra de la estructura.

Otro resultado de la actividad química es la carbonatación de los drenes, tanto en el hormigón de la presa como en cimientos, con la consiguiente pérdida de efectividad y aumento de las subpresiones.

- d) El envejecimiento de los materiales que constituyen los elementos de estanqueidad de las juntas y pantallas de hormigón, normalmente sometidos a los desplazamientos cíclicos de las estructuras, puede conducir a su deterioro, total o parcial, produciendo situaciones con grandes gradientes hidráulicos cuya corrección debe realizarse a corto plazo.

13.5.2 Terraplenes - Filtraciones y subpresiones

Las presas de materiales sueltos pueden asentarse, consolidarse y cambiar sus gradientes hidráulicos.

Las zonas de contacto entre el material de relleno y las obras auxiliares y estribos de roca son particularmente vulnerables en términos de creación de caminos de fuga. El asentamiento diferencial de los distintos materiales puede conducir también al agrietamiento de los cohesivos, tal como ocurre frecuentemente en las proximidades de estribos muy empinados, con aparición de fugas y alteración de gradientes.

El cambio de los gradientes hidráulicos puede dar lugar, a su vez, a una reducción de la resistencia del material o a la erosión interna.

La fracturación hidráulica puede ocurrir cuando la presión interna supera localmente los esfuerzos totales en una zona de la presa más la resistencia cohesiva del material, originando fugas a través de materiales que por lo demás serían impermeables y gradientes hidráulicos alterados

.Como ya se ha indicado anteriormente, algunos criterios de diseño de los filtros han cambiado en los últimos años. La migración de partículas dentro del material de relleno es difícil de

detectar excepto cuando aparecen fugas portadoras de sedimentos aguas abajo, un caso extremo que requiere respuesta inmediata. Otra posibilidad es la migración de partículas de grano fino de una zona a otra dando lugar a variaciones de permeabilidad detectables mediante una monitorización piezométrica interna del relleno.

Cuando los materiales del filtro son demasiado gruesos o están segregados parcialmente, los finos situados aguas arriba pueden ser arrastrados parcialmente hasta él reduciendo total o parcialmente su permeabilidad. Un efecto similar puede ser producido por la deposición de compuestos de hierro y aluminio procedentes de aguas de infiltración que pueden provocar también una gradual cementación de los filtros.

La monitorización de los niveles piezométricos, asentamientos, desplazamientos y fugas, junto con las inspecciones visuales y el análisis racional de los datos son los medios para detectar problemas en las presas de materiales sueltos.

13.5.3 Cimentaciones

El proceso de disolución gradual de la roca de cimentación de una presa puede conducir a su destrucción, con la consiguiente afección a la estructura. Estos procesos son relativamente lentos pero en el caso de no ser detectados pueden desembocar en un desarrollo exponencial de graves consecuencias. Una buena monitorización de la estructura para observación de asientos, apertura de grietas y movimiento de juntas, unida a la observación cuidadosa de las filtraciones, debe ser suficiente para adoptar las medidas correctoras y evitar accidentes.

La disolución de yesos o la variación del contenido acuoso de determinadas margas, con hinchamiento, pueden alterar gravemente las condiciones del cimiento y producir importantes deformaciones en la estructura.

13.5.4 Meteorización de la escollera

La protección de taludes en las presas de materiales sueltos puede perder su eficacia por deslizamiento, meteorización y erosión por la lluvia y ciclos térmicos, lo que normalmente será fácil de detectar y corregir y raras veces supondrá un peligro grave.

13.5.5 Aceros

Las armaduras del hormigón se protegen contra las corrosiones por el carácter básico del cemento, siempre y cuando su recubrimiento sea suficiente, por lo que solo exigen mantenimiento con carácter excepcional. Sin embargo, las compuertas, tuberías, cables y demás elementos de acero exigen un mantenimiento continuo y una revisión periódica de su estado y suficiencia.

En los países tropicales, y en algunos ríos españoles también, donde la temperatura del embalse permanece con valores altos durante la mayor parte del año, la corrosión biológica de los aceros puede ser un grave problema.

La corrosión de los elementos de anclaje pretensados (fragilización al hidrógeno), como consecuencia de una protección insuficiente o de la selección de una aleación inapropiada, también es particularmente peligrosa.

El paso del agua a través de conductos metálicos, con grandes velocidades, puede dar lugar a fenómenos de cavitación o a erosiones producidas por el transporte de sedimentos.

Señalar, por último, que los aceros sometidos a esfuerzos fluctuantes son susceptibles de fallo por fatiga.

13.5.6 Hormigones bituminosos

La degradación más común tiene su origen en la pérdida de elementos volátiles que conduce a una menor elasticidad y posterior agrietamiento. La parte expuesta al sol se deteriora por las radiaciones ultravioletas y por las fluctuaciones de la temperatura, lo que exige un mantenimiento periódico de las superficies expuestas, mediante el riego con mezclas asfálticas adecuadas.

13.5.7 Otros materiales

Los revestimientos sintéticos estancos al agua, tales como el caucho y los plásticos son de gran durabilidad, pero existe la posibilidad de que pierdan su elasticidad con el tiempo, especialmente si se encuentran expuestos a la luz solar. Lo mismo ocurre con las geomembranas utilizadas como barreras estancas, aguas arriba de las presas, que pueden volverse frágiles y más vulnerables a roturas mecánicas.

Los materiales geotextiles pueden desgarrarse durante su instalación o colmatarse con el tiempo.

13.6 Operación incorrecta. Falta de mantenimiento

Uno de los riesgos mayores de las presas se deriva de la operación incorrecta de los órganos de desagüe, que puede conducir a un aumento anormal del nivel del embalse y al desbordamiento de la presa.

Un mantenimiento inadecuado puede imposibilitar la operación con el mismo resultado anterior. Esto es extensivo al sistema de drenaje, cuya ineficacia reduce las condiciones de estabilidad de la presa.

13.6.1 Reducción de la capacidad del aliviadero

Se excluye de este capítulo el dimensionamiento insuficiente, ya contemplado en 13.3.1. La aparente holgura de los órganos de desagüe puede inducir a su reducción para otros fines, tales como el aumento de la capacidad del embalse o la ubicación de otras tomas de agua, con el consiguiente peligro durante la evacuación de avenidas importantes. Del mismo modo, ha de tenerse en cuenta la indisponibilidad derivada de la realización de trabajos de modificación o mantenimiento, que debe ser limitada de forma prudencial y programada en los periodos de menor riesgo de avenidas.

En las presas de materiales sueltos los asentamientos también pueden dar lugar a una cierta pérdida de la cota de seguridad.

La realización de obras sobre los aliviaderos, en especial de carreteras, ha de tener presente la posible afección a la capacidad de vertido, proyectándose con la holgura suficiente para evitar interferencias en las hipótesis más desfavorables.

13.6.2 Incapacidad para abrir las compuertas

Las causas más probables que conducen a la situación de compuertas no operativas son las siguientes:

- Mantenimiento y verificación insuficiente
- Falta de suministro de energía
- Deformación de las guías originada por reacciones químicas del hormigón
- Deformaciones producidas por seísmos

A esta relación es obligado añadir la necesidad de contar con la presencia del personal de operación en número suficiente y con la formación adecuada.

13.6.3 Operación incorrecta

Enlazando con el párrafo anterior, es imprescindible contar con reglas de operación para el embalse y el aliviadero que determinen las actuaciones necesarias para la evacuación segura de las avenidas, cualquiera que sea la importancia de las mismas.

Los episodios excepcionales suelen provocar daños aguas abajo, que los operadores se muestran reacios a agravar con un aumento de la descarga de los aliviaderos. Estas circunstancias han de estar previstas de modo que no se ponga en riesgo la seguridad de la presa, cuya rotura tendría consecuencias más catastróficas.

13.6.4 Gestión inadecuada de arrastres

La eliminación de acarreo transportados por el agua suele tener lugar de forma simultánea con los vertidos. En algunos casos, el mantenimiento de los desagües profundos en su posición de cierre puede dar lugar a acumulaciones que impidan su posterior apertura, siendo aconsejable mantenerlos abiertos en tales circunstancias.

El arrastre de cuerpos flotantes, maderas y árboles, debe ser gestionado de forma que no entorpezcan o impidan la evacuación de las avenidas. Las compuertas de sector y las clapetas son especialmente favorables para la eliminación de estos materiales, aunque trasladan el problema al emplazamiento siguiente.

Se deberá contar con el posible establecimiento de equipos que impidan la llegada de grandes árboles a los aliviaderos o eliminen aquellos que afectan a la operación. Son especialmente

peligrosos los árboles que flotan en posición vertical, con sus raíces hacia abajo, que pueden obturar las aberturas parciales de las compuertas.

13.6.5 Mantenimiento inadecuado de los sistemas de drenaje

Por la importancia que tienen los drenes en la limitación de las subpresiones dentro del rango admisible es imprescindible mantener su eficacia tanto en las cimentaciones como en el cuerpo de la presa. Se debe hacer un seguimiento continuo, dentro de las tareas habituales de auscultación y vigilancia, y periódicamente se procederá a la limpieza de los depósitos de carbonatos, tierra o microorganismos hasta recuperar su plena funcionalidad. Si estas labores no dan los resultados apetecidos se considerará la procedencia de perforar drenes adicionales.

13.7. Instrumentación deficiente

El Reglamento exige, en sus artículos 21 y 33, la existencia de un sistema de auscultación para la observación y control de las magnitudes de interés para valorar la situación de la presa en función de los diferentes niveles de riesgo. Estas observaciones se harán extensivas al cimiento y al control del embalse por lo que su ámbito geográfico, en distintos aspectos, puede llegar a extenderse a la generalidad de la cuenca (meteorológicos, sísmicos, estabilidad de laderas, afloramientos, etc.). El programa de auscultación ha de formar parte de las Normas de Explotación y es la base de los informes periódicos de seguridad.

Las presas recientes suelen estar dotadas de sistemas de auscultación adecuados al tipo de estructura y acordes con su importancia. Otras, más antiguas, tienen una instrumentación insuficiente que en algunos casos llega a ser prácticamente nula. Por otro lado, el comportamiento de la presa puede requerir el establecimiento de sistemas complementarios y en ocasiones el estado deficiente o la inutilización de los equipos de auscultación obliga a su sustitución.

Con independencia de su edad y características, cualquier presa es susceptible de ser instrumentada adecuadamente, con unas dificultades técnicas fácilmente superables y unos costes asumibles, sobre todo si se tiene en cuenta la importancia de la información que se genera de cara a la seguridad.

13.7.1 Características de la instrumentación

Los sistemas de medida a instalar deberán mantener un funcionamiento constante en el tiempo y, en lo posible, poseer la sencillez y durabilidad acordes con las condiciones a que van a estar sometidos en la obra.

La disponibilidad de abundante información será apreciada a la hora de efectuar el análisis de cada variable.

13.7.2 Medida de deformaciones

Los dispositivos más comúnmente usados para la medida de estas variables son los péndulos, los clinómetros y las aplicaciones topográficas.

Péndulos.-

El establecimiento de péndulos en presas ya construidas exige el análisis previo de su posible implantación mediante perforaciones con sonda desde la coronación de la presa, a ser posible con prolongación en el cimiento para la colocación de un tramo invertido que permita la obtención de deformaciones absolutas. La existencia de galerías longitudinales facilita la perforación, que puede ser corregida en cada nivel, a la vez que se utilizarán como bases de lectura. En la presa de San Esteban se realizó una perforación de este tipo con una altura de 140 m.

El aprovechamiento de pozos existentes para otros fines solo es posible en determinados casos en los que ambas funciones (original y de medida) sean compatibles.

En presas bóveda cuyo desplome impide este tipo de perforaciones se puede instalar siempre un péndulo óptico, aun cuando la información que proporciona es relativa y se limita al punto de su ubicación.

En las presas de contrafuertes los péndulos pueden adosarse a paramentos verticales, accediendo a las cotas intermedias mediante escaleras o pasarelas. Pero siempre en estos casos de péndulos exteriores, y en bastantes interiores, será necesario proteger el sistema de las corrientes de aire mediante entubamientos y camarines de lectura cerrados adecuadamente.

Clinómetros

Proporcionan las rotaciones respecto a la horizontal mediante el empleo de niveles de gran sensibilidad que se posicionan sobre anclajes recibidos en la obra de fábrica. Las deformaciones se deducen por integración de los giros a diversas cotas. Aunque su colocación es relativamente fácil si existen emplazamientos adecuados, no es demasiado común su empleo, salvo para observaciones específicas, si existen otras alternativas con el mismo objeto.

Inclinómetros

Son dispositivos que permiten medir inclinaciones o giros en diversos puntos de una misma línea. Están compuestos por un torpedo, el cable de unión y el aparato de lectura. El torpedo, que se introduce en un tubo ranurado, fijado al medio que se quiere controlar, permite medir los giros en puntos predeterminados; su integración proporciona la deformada y consiguientes desplazamientos, que podrán tener carácter absoluto si el conducto alcanza una zona inicial estable.

Son especialmente útiles para el estudio de cimentaciones, laderas y terraplenes, utilizando perforaciones profundas, debidamente entubadas.

Métodos topográficos

Son de aplicación general a todo tipo de presas y han evolucionado espectacularmente en los últimos años. La gran precisión de los aparatos modernos, junto a las ventajas derivadas del registro electrónico de las lecturas y de la informatización de los procesos de cálculo, hacen posible la obtención de resultados en un tiempo muy corto.

Estas técnicas son de fácil implantación y proporcionan resultados muy representativos del comportamiento deformacional de las estructuras y del terreno. No obstante, exigen el cumplimiento de recomendaciones estrictas y la verificación previa de los programas de cálculo.

Los métodos topográficos utilizados más usualmente son los siguientes:

Colimaciones lineales

Se basan en la observación de los movimientos de cada punto con relación a una alineación fija. Es de advertir que suelen presentar importantes problemas por refracción y reverberación del aire para visuales cercanas al terreno u obras de fábrica.

Colimaciones angulares

Obtienen los desplazamientos como producto de la diferencia de ángulos, respecto a una referencia fija, por la distancia entre el punto y el observador.

Su realización solo exige el empleo de una persona y son especialmente adecuadas en presas de planta curva, con visuales sensiblemente tangentes a la misma.

Bisecciones

En los casos que no puedan emplearse satisfactoriamente las disposiciones anteriores se puede recurrir a la bisección de cada punto desde dos hitos convenientemente establecidos, de modo que las visuales no sean excesivamente largas ni estén afectadas por su proximidad al terreno. También se debe procurar que los ángulos cenitales sean reducidos y que las visuales en planta se corten con ángulos próximos a la ortogonal, para reducir la importancia de los errores de lectura.

Observaciones geodésicas

Los movimientos de la coronación, aun siendo los de mayor cuantía, no suelen ser los más significativos del comportamiento de una presa. De aquí la importancia de la observación del alzado, estribos y cimientos, cuyos desplazamientos están más directamente asociados a las causas que los producen.

Mediante las observaciones geodésicas se obtienen movimientos longitudinales y transversales resultantes de las diferentes coordenadas obtenidas por triangulación, de especial utilidad en la auscultación de las presas bóveda.

El número de pilares de observación viene fijado por la recomendación de visar cada punto, al menos, desde tres de ellos. Sus distancias a la presa deben ser lo suficientemente amplias para eludir la influencia del embalse en su estabilidad, pero tampoco conviene que superen longitudes del orden de 300 m para no perjudicar la precisión de las lecturas. En todo caso es exigible, siempre, que estén protegidos del medio ambiente mediante su alojamiento en casetas adecuadas, dada la gran sensibilidad de los teodolitos a las condiciones del entorno.

La inmovilidad de las bases de lectura se suele verificar por triangulación con otros puntos de mayor garantía, que permitirán la introducción de las correcciones correspondientes.

A menudo no se pueden eludir visuales demasiado largas, con fuerte inclinación, próximas al terreno, o intersecciones con ángulos poco adecuados; la consideración de tales particularidades es de gran importancia en el proceso de cálculo, debiendo darse a cada visual la ponderación adecuada a su calidad.

Nivelaciones de precisión

No debe olvidarse la necesidad de que los itinerarios incluyan zonas con inmovilidad garantizada, que debe ponerse de manifiesto en las nivelaciones sucesivas.

Aunque es habitual la nivelación de la coronación de las presas es igualmente importante conocer la evolución altimétrica de puntos situados en niveles inferiores (galerías y cimientos) para la mejor comprensión de las causas que la originan.

13.7.3 Medidores de juntas

La determinación superficial de los movimientos relativos entre bloques se puede llevar a cabo fácilmente mediante la colocación de ternas de bases de elongámetro, dispuestas a ambos lados de las juntas en su intersección con los hastiales y solera de las galerías. Las primeras se utilizan para hallar las aperturas o cierres de las juntas y los asientos relativos entre bloques, en tanto que las segundas permiten observar los deslizamientos horizontales relativos entre dos bloques contiguos, con el mismo criterio.

Estos dispositivos son igualmente aplicables al control de fisuras o del movimiento relativo entre dos elementos contiguos de cualquier tipo.

Los extensómetros medidores de juntas, basados en diversos principios físicos (de resistencia, cuerda vibrante, electromagnéticos...) son susceptibles de telemedida y normalmente se instalan en obras nuevas, quedando embebidos en el hormigón. Por ello su aplicación al equipamiento de presas antiguas se ve restringida.

13.7.4 Extensómetros de varillas

Son dispositivos de funcionamiento muy simple y fácil instalación, que permiten observar los movimientos relativos de diversos puntos de anclaje respecto a una referencia exterior fija. Cada grupo extensométrico consta de un taladro en el que se alojan una o varias varillas de diversas longitudes a partir de la boca de la perforación. Aunque existen varias alternativas, en la disposición tradicional cada varilla va protegida por una vaina, salvo en su último tramo, de anclaje. El sondeo se inyecta con lechada de cemento, desde el fondo hacia el exterior, de forma que cada varilla quede anclada en la parte sin vaina y libre en el resto. En la boca del orificio se fija la base de referencia y la medida de los movimientos de cada una puede realizarse con transductores mecánicos o eléctricos, siendo especialmente útiles estos últimos para la automatización de lecturas y su transmisión a la unidad de control.

Los extensómetros de varilla son especialmente adecuados para el análisis del comportamiento de las fallas geológicas.

13.7.5 Medidores de tensiones y deformaciones

Tanto los extensómetros medidores de deformaciones unitarias como las células de presión total, normalmente embebidos en las obras nuevas, son de difícil aplicación a las presas antiguas. No obstante, si hay interés en conocer el estado tensional en un punto determinado se pueden hacer investigaciones con bandas extensométricas de superficie o mediante el empleo de células, biaxiales o triaxiales, mediante el método de liberación de tensiones, trabajos que deben ser realizados por un buen especialista.

13.7.6 Auscultación hidráulica

Es absolutamente indispensable en el control de todo tipo de presas y comprende el seguimiento del drenaje, las filtraciones y las subpresiones, variables todas en íntima relación y que deben ser analizadas conjuntamente.

Drenes.-

La perforación de taladros desde las galerías es una operación fácil de realizar. En las presas antiguas se debe observar la eficacia de los drenes existentes, reperforándolos y haciendo taladros complementarios si se juzga necesario. De no existir galerías adecuadas se pueden realizar las perforaciones desde el pie de aguas abajo, u otros lugares accesibles, para alcanzar las zonas del cimientto que interesa drenar. En todos los casos se entubarán de forma que permita el aforo de los caudales individuales para su seguimiento en el tiempo.

En presas de cierta altura también es necesario el drenaje del cuerpo de las mismas, que normalmente estará previsto en el proyecto inicial. De no ser así se deberán realizar perforaciones entre la coronación y galerías intermedias que permitan el control de zonas permeables y la descarga de las presiones intersticiales.

Filtraciones.-

La red de galerías se debe dividir en tramos cuyos aforos en colectores finales constituyen un seguimiento primario. Periódicamente se debe proceder a la medida de todas las aportaciones individuales tales como drenes, juntas, manantiales y otros puntos catalogados. La diferencia entre el caudal del totalizador y la suma de los caudales individuales es un índice de la calidad de las mediciones.

En el exterior de la presa se observarán y aforarán todas las surgencias y manantiales que puedan observarse y que tengan relación con la presa y/o el embalse, todo lo cual puede ocurrir en puntos relativamente alejados, especialmente en terrenos cársticos.

Piezómetros.-

La medida de las subpresiones está íntimamente ligada con las pantallas de impermeabilización y drenaje, con las características del cimientto y con su estado tensional,

por lo que la interpretación de su evolución es siempre compleja y exige la comparación en situaciones análogas.

Los piezómetros más usuales consisten en un sondeo entubado cuyo último tramo está perforado en la zona a analizar, normalmente en las inmediaciones del contacto roca-hormigón. El acoplamiento de un manómetro en la parte superior permitirá la lectura directa de la presión referida a su cota. En el caso de que el nivel del agua no llegue al manómetro habrá que medir su profundidad mediante una sonda, lo que es habitual en el cuerpo de presas de materiales sueltos.

Estos problemas de medición se pueden evitar mediante el empleo de piezómetros eléctricos, normalmente del tipo de cuerda vibrante. La carcasa del dispositivo está formada por un cilindro metálico cerrado por el extremo de salida de los conductores y con un filtro en el otro para evitar el paso de partículas. El agua entra a través de éste y presiona un diafragma que hace variar la tensión de un hilo metálico unido al mismo y a un punto fijo.

Estos mecanismos tienen la ventaja de que el agua, temperatura, derivaciones en los conductores, etc. no afectan a las medidas, por lo que son idóneos para control a largo plazo y en emplazamientos difíciles.

13.7.7 Medida de variables externas

La instrumentación descrita permite el análisis del comportamiento de la presa frente a la variación de las variables externas: nivel del embalse, temperatura, fenómenos meteorológicos, etc. Es por tanto necesario conocer su evolución en el tiempo para establecer las correspondientes correlaciones causa-efecto.

Nivel del embalse.-

Se debe mantener la tradicional disposición de escalas físicas, de lectura directa, con independencia de otros dispositivos de lectura y registro automático que permiten la transmisión de cotas a los centros de gestión en tiempo real.

Esta variable suele estar bien controlada por su interés a efectos de la explotación del embalse.

Estaciones meteorológicas.-

En las inmediaciones de la presa se debe contar con una estación de medida de las variables meteorológicas que incluya, como mínimo, el control térmico y de las precipitaciones, sean de lluvia o nieve. Existen aplicaciones comerciales, relativamente baratas, que realizan el registro continuo de estas variables y almacenan la información en soporte magnético.

Control sísmico.-

Normalmente se colocarán acelerómetros, habitualmente triaxiales, unidos íntimamente a los soportes que van a controlar de manera que respondan adecuadamente ante cualquier evento que sobrepase el umbral de aceleración establecido. Todos ellos estarán interconectados para posibilitar un sistema de lectura común en el tiempo. La información se puede registrar de

forma centralizada en un equipo configurable apropiado, conectado como los sensores a un sistema de alimentación eléctrica; o en los propios sensores, rescatando la información de los mismos con un ordenador.

13.7.8 Conclusiones

Las descripciones anteriores muestran claramente la posibilidad de establecer una instrumentación de cierta entidad en cualquier tipo de presas existentes. En particular, las variables ambientales, cota de embalse, auscultación hidráulica y aplicaciones topográficas se pueden obtener con total generalidad y constituyen un mínimo exigible a todas las presas de alguna importancia.

En las aplicaciones prácticas se habrá de tener en cuenta la casuística particular de cada presa para la determinación de los sistemas de auscultación necesarios, remitiendo al lector a la Guía nº 7 de “Auscultación de las presas y sus cimientos” que trata de forma exhaustiva este tema e incluye ejemplos reales de instrumentación de presas antiguas.

También puede ser necesaria la realización de trabajos de investigación específica de algún problema existente, o derivados de las inspecciones periódicas, posibilidad generalizada a todas las presas y que no es objeto del presente capítulo.

14.

CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

14.1 Reconocimiento

14.1.1 Registro de datos originales

Lo ideal sería que se mantuviera un registro completo de datos exactos sobre cada presa existente, que deberían constituir su Archivo Técnico. Pero la realidad en presas de cierta antigüedad, suele ser muy distinta.

Los datos relevantes proceden de la planificación, investigaciones de campo, pruebas de laboratorio, decisiones que condicionan el diseño adoptado, proyectos, construcción y control de calidad, comportamiento durante el primer llenado del embalse, operación, mantenimiento, reparaciones y modificaciones que pudieran haberse realizado, además de todo el proceso de auscultación e informes de seguridad generados durante la vida de la presa. Si se dispone de los datos relacionados es relativamente fácil realizar la evaluación periódica de la seguridad, y las acciones a tomar en caso de emergencia se pueden basar en el conocimiento actualizado del estado de la presa, en términos de integridad estructural, estabilidad y comportamiento durante la operación.

Las inspecciones y evaluaciones periódicas de la seguridad evitarán que las deficiencias inducidas por el envejecimiento pasen inadvertidas, y si surgiera la necesidad de introducir mejoras el análisis conjunto de los registros de diseño y servicio será, sin duda, la base más fiable para la toma de decisiones rápidas y equilibradas.

14.1.2 Datos secundarios

La experiencia demuestra que, en algunos casos, la información se pierde con el tiempo, a medida que los responsables del proyecto y construcción de la presa van cesando en sus

funciones. En estos casos la documentación que falta se tiene que sustituir a partir de la evidencia proporcionada por las investigaciones de campo y consideraciones teóricas.

El proceso es costoso, en términos económicos y de tiempo, y deberá limitarse al análisis de los datos realmente necesarios para evaluar la seguridad de la estructura de forma suficientemente fiable. Dado que raramente falta la totalidad de los registros, el primer paso consiste en hacer una evaluación de la información disponible que, normalmente, se podrá complementar con viejas fotografías, datos sobre avenidas registradas, informes sobre reparaciones y mantenimiento, etc. Otros valores de interés deberán obtenerse necesariamente por medio de investigaciones y ensayos específicos.

Una visita al emplazamiento pondrá de manifiesto los puntos de mayor atención, tales como el deterioro de materiales, deformaciones excesivas, filtraciones altas, estado de los equipos, problemas ambientales, etc. y ayudará a programar las investigaciones específicas que sean necesarias. Se deberá prestar especial atención a los problemas derivados de una climatología severa.

En caso necesario se debe proceder al levantamiento de nuevos planos, siendo recomendable, siempre, la verificación de los existentes para su actualización si procede. Si no se dispone de los cálculos y especificaciones originales, las normas y textos de la época en que fue concebida la presa pueden proporcionar una cierta información acerca de los criterios y métodos de diseño más probablemente utilizados.

Los datos hidrológicos, frecuentemente limitados en el tiempo, se pueden extrapolar por correlación con cuencas semejantes. Los registros sobre precipitaciones también pueden ser utilizados para determinar los datos de caudal y escorrentía, bien para su adopción o como medio de calibrar las correlaciones. La información histórica existente en determinados tramos de río es también del mayor interés.

Sobre todo, habrá que aplicar el buen juicio basado en un profundo conocimiento teórico y una amplia experiencia.

14.2 Clasificación en función del riesgo potencial y evaluación de la seguridad.

14.2.1 Evaluación del riesgo potencial

Durante los últimos años se han establecido programas especiales de evaluación de la seguridad de las presas en muchos países, bien a iniciativa de las empresas propietarias y asociaciones profesionales o por exigencia legal. Para establecer prioridades muchos de estos programas se basan en una clasificación previa de los riesgos potenciales, tal es el caso de la legislación española ya comentada en capítulos anteriores.

La pérdida potencial de vidas humanas, los daños económicos y al medio ambiente y la pérdida de la propia instalación son factores determinantes de la clasificación, en la que juegan un papel predominante las condiciones socioeconómicas del tramo localizado aguas abajo de la presa, la topografía, el medio natural y las características geomorfológicas del valle, así como el tamaño de la presa y de su embalse.

En particular, las características socioeconómicas pueden variar rápidamente, algunas veces como consecuencia de la existencia de la propia presa, lo que puede alterar la clasificación inicial en función del riesgo, aumentando las exigencias de seguridad establecidas inicialmente.

14.2.2 Evaluación de la seguridad

La evaluación del riesgo potencial no tiene en cuenta el grado de seguridad de la presa, es decir, la probabilidad de fallo de la misma. La evaluación de la seguridad ha de incluir la valoración física y operativa de la presa, de tal modo que la combinación sopesada de la seguridad y el riesgo proporciona una indicación de la amenaza relativa que representa una determinada instalación y es una forma útil para determinar la prioridad de las acciones correctoras a aplicar a las distintas presas de un conjunto. En este contexto es habitual definir el “riesgo” como “la probabilidad de fallo multiplicada por las consecuencias”.

Prescindiendo del establecimiento de prioridades, la evaluación de la seguridad de una presa deberá indicar si es satisfactoria o si precisa de acciones correctoras, por lo que el proceso deberá descartar inicialmente la evaluación de los aspectos económicos y basarse únicamente en aspectos técnicos que afecten a la seguridad. De presentarse limitaciones, financieras o de otro tipo, que no permitan corregir de forma inmediata las deficiencias observadas se podrá considerar la adopción de medidas no estructurales, tales como el descenso del nivel del embalse, el mantenimiento de compuertas abiertas, la retención de avenidas en otros embalses, un sistema de aviso de emergencias más restrictivo o cualquier otra actuación que se considere necesaria hasta completar las correcciones previstas. Un factor importante a tener en cuenta es la posibilidad de bajar rápidamente y mantener el nivel del embalse en caso de emergencia.

14.3 Instrumentación e investigación de deficiencias.

14.3.1 Procedimientos de investigación de deficiencias.

Una vez que se haga patente, por la evaluación periódica o las inspecciones rutinarias, que hay que aumentar la seguridad, será obligatoria una investigación completa y meticulosa de las deficiencias.

A diferencia de las inspecciones rutinarias, la investigación de deficiencias deberá ser realizada por un equipo de expertos seleccionados especialmente para esta tarea. La planificación y elaboración de un listado de comprobación será de gran ayuda para asegurar que se traten todos los elementos relevantes.

14.3.2 Equipos y personal de auscultación

Son pocas las presas que no disponen de algún tipo de instrumentación. En el caso de las más antiguas y con importancia limitada puede ocurrir que la auscultación se reduzca a la observación de algunos piezómetros y a la medida de filtraciones, e incluso es posible que el funcionamiento de ambos sistemas sea deficiente o impreciso. Es por ello importante la instalación de una instrumentación fiable al objeto de tener en cuenta sus resultados antes de iniciar los trabajos de rehabilitación. El número, tipo y ubicación de los dispositivos deberán asegurar la obtención de suficientes datos representativos y mantener su operatividad una vez

realizadas las actuaciones correctoras. Como norma general, el personal encargado de la auscultación ha de tener la formación especializada que requiere su función o adquirirla mediante un proceso adecuado. Esta consideración se hace extensiva al proceso de datos e interpretación de resultados, según se ha descrito en el capítulo de recomendaciones para la fase de explotación.

14.3.3 Equipo de investigación y registro de los resultados

Tras la revisión de los datos existentes, la presa se deberá someter a una investigación de deficiencias, con independencia del tipo y volumen de aquellos. El equipo de inspección se compondrá al menos de un especialista de cada disciplina involucrada: ingeniería de estructuras, geología, hidráulica, eléctrica, mecánica, etc. Se comprobarán todos los elementos estructurales y mecánicos y la investigación deberá incluir una verificación geológica de las cimentaciones y estribos, aun cuando no se hayan detectado problemas específicos en ellas. Si existen motivos para tener en cuenta la existencia de terremotos se deberá llevar a cabo un estudio regional de la evidencia de posibles actividades sísmicas.

Todos los resultados de estos trabajos serán debidamente documentados mediante planos, croquis, fotografías u otros medios menos usuales como, por ejemplo, la grabación de inspecciones subacuáticas. Estos resultados se resumirán en un informe apoyado por las especificaciones detalladas, tanto para las investigaciones en el emplazamiento como para los ensayos de laboratorio, la extracción y comprobación de muestras de materiales, sondeos, verificaciones topográficas y cualquier otro medio necesario para evaluar y definir el grado de seguridad real de la presa.

14.3.4 Investigaciones específicas

Deberán ser realizadas por especialistas y seguidas de cerca por el personal responsable del proyecto de rehabilitación. Conforme avanzan las investigaciones puede ser necesario cambiar los procedimientos y especificaciones de prueba, a tenor de los resultados parciales. La contemplación de las investigaciones en el emplazamiento es enriquecedora, en lugar de depender únicamente de informes escritos por otros.

Si fuere preciso aumentar la capacidad de desagüe de los aliviaderos deberá investigarse su repercusión en el tramo situado aguas abajo de la presa. Pueden ser necesarios trabajos de dragado, excavación o eliminación de obstáculos en el cauce y aunque la propiedad no sea responsable de la existencia de caudales en el río deberá al menos informar a la administración pública y organismos locales del aumento de los caudales previsibles en épocas de avenidas, para la adopción de las medidas de precaución adicionales.

No deberá olvidarse la zona de embalse y su litoral si la seguridad estructural u operativa de la presa pudiera verse afectada por laderas inestables, problemas provocados por condiciones severas en invierno u otro tipo cualquiera de incidencia medioambiental asociada con la operación del embalse.

Finalmente, la investigación deberá tener en cuenta los factores operacionales de la seguridad, tales como: sistemas de comunicación, procedimientos, avisos de vertido, mantenimiento preventivo, suministros de energía y accesos, tanto para situaciones normales como de

emergencia. Aunque estos factores no proporcionan una información directa para evaluar el grado de seguridad de una presa, sí caracterizan el enfoque general de los temas relacionados con la seguridad y asociados a la operación. Si fuera necesario mejorar alguno de los aspectos citados, la rehabilitación general que resulte de la inspección es una excelente oportunidad para llevar a cabo las actuaciones necesarias.

14.3.5 Resultados y conclusiones

Todos los participantes en los trabajos de investigación deberán tener en cuenta la necesidad de realizarlos con el máximo rigor. Los resultados deberán llegar a conclusiones sobre las causas de las deficiencias observadas y solamente será posible desarrollar acciones correctoras apropiadas si estas conclusiones son correctas y completas. Además, muchos de los fenómenos observados no se podrán volver a comprobar si surgen dudas en el futuro, toda vez que la evidencia puede haberse eliminado por los trabajos realizados.

14.4 Criterios de seguridad

14.4.1 Selección de criterios

A la hora de analizar el grado de seguridad de una presa existente surge la cuestión de qué criterios deberán utilizarse como base de partida. ¿Será suficiente la actualización, recuperando los parámetros de diseño originales que aparentemente han demostrado ser satisfactorios, o será exigible el cumplimiento de la normativa moderna, que refleja el conocimiento actual, para satisfacer los requisitos exigibles en materia de seguridad? Esta cuestión no tiene una respuesta simple, dados los múltiples factores que entran en juego, tanto económicos como técnicos e incluso filosóficos, debiendo programarse las actuaciones de forma ponderada, de modo que la garantía de seguridad pública quede suficientemente satisfecha.

La rehabilitación de una presa que no satisfaga los criterios actuales de seguridad será en la mayoría de los casos más económica si las reparaciones se limitan a la restitución de su estado original. El argumento basado en el buen comportamiento anterior no puede considerarse de forma concluyente y habrá de ser matizado en función de la importancia de la deficiencia observada y de la dificultad y coste de su corrección. Dicho esto, ¿se puede justificar el exponer a las personas que viven aguas abajo de una presa a un nivel de seguridad inferior a aquellos que están expuestos al riesgo de otra diseñada con los criterios de seguridad actuales? Se podría paliar esta mayor inseguridad mediante un sistema de avisos y un plan de emergencia más perfeccionado, pero los riesgos de vidas humanas son difícilmente cuantificables en términos monetarios e incluso se puede plantear la duda acerca de si los ahorros obtenidos compensarían la mayor probabilidad de daños a los bienes de terceros y propios.

Para aclarar este tema y averiguar cual es el estado del arte actual se han revisado las ponencias presentadas en el marco de las cuestiones siguientes de ICOLD:

Cuestión 59 : Rehabilitación de presas para garantizar la seguridad. (Lausana 1985).

Cuestión 65 : Envejecimiento de presas y medidas correctoras. (Viena 1991).

Cuestión 68 : Evaluación de la seguridad y mejora de las presas existentes. (Durban 1994).

De 223 ponencias, 111 tratan de uno u otro modo los criterios utilizados pudiendo concluirse de las descripciones que en prácticamente todos los estudios y casos de referencia la rehabilitación estructural se rigió por criterios de diseño actuales. También se observa que para las presas de hormigón y mampostería los autores aportan más información sobre los criterios, cálculos de diseño y factores de seguridad utilizados que para las presas de materiales sueltos.

La actualización de la seguridad hidrológica está mejor documentada. El Informe General sobre la Cuestión 59 señala que los enfoques deterministas son más comunes en los EEUU, mientras que en Europa se prefieren los métodos probabilistas. Pero en todos los casos de deficiencias hidrológicas se ha incrementado la avenida de diseño y la capacidad de los órganos de desagüe. Es importante la consideración que se hace de los desagües profundos para reducir el nivel del embalse cuando se aproxima una avenida, distinguiéndolos de las salidas inferiores para la evacuación de sedimentos, que no deben contabilizarse para la evacuación de crecidas por el peligro que supone su posible obstrucción.

Solamente hay menciones esporádicas a la reducción parcial del embalse como medio para resolver problemas provocados por insuficiencias temporales de la capacidad de alivio pero no se menciona ninguna medida no estructural permanente para compensar el incumplimiento de los criterios actuales de avenidas de diseño.

La determinación de la avenida de diseño en proyectos de rehabilitación varía enormemente según los países, de 100 a 10.000 años de extrapolación estadística y del 50 % al 100 % de la avenida máxima probable, dependiendo en unos casos del tamaño de la presa y embalse y en otros de los resultados del análisis de la zona inundable y evaluación del riesgo. En ningún caso se hace referencia a la aceptación de un riesgo calculado de fallo hidrológico.

14.4.2 Principios y requisitos básicos

A pesar de la amplia diversidad de criterios utilizados en el mundo, es evidente que existen algunas reglas básicas que permiten identificar una serie de principios generalmente aplicables, según se describe a continuación:

- El requisito básico más importante es la necesidad de operar y mantener las presas existentes de forma estable y segura. Si se detectan deficiencias de algún tipo se deberán recuperar las condiciones de seguridad sin demora.
- La evaluación y clasificación del riesgo es una herramienta útil para determinar prioridades. No obstante, no se debe utilizar para diferenciar niveles de seguridad. Las posibles variaciones rápidas del entorno pueden generar distorsiones en el riesgo que obligan a una reevaluación periódica.
- La deficiencia hidrológica de una presa requiere un nuevo análisis de las avenidas basado en la normativa actual.

Si la discrepancia entre la avenida de diseño revisada y la capacidad disponible de los órganos de desagüe es reducida unas reglas de operación del embalse más restrictivas,

combinadas con un sistema de predicción adecuado pueden ser suficientes para resolver el problema

En el caso de una presa de hormigón también puede ser aceptable una cierta reducción del resguardo durante el paso de la avenida extrema, siempre que la presión hidrostática sobre la presa no supere la carga permisible.

La interdependencia de los aspectos técnicos, económicos y de seguridad permite adoptar distintos enfoques. El que un aliviadero se dimensione para soportar avenidas extremas, o que en el caso de una presa antigua se permita su rebose y posiblemente su fallo siempre que las inundaciones resultantes no pongan en peligro un mayor número de vidas humanas que la inundación natural equivalente, sin la presa, son decisiones más legales y políticas que de índole ingenieril, aun cuando esta última opción estaría siempre asociada a un sofisticado plan de emergencia.

Consideraciones puramente técnicas exigen la aplicación de criterios uniformes a todas las presas incluidas en una configuración en cascada, debido al riesgo de fallo sucesivo. A menos que se den circunstancias especialmente favorables, como puede ser la existencia en cada embalse de un volumen permanente de reserva suficiente para reducir la avenida máxima a la capacidad de descarga, se recomienda que todos los aliviaderos se dimensionen para la avenida extrema, con los criterios indicados en la Guía nº 4. También se aconseja evitar el empleo de diques fusibles como aliviaderos de emergencia en presas en cascada, por su efecto acumulativo.

- Debe haber siempre compatibilidad entre las actualizaciones de seguridad estructural e hidrológica. De poco serviría la remodelación de una presa para asegurar una capacidad de descarga si sus condiciones estructurales no lo permiten.

Es frecuente la necesidad de efectuar reparaciones o mejoras estructurales y la sustitución de componentes degradados y equipos obsoletos o desgastados. Los criterios de seguridad actuales son el resultado de un mejor conocimiento de las propiedades de los materiales, el comportamiento a largo plazo de los componentes estructurales y de la aplicación de complejos procedimientos de cálculo. Lógicamente, los conceptos de seguridad modernos son más realistas que los antiguos por lo que se deberán utilizar a la hora de evaluar el grado de seguridad de las presas existentes. Según estos criterios una presa será o no segura, sin que quepan interpretaciones intermedias. Si se ha detectado alguna condición de inseguridad deberá ser corregida de acuerdo con las normas actuales.

- Se deberá reevaluar la seguridad medioambiental, aun cuando no tenga influencia inmediata sobre la integridad estructural de la presa, comprobando su adecuación a los requisitos generales y locales que le sean aplicables. Puede ser necesaria la adopción de medidas de precaución o protección y una buena oportunidad para introducir medidas relativamente económicas que beneficien al medio ambiente.

La reevaluación de la seguridad medioambiental debe hacerse extensiva al embalse, su litoral y remansos, con especial atención a los efectos de la sedimentación, en caso de existir.

- Los criterios aplicables a las estructuras auxiliares esenciales para la estabilidad y correcto funcionamiento del conjunto, serán idénticos a los válidos para la presa principal.
- La necesidad de efectuar evaluaciones periódicas de la seguridad se deberá establecer como requisito legal. Los principios y criterios aplicables deben tener carácter general, suficientemente preciso, pero no convertirse en reglas estrictas de obligado cumplimiento, dejando espacio para el buen juicio ingenieril. Complementariamente, la revisión periódica de normas y métodos de referencia debería ser obligatoria al objeto de conseguir la deseable adaptación a la evolución tecnológica.
- El Boletín 59 de ICOLD, sobre la seguridad de las presas, es un buen marco para orientar la mejora de las existentes, en lo que se refiere a los aspectos técnicos, administrativos, legales y a la cualificación del personal implicado en estas tareas.

14.4.3 Cumplimiento de la reglamentación vigente

A la hora de reevaluar la seguridad de una presa habrá que tener en cuenta tanto el estado de la tecnología aplicable como su comportamiento en el pasado.

El conocimiento del comportamiento real reduce las incertidumbres, que generalmente exigen la incorporación de tolerancias en el diseño de una nueva presa. Es por ello que cuanto más tiempo lleve la presa en servicio y cuanto más fiable sea la información en condiciones de operación poco comunes, tanto mayor será la posibilidad de eliminar las tolerancias por incertidumbre o al menos de reducirlas apreciablemente.

Hay que tener en cuenta que los reglamentos establecen requisitos mínimos y normas de cálculo que dejan abierta la posibilidad de análisis más sofisticados que permitan al diseñador pronosticar con más exactitud el comportamiento a esperar. Los resultados de tales análisis se pueden comparar con los datos proporcionados por la auscultación, aumentando así la fiabilidad de los mismos.

De este modo, la implantación de un sistema de auscultación adecuado y fiable, que evalúe el comportamiento de la presa en tiempo real, podría ser suficiente para proseguir su explotación, siempre que sea coherente con su comportamiento en el pasado. Esto es aplicable particularmente a aquellas presas que han soportado condiciones de carga extremas, tales como avenidas severas o movimientos sísmicos.

14.5 Análisis del comportamiento estructural y operativo

14.5.1 Consideraciones generales

Cuando fuere necesaria la comprobación de la estabilidad estructural y de la seguridad operativa se deberán seguir los criterios expuestos en el apartado 14.4 de esta Guía. Se utilizará toda la información disponible, integrando los resultados de las inspecciones de campo, auscultación, investigaciones de detalle y pruebas de laboratorio que hayan sido compilados y procesados.

La comprobación deberá comenzar con una nueva evaluación de las características y supuestos básicos tales como el paso de caudales de avenidas, propiedades de las cimentaciones, cuantificación y condiciones de aplicación de las cargas, incluida la aceleración sísmica donde sea aplicable, propiedades de los materiales, deficiencias y degradaciones observadas, equipos y procedimientos de monitorización y cualquier otro aspecto que tenga influencia sobre el comportamiento operativo, integridad y estabilidad de la estructura.

Se utilizarán métodos modernos de cálculo y si fuere necesario se llevarán a cabo ensayos con modelos estructurales y/o hidráulicos, para apoyar los resultados analíticos.

Para comprobar la idoneidad de los equipos mecánicos y eléctricos también habrá que hacer una revisión de su estado y operatividad de acuerdo con las exigencias actuales. En determinados casos de desgaste y obsolescencia, ésta puede ser una buena ocasión para modernizar, y quizá simplificar, las instalaciones y sus sistemas de control.

Se deberá prestar atención especial al suministro de energía eléctrica y equipos de comunicación, garantizando el funcionamiento de ambos en las condiciones más desfavorables, incluidas las situaciones de emergencia. Del mismo modo, se deben asegurar los accesos a los puestos de control, la disponibilidad de instrucciones de operación normal y la idoneidad de las precauciones para emergencias, adaptándolas a las modificaciones estructurales y operacionales, si fueran precisas.

Se describe a continuación una secuencia lógica de actividades, inspirada en el programa SEED (Safety Evaluation of Existing Dams) del Bureau of Reclamation, como una propuesta de posible utilización.

14.5.2 Procedencia de los datos. Comprobaciones previas

Se relacionan a continuación las posibles fuentes de información, clasificadas por temas y sin carácter exhaustivo, que pueden servir de guía para el establecimiento sistemático de las bases de partida.

Geología.- La información de interés puede ser obtenida a partir de la documentación siguiente:

- Planos y croquis de zonas débiles, fallas, fracturas, diaclasas, vetas, fisuras, cavernas, deslizamientos, materiales compresibles o licuables y planos de estratificación débiles.
- Sondeos de todo tipo
- Existencia de testigos
- Datos geofísicos
- Nivel freático anterior y posterior al embalse
- Resultados de ensayo de los materiales

- Fotografías aéreas
- Geología regional
- Tratamientos del cimiento

Sismicidad.- El análisis del potencial sísmico de un emplazamiento incluiría:

- Historia sísmica y tectónica del emplazamiento y entorno
- Localización de fallas activas y potenciales
- Efectos con influencia sobre las estructuras: vibraciones, desplazamiento de cimientos, deslizamientos, asientos, licuefacción y oscilaciones del embalse
- Terremoto máximo probable. Localización y magnitud
- Sismicidad inducida (potencial)

Hidrología y datos hidráulicos.- Los datos previos a una evaluación de seguridad son obtenidos desde:

- La información recogida en el proyecto
- Planos y diseño de aliviaderos y desagües
- Embalses y derivaciones situados aguas arriba
- Cálculos de las avenidas de proyecto y extrema
- Estudios de circulación de caudales
- Registros de operación y mantenimiento, incluyendo procedimientos aplicables a los aliviaderos y desagües
- Reevaluación de la capacidad de los aliviaderos basada en las tecnologías e información actuales

Presas de hormigón.-

- Planos, especificaciones y otros datos de diseño
- Informes sobre el tratamiento de las cimentaciones
- Informes geológico y sismológico sobre el emplazamiento y entorno
- Datos de exploración del cimiento, incluyendo fotografías, testigos y muestras

- Ensayos de laboratorio
- Informes y registros de la construcción
- Comparación de las cimentaciones y hormigón de diseño con los valores reales resultantes de los reconocimientos, construcción y ensayos de laboratorio
- Posible existencia de explotaciones mineras que puedan afectar a la presa o embalse

Atendiendo a las cimentaciones se puede obtener información útil a partir de la siguiente documentación:

- Características del macizo rocoso en el emplazamiento
- Geología regional
- Testigos y muestras
- Informes sobre los tratamientos realizados
- Filtraciones y drenajes
- Planos y detalles de diaclasas, fracturas, fallas, zonas débiles, manantiales o cualquier otra singularidad apreciada.

En cuanto a las características de los materiales que constituyen las presas de hormigón son pertinentes los siguientes datos:

- Resistencia y durabilidad de los hormigones
- Módulos de rotura y elasticidad
- Tipo de cementos, adiciones, áridos y relación a/c empleados
- Altura de tongadas y método de colocación
- Tratamiento de las juntas de contracción y paramentos
- Histórico del hormigonado e inyecciones de juntas
- Calor de fraguado de las distintas dosificaciones. Temperaturas
- Procedencia y características físicas, químicas y mineralógicas de los áridos

Los datos analíticos útiles para la evaluación de presas de hormigón en servicio pueden ser obtenidos a partir de:

- Los cálculos de estabilidad y tensionales

- Ensayos de los materiales
- Estudio de las cimentaciones
- Condiciones de carga contempladas
- Variación de temperaturas
- Programa y secuencia de las inyecciones de juntas
- Situación térmica previa a las inyecciones de juntas
- Análisis del valor y distribución de subpresiones en la cimentación
- Existencia de “artesas” en las juntas de contracción
- Resultados del análisis de los estribos
- Comparación de tensiones y deformaciones reales y de cálculo

Presas de materiales sueltos.- Con el mismo criterio utilizado para las presas de hormigón se relaciona la posible procedencia de información útil, previa a la evaluación de la seguridad:

- Planos, especificaciones y otros datos de diseño, incluyendo el análisis de la estabilidad.
- Información geológica y sísmica
- Ensayos de laboratorio
- Informes de la construcción, incluyendo fotografías
- Registro de filtraciones y drenajes
- Informes de auscultación
- Inspecciones e informes de operación y mantenimiento
- Comparación de criterios de diseño y métodos analíticos originales con las prácticas actuales
- Comparación de las cimentaciones y materiales de diseño con los datos obtenidos de los reconocimientos, construcción y ensayos de laboratorio
- Posible existencia de explotaciones mineras que puedan afectar a la presa o embalse

Información útil sobre las cimentaciones puede obtenerse del estudio de:

- Características del terreno en el emplazamiento

- Geología regional
- Testigos y muestras
- Informes del tratamiento de las cimentaciones
- Registro de filtraciones y drenajes
- Planos y detalles de diaclasas, fracturas fallas, zonas débiles, manantiales o cualquier otra singularidad apreciada.

Los datos sobre los materiales, para la evaluación de las presas de materiales sueltos existentes deben incluir:

- La clasificación, gradación y límites de Atterberg
- Densidades
- Humedades
- Ensayos de heladicidad del rip-rap
- Consolidaciones y asentamientos
- Solubilidad
- Test de dispersión de arcillas
- Permeabilidad
- Análisis petrográficos y mineralógicos
- Procedimiento de terraplenado, incluyendo espesores de cada capa, energía de compactación y método empleado.
- Ensayos de control durante la construcción
- Propiedades resistentes, estáticas y dinámicas

Los datos analíticos para la evaluación procederán normalmente de las siguientes fuentes:

- Análisis de la estabilidad
- Ensayos de materiales
- Estudio de las cimentaciones
- Condiciones de carga contempladas

- Análisis de la distribución de presiones intersticiales
- Análisis de la distribución de filtraciones en presa y cimientos
- Estudio de los estribos
- Comparación de deformaciones teóricas y reales, en presa y cimientos
- Levantamientos o fracturas originadas por inyecciones

14.5.2.1 Revisión geológica

Los riesgos geológicos y sísmicos habrán de ser cuidadosamente analizados. Es por ello que, considerando la información disponible, el equipo inspector deberá decidir si procede la realización de una evaluación detallada o de un análisis dinámico, de forma prioritaria.

En el entorno del embalse se debe analizar la posible existencia de laderas inestables. La fotografía aérea puede ser un paso inicial para definir las zonas potencialmente peligrosas. Las inspecciones subterráneas pueden ser útiles para determinar la extensión y características de los macizos inestables.

Otra parte importante de la evaluación son los estudios necesarios para estimar la existencia de fallas en el emplazamiento o su vecindad. Se han dado casos de existencia de presas antiguas sobre fallas previamente desconocidas.

El evaluador puede encontrar roca sana visible en la cimentación de una presa pero insuficiente información de sondeos que aseguren que el conjunto es adecuado. Si la presa se ha comportado correctamente durante muchos años y la cimentación no muestra signos negativos una reevaluación puede ser innecesaria. Estos juicios deben ser hechos por expertos, a la vista de toda la información disponible.

14.5.2.2 Revisión hidrológica

Muchas ruinas de presas responden a la predicción inadecuada de los caudales de avenida. Incluso el más concienzudo análisis del potencial hidrológico ha mostrado siempre cierta incertidumbre para los eventos poco frecuentes. El desagüe proyectado debe estar basado sobre probabilidades extrapoladas de un registro histórico, pero caudales considerados improbables han destruido presas.

Algunos viejos aliviaderos están infradimensionados, lo que se atribuye al empleo de métodos primitivos basados mayormente en fórmulas empíricas. En ausencia de datos hidrológicos adecuados y de técnicas analíticas, las avenidas eran calculadas algunas veces como un múltiplo arbitrario del caudal máximo conocido o estimado hasta la fecha. Estas deficiencias son especialmente peligrosas en presas de materiales sueltos con aliviaderos insuficientes, por las graves consecuencias de los desbordamientos.

Si al evaluar el riesgo hidrológico se observa que los datos de caudales no son correctos se procederá a su actualización y puesta al día, determinando el nuevo valor que resulte para la estimación de avenidas.

14.5.2.3 Revisión del diseño

El diseño de una presa debe ser revisado para comparar las previsiones con el comportamiento real. También es necesario verificar que la construcción se realizó conforme a lo especificado y tener en cuenta las posibles alteraciones introducidas para acomodarla a condiciones imprevistas.

Se ha de comprobar si se satisfacen los requerimientos estructurales e hidráulicos comparando los criterios empleados en el proyecto con las tecnologías actuales. En caso de discrepancia prevalecerán estas últimas.

Se verificará que los datos utilizados en el diseño incluyen todas las circunstancias adversas que sean posibles, así como su posible cambio en el tiempo. De este modo, la existencia de información adicional, como puede ser sísmica o hidrológica, debe ser incluida para determinar sus efectos.

Un diseño inseguro puede resultar de inadvertencia u omisión de una condición de carga especialmente desfavorable, de materiales insuficientemente probados, de la adopción errónea de propiedades o de la exploración inadecuada de la cimentación, entre otras causas.

14.5.2.4 Revisión de la construcción

Condiciones no conocidas anticipadamente y descubiertas durante la construcción, tales como un cimiento débil o alto nivel freático en el terreno, son circunstancias que deben ser tenidas en cuenta en las revisiones.

Los ensayos de laboratorio pueden precisar sospechas acerca de deficiencias, en materiales y métodos de construcción.

La evolución de las condiciones originales de presa y cimiento y la matización de los cambios habidos puede ayudar a identificar áreas de especial atención.

Los defectos originados durante la construcción pueden ser múltiples, desde un inadecuado tratamiento de las cimentaciones a un pobre control de la colocación de los materiales, que puede ser de gran trascendencia aun cuando tenga carácter singular. En otros casos los defectos son consecuencia de no haber realizado los esfuerzos necesarios para conocer condiciones ocultas a los proyectistas.

Los informes de la construcción, y en particular la Memoria exigida por la legislación española, deben proporcionar las claves que permitan analizar su influencia en la seguridad.

14.5.2.5 Revisión de la operación

Los informes de la operación y mantenimiento, así como la constatación de desviaciones en las prácticas previstas, deben ser examinados para identificar la existencia de problemas que puedan afectar a la presa o al embalse.

La efectividad de la vigilancia y la adecuación de la instrumentación también deben ser evaluadas.

En los informes de operación y mantenimiento de aliviaderos y desagües se debe prestar especial atención a anomalías en compuertas, válvulas, sistemas de control, estructuras de toma, conductos y disipadores de energía.

También se debe prestar atención a cualquier efecto potencialmente adverso de presas situadas aguas arriba o abajo de la presa evaluada.

14.5.2.6 Revisión de condiciones adversas

Se relacionan a continuación algunas de las condiciones adversas que se presentan con mayor frecuencia, asociadas a sus posibles causas :

Deterioro de cimientos.-	Remoción de materiales sólidos y solubles Desprendimiento de rocas Baja resistencia al corte
Inestabilidad de cimientos.-	Licuefacción Deslizamientos Subsidencia
Defectos en aliviaderos.-	Obstrucciones Rotura del revestimiento Superación de la capacidad Guías y compuertas deficientes
Defectos en desagües.-	Obstrucciones Acumulación de sedimentos Guías y compuertas deficientes Localización y posición incorrecta de las compuertas Capacidad inadecuada
Deterioros del hormigón.-	Reacciones expansivas Hielo-deshielo Filtraciones
Defectos en presas de hormigón.-	Subpresiones altas Distribución de subpresiones no prevista Desplazamientos diferenciales y deformaciones Tensiones excesivas
Defectos en presas de materiales sueltos.-	Licuefacción Inestabilidad de taludes Filtraciones excesivas Remoción de materiales sólidos y solubles Asentamientos

Defectos en las orillas del embalse.-

Erosiones
Inestabilidad
Permeabilidad

14.5.3 Revisiones de campo

Como continuación de la revisión de los datos y documentación existentes, un examen de la presa y su entorno por parte de ingenieros y geólogos experimentados facilitará el análisis de las posibles anomalías.

Las estructuras y equipos auxiliares, así como su entorno, deben ser examinados por áreas de preocupación, como pueden ser movimientos anormales, filtraciones o mal función de los equipos. Los exámenes podrán confirmar o eliminar incógnitas procedentes de la información previa.

Es de gran utilidad el empleo de guías específicas previamente preparadas. La aplicación de criterios uniformes facilita la continuidad de las inspecciones sucesivas. Esta forma de actuar es útil siempre que las guías admitan su interpretación con cierto grado de flexibilidad y no supongan una limitación al ámbito del examen.

El personal familiarizado con la explotación de la presa debe acompañar al equipo de expertos y estar preparado para explicar los comportamientos habituales y sus tendencias. Cuando algún aspecto particular sea descubierto previamente puede ser aconsejable la incorporación al equipo de algún especialista en la cuestión.

Las deficiencias son detectadas normalmente por cambios observados en las estructuras, cimentaciones o periferia del embalse. Antes de iniciar la inspección sobre el terreno deben analizarse los informes y gráficos representativos del comportamiento, que deberán llevarse “en mano” para su comparación con las observaciones de campo.

Si algún aparato de medida fuese impreciso o inadecuado debe ser advertido y corregido por reparación, reemplazamiento o implantación de dispositivos complementarios.

El examen de la presa es aconsejable realizarlo en situación de embalse lleno, por ser la máxima condición de carga. Las partes sumergidas pueden ser examinadas por buzos, hombres-rana o utilizando dispositivos diversos de inspección subacuática existentes en el mercado.

Desde que la presa está en servicio debe establecerse un programa de inspecciones, con una periodicidad media del orden de 3 a 6 años (para las presas españolas ver capítulo 11.3.14). Es obvio que la intensidad de la revisión será función del estado y grado de conocimiento de la presa a analizar. En cualquier caso los informes resultantes de la evaluación deben describir detalladamente todos los problemas observados y las acciones recomendadas para remediarlos. Las fotografías y croquis pueden ser de gran valor para comparaciones futuras, por lo que se propone su inclusión en la documentación permanente de presa y embalse (Archivo Técnico).

Es aconsejable que el equipo de inspección documente las observaciones sobre el terreno mediante descripciones realizadas “in situ”. Las anotaciones deben ser lo más precisas posibles

en cuanto a la localización y naturaleza de la anomalía observada. Cualquier incidencia que se separe del comportamiento normal debe quedar registrada como un posible indicador del origen de una deficiencia o problema incipiente.

14.5.3.1 Revisión del entorno

Se debe prestar atención a las laderas del embalse para observar la posibilidad de deslizamientos, la existencia de fallas activas, erosiones o caminos de fugas. La inspección del terreno se puede complementar con inspecciones aéreas, interpretación fotográfica, triangulaciones e instrumentación. Cada área potencialmente peligrosa debe ser revisada después de grandes lluvias u oscilaciones rápidas del embalse, debiendo prestarse especial atención al primer llenado del embalse y continuar las inspecciones de forma periódica con la regularidad necesaria en el tiempo.

Las construcciones en la proximidad de los embalses, tales como carreteras, ferrocarriles, alcantarillas y drenajes pueden crear problemas de estabilidad no existentes en un principio.

Las características de un deslizamiento incluyen su talud, superficie y profundidad, origen temporal, clase de los materiales, contenido de agua, valor y sentido de los movimientos y su proximidad a las estructuras. El riesgo asociado será función del tamaño y localización del deslizamiento. Un volumen pequeño que afecte al normal funcionamiento de un aliviadero o desagüe puede constituir una amenaza para la seguridad de la presa.

El equipo inspector debe entender las causas y modos de los deslizamientos, interpretando adecuadamente los escarpes, combas, inclinaciones de los árboles o pérdida de alineaciones preexistentes. Estas observaciones se complementarán, en caso necesario, mediante triangulaciones y nivelaciones realizadas desde referencias estables.

El estudio de leyes de filtraciones y de su variación en el tiempo es parte sustancial de un programa de vigilancia adecuado. Las fugas potenciales son de particular importancia cuando las laderas del embalse o el cimiento de la presa son aluviales o están compuestos de materiales no consolidados y en el caso de ciertas rocas sedimentarias o volcánicas. Los caminos de filtración suelen localizarse en estratos de grava, zonas de falla, diaclasas y grietas de la roca o en canales de disolución.

Las fugas son frecuentes en embalses sobre terrenos volcánicos, calizos, sedimentos eólicos y aluviones, los dos últimos muy sensibles a la erosión. Las barreras naturales que confinan un embalse deben ser estudiadas cuidadosamente para evaluar su potencial debilidad. Los sedimentos ligeramente consolidados y materiales ligeros como las cenizas volcánicas son también sospechosos.

En regiones áridas o semiáridas, las formaciones bajo el nivel del embalse pueden sufrir apreciables pérdidas de resistencia por saturación, lo que determina una especial atención durante el primer llenado. En otros casos las condiciones adversas pueden desarrollarse lentamente, lo que requiere una monitorización a largo plazo.

14.5.3.2 Presas de hormigón

Se tratará de ver si existen indicios de tensiones excesivas o inestabilidad.

La observación de deformaciones y desplazamientos mediante la utilización de métodos topográficos y péndulos es una práctica generalizada que debe mantenerse durante toda la vida de la presa. Del mismo modo, la observación de las juntas manifestará la existencia de movimientos entre bloques y las inspecciones visuales deberán chequear las alineaciones de parapetos, barandillas o cualquier otro elemento geométrico que haga patente la existencia de movimientos relativos, analizando sus posibles causas.

En los paramentos podrán observarse síntomas de sobretensiones, meteorización, reacciones químicas, cavitaciones y erosiones. La fisuración y cuarteado de las superficies deben interpretarse comparativamente con observaciones anteriores, analizando su causa, evolución y transcendencia. Es útil la comparación del comportamiento superficial en las galerías con el de los exteriores.

Para las filtraciones se debe indicar su procedencia, tal como rotura de estanqueidades, retomas mal ejecutadas, drenes, fisuras, etc. La constatación de un pequeño caudal obtenido como diferencia entre los totalizadores y los valores catalogados es un índice de la calidad de estas mediciones. El seguimiento continuo permite la elaboración de gráficos y la comparación en situaciones análogas de cota de embalse y estado térmico.

El mismo control de caudales debe realizarse sobre los drenes de presa y cimiento, de forma individual, para comprobar su eficacia y su volumen en el tiempo. De existir constancia de obstrucciones o colmataciones se deberá proponer su limpieza o la perforación de otros nuevos.

La aparición de fisuras es, probablemente, el síntoma más serio de la existencia de perturbaciones en el comportamiento del hormigón. Las condiciones asociadas pueden incluir filtraciones, depósitos por lixiviación o cuarteo de esquinas o similares. Las condiciones anormales también pueden tener su origen en las propiedades físico-químicas del hormigón, lo que debe analizarse mediante estudios específicos. Para apreciar los daños es práctica habitual la perforación de sondeos con extracción de testigos que pongan de manifiesto la profundidad y naturaleza del deterioro, la existencia de vacíos, situación de juntas de hormigonado y del contacto con el cimiento, o cualquier otra singularidad que sea de interés.

14.5.3.3 Presas de materiales sueltos

La inspección visual debe investigar la posible existencia de fisuras, deslizamientos, hundimientos, erosiones, filtraciones, madrigueras y vegetación indeseable. La auscultación debe informar acerca de los asentamientos y desplazamientos horizontales. La fisuración suele iniciarse en la coronación o en sus proximidades.

Otra cuestión de interés es la aparición de zonas húmedas y manantiales, tanto en los taludes, estribos y cimentaciones como en zonas relativamente alejadas de la presa. Todos estos caudales así como los resultantes del drenaje de presa y cimientos, deben ser medidos regularmente. Las variaciones, crecientes y decrecientes, deben ser analizadas para averiguar sus causas y el detrimento potencial de la seguridad de la presa y embalse.

Los desplazamientos pueden ser detectados por la pérdida de alineaciones en parapetos, barandillas o estructuras. El asentamiento de la coronación implica una pérdida de resguardo que puede llegar a tener importancia en algunos casos.

En los taludes se pueden observar fisuras o combas cuyo origen ha de ser interpretado. La retracción por desecación superficial puede ser inofensiva. Por el contrario, una fisura longitudinal, o escarpe, puede indicar el extremo superior de un deslizamiento masivo o la existencia de movimientos diferenciales entre distintas zonas de la presa.

La fisuración transversal especialmente próxima a los estribos suele ser resultado de esfuerzos cortantes debidos a asentamientos relativos.

Todas las observaciones deben ser documentadas mediante informes precisos de la localización y características de estas evidencias, usando planos, fotografías y descripciones adecuadas. Estos datos serán útiles para comparaciones futuras y la determinación de tendencias.

Los equipos de auscultación, hitos, piezómetros, inclinómetros y medidores de asentamientos internos deben ser revisados y mantenidos adecuadamente ante la posibilidad de daños que alteren su funcionamiento correcto. En los piezómetros abiertos y los medidores de filtraciones se comprobará la ausencia de obstrucciones.

El talud de aguas arriba se examinará aprovechando los descensos del embalse y en su defecto mediante revisiones subacuáticas. Se prestará especial atención a la unión con estructuras, internas o limítrofes. Estas interfases son propicias a la creación de caminos de fuga y consiguientes erosiones.

Las plantaciones de hierba sobre las presas y en su vecindad deben estar segadas convenientemente para permitir las observaciones. Los árboles y matorrales se deben evitar no solo porque también limitan la visibilidad sino porque suponen un riesgo debido al efecto de los vientos, y por la invasión de las raíces que altera el equilibrio de los terraplenes consolidados.

El terraplén también se ha de mantener libre de guaridas de animales.

14.5.3.4 Aliviaderos y desagües

Los canales de descarga de aliviaderos y desagües han de ser estables y estar libres de desechos y vegetación. Se examinará la existencia de erosiones, hundimientos, manantiales y daños potenciales producidos por la corriente. Estas degradaciones pueden crear condiciones especialmente adversas para la circulación del agua.

También se ha de verificar que la capacidad no está restringida por dispositivos no autorizados, tales como pantallas o esclusas.

En las estructuras de hormigón se examinará la existencia de daños por meteorización, fisuración, reacciones químicas, erosiones, cavitación y vandalismo. Si hay sospechas de desplazamientos deben ser verificadas.

Las juntas transversales de las paredes y suelos, en los canales, deben estar libres de resaltos para prevenir el dislocamiento de paneles durante el paso de grandes caudales. Cuando las velocidades son elevadas también son origen de cavitación.

Los rellenos adyacentes a las estructuras de evacuación han de ser inspeccionados para la observación de posible subsidencia originada por sifonamiento.

Las filtraciones o fugas existentes deben ser conducidas fuera de los elementos corrosibles, de los conductos eléctricos y de las tuberías e instalaciones fijas.

Todos los elementos de aireación de los aliviaderos, desagües y cuencos amortiguadores han de estar bien dimensionados y limpios, para que su función sea satisfecha plenamente.

Otras condiciones negativas que pueden afectar al paso del agua, tales como desplazamiento de las estructuras, mal acabado de las superficies, reintegro inadecuado, falta de drenaje, etc., deben ser observadas en las revisiones de campo.

Con independencia de la presa propiamente dicha, se ha de constatar la suficiencia del cauce de aguas abajo, retirando los depósitos de sedimentos, maderas arrastradas o masa vegetal que pudiera desarrollarse en el mismo. El mantenimiento de esta situación operativa requiere una cierta frecuencia al objeto de evitar transformaciones medioambientales que se consoliden de forma irreversible, incompatibles con la operación de la presa.

14.5.3.5 Equipos eléctricos y mecánicos

Como parte de la inspección regular los equipos eléctricos y mecánicos deben ser operados en todo el rango de condiciones posibles. Se observará la existencia de signos de pobre lubricación, agarre, vibraciones, sobrecalentamientos, inadecuación de los sistemas de control remoto y el funcionamiento de las fuentes de energía principal y auxiliar. También se examinará la existencia de deterioros, corrosiones, holguras y de partes gastadas o rotas. Los cierres de las compuertas deben ser inspeccionados para la observación de posibles deterioros, fisuras, desgastes y fugas. En los componentes hidráulicos también se debe observar la existencia de fugas de aceite. En las conducciones, asientos metálicos y válvulas se examinará la existencia de corrosión, cavitaciones, desgastes, pérdida de alineación y fugas. El pozo de bombas debe ser operado para asegurar su comportamiento correcto. También conviene verificar que las aireaciones de válvulas y compuertas están abiertas y protegidas.

Durante el examen hay que prestar atención a la existencia de instrucciones de operación claras, completas y adecuadas y a su disponibilidad en los lugares en que son necesarias.

Se deben comprobar las salvaguardas de los equipos de control contra operaciones no autorizadas. De existir equipos de prevención de hielos su comportamiento será verificado operándolos.

Los equipos eléctricos y mecánicos deben estar adecuadamente protegidos de la intemperie y contar con la calefacción y ventilación adecuada, si es necesaria. Las ataguías, estructuras de elevación o vigas necesarias han de estar disponibles para su utilización fácil.

El equipo inspector enjuiciará la adecuación y suficiencia del personal responsable de las funciones de operación y mantenimiento, incluso en condiciones inusuales o con problemas en el equipamiento. El manual de mantenimiento será analizado para verificar su conformidad con los requerimientos.

La accesibilidad a los controles y partes vitales en condiciones de emergencia debe estar asegurada. Para mayor garantía se considerará la necesidad de controles remotos.

Si las condiciones durante la operación impiden el examen o el funcionamiento de un desagüe o de sus compuertas y válvulas, esta revisión debe ser realizada posteriormente, hasta completar minuciosamente el informe.

Algunos aspectos particulares de los equipos electromecánicos se comentan a continuación.

En las compuertas de sector, flotantes, se verificará su funcionamiento actuando sobre las válvulas que lo regulan, especialmente sobre la de vaciado de la cámara de flotación, que ha de estar limpia de lodos por decantación. También se debe constatar la ausencia de filtraciones hacia el interior de las compuertas y verificar el buen estado de funcionamiento e integridad de válvulas, cables y demás mecanismos que constituyen el automatismo.

Existe una cierta dificultad para revisar los desagües profundos, sometidos a la carga del embalse, parcial o total, por necesidades de la explotación. La revisión de las partes accesibles tales como equipos oleohidráulicos de accionamiento, motores, estanqueidades, empaquetaduras, etc., seguirá los procedimientos generales, poniendo especial delicadeza en la maniobra de las válvulas de by-pass, que están en comunicación directa con el embalse.

Es habitual que los desagües de fondo estén provistos de doble cierre, actuando el de aguas abajo como control y el superior como elemento de seguridad que se maniobra normalmente con presiones equilibradas. Pero es poco frecuente la existencia de ataguías o compuertas en el paramento de aguas arriba sobre todo en presas con cierta antigüedad, por lo que una revisión completa de los desagües de fondo solo es posible mediante el vaciado del embalse o habilitando algún cierre de la embocadura no previsto en un principio. En los desagües profundos en posición de cierre se debe comprobar la ausencia de fugas, para evitar fenómenos de cavitación cuya reparación es siempre difícil y costosa.

Los problemas más frecuentes en los desagües de fondo tienen relación con aireaciones deficientes y consiguientes fenómenos de cavitación y vibraciones. Existe también una cierta renuencia a realizar pruebas sistemáticas por la desagradable sensación que producen los ruidos y vibraciones que normalmente acompañan a las fases de apertura y cierre, aun cuando no consta la existencia de accidentes importantes por este motivo. Es por ello que se debe recuperar el funcionamiento de los desagües que no estén operativos, especialmente en aquellos casos en que es patente su influencia en la seguridad de la presa.

La operación frecuente de todo tipo de compuertas y válvulas es especialmente necesaria en determinados emplazamientos propicios a la formación de concreciones o depósitos minerales que pueden llegar a impedir totalmente el movimiento.

Las bombas de agotamiento, con arranque automático, ponen de manifiesto sus deficiencias estableciendo un sistema de alarma de alto nivel. La tendencia actual a instalar bombas sumergibles evita los problemas que pueden derivarse del descebado de las aspirantes.

La fuente de energía auxiliar debe estar prevista para la operación de equipos en caso de fallo de la fuente principal. La reserva de combustible será adecuada, en todo tiempo, para operar el grupo electrógeno durante una parada importante. Se debe comprobar frecuentemente su funcionamiento y las instrucciones para su operación deben ser claras y accesibles de forma conveniente, aun cuando esté programado su arranque automático.

15.

MÉTODOS DE MEJORA DE LA SEGURIDAD. ESTUDIO DE CASOS ESPECÍFICOS

15.1 Introducción

Como consecuencia de la evaluación de seguridad de una presa será necesario, en ocasiones, proceder a su mejora. Esta circunstancia se producirá generalmente como resultado de dos situaciones:

- 1) La presa en su fase de explotación ha sufrido algún deterioro o se ha puesto de manifiesto alguna deficiencia que aconseja mejorar su seguridad.
- 2) La existencia de nuevas normativas, cada vez más exigentes en materia de seguridad, hacen necesario tomar medidas para adaptar las presas a las nuevas demandas en esta materia. En particular, las presas antiguas se proyectaron y construyeron con criterios muy alejados de los actuales.

El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses establece en su artículo 5.8 las revisiones periódicas de las presas bajo su ámbito, en tanto que el artículo 33.4 determina la necesidad de corregir las insuficiencias detectadas para garantizar la seguridad, todo lo cual ya ha sido comentado anteriormente.

Dado el carácter progresivo de la aplicación del Reglamento es previsible que estas obligaciones sean extensivas a todas las presas a corto plazo, con independencia de su titularidad.

Por tanto, realizada la evaluación de seguridad, con motivo de una revisión periódica o después de una situación excepcional, puede ser preciso proponer las acciones correctoras necesarias que la garanticen. Estas acciones pueden ser de tipo estructural, actuando sobre la propia presa o sus instalaciones complementarias, o no estructural, limitando la explotación del embalse o introduciendo salvaguardas adicionales. Una vez que la modificación se considera necesaria es

evidente que la presa se encuentra en condiciones de riesgo que deben mitigarse de manera temporal, hasta que se realicen las correcciones definitivas, generalmente aplicando medidas no estructurales.

La exposición que sigue se refiere fundamentalmente a las actuaciones de mejora de la seguridad de tipo estructural que son las que habitualmente tienen carácter permanente.

La casuística de estas actuaciones es muy variada. Puesto que cada presa es única, los deterioros o necesidades de incrementar la seguridad que pueden experimentar son muy diversos y aunque se trata de sistematizar las actuaciones más frecuentes es evidente que no quedará cubierta toda la gama de posibilidades. Es recomendable, por ello, revisar la amplia bibliografía existente sobre los casos específicos de presas que han necesitado modificaciones o actuaciones para mejorar su seguridad. En el apéndice de este apartado se incluye una relación de referencias bibliográficas para orientar al lector sobre la amplia casuística mencionada. Se añade también una serie de fichas de presas españolas en las que se han llevado a cabo actuaciones concretas.

15.2 Presas de hormigón o mampostería

En el capítulo 14.5 se han descrito los principales problemas que pueden presentarse. Las mejoras de la seguridad con carácter general pueden conseguirse con los siguientes procedimientos (R 1):

Agrietamiento. Para la adopción de medidas eficaces es fundamental el conocimiento del proceso que lo origina, por lo que debe investigarse la causa del mismo mediante ensayos de los materiales, analizando los resultados de la auscultación o cualquier otro tipo de investigación que se considere procedente. En cualquier caso, se pueden adoptar medidas paliativas como la inyección de las fisuras con morteros, lechada de cemento, resinas sintéticas u otros productos, y la protección y refuerzo de las partes alteradas, con hormigón, gunita o pinturas especiales. Gran parte de los fenómenos físico-químicos en el hormigón se favorecen con la presencia de agua, por lo que puede ser aconsejable un tratamiento de impermeabilización con resinas epoxi u otras aplicaciones sobre el paramento, sin olvidar el drenaje controlado que capte y recoja ordenadamente las fugas residuales.

Filtraciones en la fábrica. Suelen estar asociadas al problema anterior o a defectos derivados de la construcción. Una vez analizada la situación, su tratamiento puede requerir trabajos de inyección importantes, que frecuentemente se realizan en diversas fases a tenor de los resultados. También es frecuente la necesidad de reparar los elementos de estanqueidad de las juntas y en situaciones más severas el sellar con algún material impermeable el paramento de aguas arriba. Al igual que en el caso anterior procede el drenaje de las filtraciones residuales.

Las filtraciones importantes en el cimiento de las presas son siempre un motivo de preocupación, aunque si son estables y no producen deterioro progresivo pueden no afectar a la seguridad. A este respecto cabe citar que en muchas presas españolas, con permeabilidad del cimiento de tipo medio, la pantalla de inyecciones se ha pospuesto hasta después de la puesta en carga, durante la cual se controlaban las filtraciones con la pantalla de drenaje y a partir de ahí se decidía si era necesario inyectar el cimiento en su totalidad o en parte. La exposición detallada

de esta forma de actuar, que se conoció en su momento como “método español de tratamiento del cimientto”, puede seguirse en el artículo de referencia (R 2).

En ocasiones, la elevada permeabilidad del cimientto requiere un tratamiento de impermeabilización previo a la puesta en carga.

Integridad de la estructura. Estos problemas son específicos de cada caso y requieren un análisis individualizado a partir de los datos suministrados por la instrumentación de la presa o por otros medios para evaluar su seguridad. Con generalidad, se han tratado estos casos con procedimientos tales como el empleo de anclajes, refuerzos masivos del paramento de aguas abajo o estribos, y en caso de subpresiones excesivas aumentando el drenaje. El control de esta última variable es un elemento importante de la seguridad, por lo que los drenes deben mantenerse adecuadamente en todo momento.

Un caso particular de estos problemas es el de las presas de contrafuertes, entre los cuales ha sido frecuente el arriostramiento por medio de vigas, muros o placas, al objeto de mejorar su estabilidad lateral.

Baja resistencia y elevada permeabilidad del cimientto. Se mejora la resistencia con tratamientos generalizados de consolidación y drenaje y, si fuera necesario, con anclajes y obras de fábrica auxiliares. El relleno de fallas y la sustitución total o parcial de capas débiles por hormigón, formando llaves de refuerzo, son métodos frecuentemente utilizados.

El refuerzo o rehabilitación de las pantallas de impermeabilización del cimientto son muy frecuentes, bien porque el tratamiento inicial resultó insuficiente o porque se ha observado una reducción de su eficacia con el tiempo.

15.2.1 Casos específicos de mejora de la seguridad en presas de fábrica.

Agrietamiento del hormigón.-

En España, como en el resto del mundo, se han producido fenómenos de agrietamiento de presas. Dentro de las bóvedas cabe citar (R 3) los siguientes casos:

Las presas de Quiebrajano, La Tajera, Las Cogotas y Pontón Alto han desarrollado fisuras de contorno en el pie del paramento de aguas abajo. En los cuatro casos, la situación se ha producido con embalse vacío y temperatura alta. En la presa de Quiebrajano se han realizado estudios y simulación mediante modelos numéricos pero no se ha acometido hasta el momento ninguna acción de refuerzo, aunque se ha instalado un sistema de riego para refrigeración del paramento visto. En La Tajera la reparación consistió en el macizado de la galería perimetral, la inyección de fisuras con resinas epoxídicas y la colocación de anclajes en las zonas traccionadas. También se utilizaron inyecciones de resina en las reparaciones de Pontón Alto y Las Cogotas.

Las presas de Susqueda y El Atazar han desarrollado una fisuración cuyo mecanismo es distinto al de las anteriores. En la presa de Susqueda, después de 21 años de funcionamiento correcto, se han formado unas fisuras sensiblemente horizontales que afectan a la parte superior de la presa y profundizan desde el paramento de aguas arriba hasta el hastial de la galería superior. La presa

de El Atazar (Ficha 1) tiene una fisura que afecta a varios bloques y se desarrolla desde el paramento de aguas arriba cruzando la galería intermedia. Ha sido sellada e inyectada en varias ocasiones con resinas epoxídicas.

También se incluyen en este apartado las patologías producidas por los fenómenos expansivos en el hormigón de las presas, debidos a reacciones físico-químicas. Existe abundante bibliografía española sobre estos fenómenos, en la que se describen tanto los síntomas como las soluciones adoptadas (R 4). Un resumen de algunas de las actuaciones recogidas en ésta y otras publicaciones se incluye en el cuadro siguiente, detallándose más las actuaciones en la presa de San Esteban (Ficha 2).

PRESA	AÑO CONSTRUC.	TIPO	ALTURA (m)	SÍNTOMA	REPARACIÓN
San Esteban	1955	Arco-Gravedad	115	Deformaciones hacia el embalse. Elevación de la coronación. Fisuración y apertura de retomas.	Tratamiento de fisuras y retomas e impermeabilización de juntas y del paramento mojado en su mitad superior. Monitorización complementaria.
San Mauricio	1954	Arco-Gravedad	19	Deterioro de juntas de mampostería por ataque del hielo y de las aguas puras. Filtraciones.	Impermeabilización del estribo derecho con resinas y del cuerpo de presa con resina de poliuretano.
Cavallers	1960	Contrafuertes	70	Deterioro de las vigas pentagonales de las juntas produciendo filtraciones.	Regeneración de las vigas pentagonales, para impermeabilizar la presa, a base de dos morteros, uno hidráulico especial y otro con resina epoxi. Sellado con resina elástica de las juntas de dilatación.
Salas	1972	Contrafuertes	50	Grietas en los contrafuertes por expansión del hormigón.	Inyección de grietas con resina epoxi. Impermeabilización de paramentos con laminado in situ y sellado de juntas entre bloques.
Portodemouros (aliviadero)	1967	Escollera	93	Fisuras en la galería del aliviadero por expansión del hormigón y filtraciones. Empuje sobre cajeros del aliviadero.	Arriostramiento bloques aliviadero con hormigón y anclajes. Tratamiento del cemento. Impermeabilización de bloques aliviadero y apertura de junta para eliminar empujes.

FICHA 1**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : El Atazar
Tipo : Bóveda
Altura : 134 m
Año de terminación : 1972
Cota de coronación : 873,4

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En 1972 se abrió una fisura a la cota 770 que cortó el hastial de aguas arriba de la galería situada a esa cota en el bloque segundo de la margen derecha. La fisura se trató con inyecciones de cemento desde la galería. La presa se comportó bien hasta 1977 en que volvió a abrirse la fisura existente. Se trató y posteriormente volvió a producir grandes filtraciones. La grieta es activa en el sentido de que una penetración de agua hace que se abra y se incremente el caudal, incluso con nivel de embalse bajo.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Se realizaron diversas investigaciones para definir el tamaño de la fisura y se procedió a su reparación. Se hicieron reparaciones entre 1978 y 1979, calafateando el paramento e inyectando resina desde la galería. Más tarde, en 1982, se realizó un trabajo suplementario y posteriormente se trabajó con buzos para reparar determinados puntos de entrada de agua que se sellaron con inyección de resina. Posteriormente se han seguido realizando periódicamente trabajos de sellado de la grieta y drenaje.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Existe control de explotación del embalse después de numerosos estudios realizados sobre la seguridad de la presa. La presa tiene una auscultación exhaustiva.

BIBLIOGRAFÍA

- R. Urbistondo y L. Yges. Presa de El Atazar. *Tratamiento de fisuras del paramento de aguas arriba*. Revista de Obras Públicas. Mayo-Junio, 1985.
- F. Blázquez. *Desplazamientos horizontales en la cimentación. Presa de El Atazar*. IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia, 1993.
- F. Blázquez y J.A. Pérez. *Experiences in the application of new technologies to the El Atazar dam*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.68, R.29. Durban, 1994.
- A. Soriano y A. Arcones. *The role of monitoring on the assessment of the safety of El Atazar dam*. Dam Safety. Balkema, 1998.

FICHA 2**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : San Esteban
Tipo : Arco-gravedad
Altura : 115 m
Año de terminación : 1955
Cota de coronación : 231

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Con la instrumentación se detectaron una serie de fenómenos irreversibles consistentes en un desplazamiento de la coronación de la presa hacia aguas arriba acompañado de una ligera elevación más marcada en los bloques del estribo derecho, en cuyo paramento se observaron algunas fisuras. Se atribuyó esto a una reacción expansiva del hormigón que fue confirmada en posteriores ensayos de laboratorio. Tiene su origen en la calidad de los áridos.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Se procedió a un tratamiento de impermeabilización general de la parte superior del paramento de aguas arriba de la presa, donde se observaban con más intensidad las singularidades descritas. Se inyectaron las fisuras y retomas con sistemas epoxídicos y como complemento se sellaron y rellenaron juntas radiales con resinas elásticas, no adherentes, al objeto de reducir las filtraciones.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

No se observan humedades en el paramento de aguas abajo, las filtraciones interiores del cuerpo de la presa se han reducido drásticamente y las fisuras y retomas han quedado perfectamente adheridas. Sin embargo, el fenómeno expansivo, de masa, prosigue lentamente su evolución, que es auscultada con especial minuciosidad.

BIBLIOGRAFÍA

- J. Cajete y A. Gil. *Revisión general y actuaciones en la presa de San Esteban*. Revista de Obras Públicas. Abril-Mayo, 1988.
- A. Gil. *Regeneración e impermeabilización de la presa de San Esteban*. Reparación de obras hidráulicas de hormigón. UPC-Colegio de ICCP, 1991.
- A. Gil y J. Cajete. *Study on the interaction aggregate-paste in the concrete at the San Esteban dam*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.65, R.4. Viena, 1991.

Filtraciones en la fábrica

Existen numerosos casos de permeabilidad de la fábrica en los que mediante las actuaciones habituales de inyección y drenaje se han mejorado las condiciones y se ha evitado el deterioro del cuerpo de la presa. En algunos casos de presas situadas en regiones de climas extremos, como las de Cuerda del Pozo (Ficha 3) y de Arlanzón (Ficha 4), han sufrido una importante degradación general del hormigón. En ellas, a los tratamientos de impermeabilización con inyecciones, y de drenaje, se ha añadido un refuerzo de hormigón en losas armadas y ancladas al paramento saneado de aguas abajo (R 5) como protección de la obra existente.

Integridad de la estructura

Un caso interesante que puede requerir la mejora de las condiciones de seguridad de la estructura es el de algunas presas antiguas en las que no se ha tenido en cuenta la subpresión. Además de esta situación se ha podido producir un envejecimiento de los materiales, con cambios en su calidad a lo largo del tiempo, u otras circunstancias que pueden afectar a la seguridad como cargas sísmicas no contempladas, nueva información hidrológica o cambios en la explotación de la presa. Los métodos de mejora de la seguridad para presas de gravedad, con alguna de las limitaciones mencionadas (R 6) suelen ser :

- Mejorar la estabilidad con anclajes
- Colocar escollera o tierra contra el paramento de aguas abajo
- Refuerzo con hormigón contra el paramento de aguas abajo
- Recrecer la presa
- Excavación de galerías de inyección y drenaje
- Refuerzo aguas arriba
- Sellado aguas arriba con una pantalla de hormigón
- Muro de hormigón separado y apoyado en el paramento de aguas arriba
- Losas de hormigón contra el paramento de aguas arriba
- Etc.

Las actuaciones citadas en primer lugar no estarían afectadas por la situación del embalse, pero las restantes necesitan que se produzca su vaciado. En las presas de Camporredondo, Arlanzón y Agueda, todas ellas de la C.H. del Duero, se han perforado, sin explosivos, 515 m de nuevas galerías, para mejorar el drenaje y los dispositivos de auscultación. La presa de Estangento, de mampostería y arco-gravedad sin drenaje, de 20 m de altura, situada en el Pirineo catalán y terminada en 1914, fue reforzada (R 7) con una pantalla anclada colocada sobre el paramento de aguas arriba, construyendo en la base de esta pantalla una galería de inspección y drenaje y realizando drenes verticales en el cuerpo de presa y cimiento.

La presa de El Sancho, de gravedad, de 45 m de altura y construida en 1971, fue recrecida en 5 m. El análisis del cimiento reveló que la presa no sería estable con el recrecimiento por lo que hubo que añadir una estructura de refuerzo en su pie de aguas abajo, además de anclajes postensados. Las medidas adoptadas permitieron incrementar el margen de seguridad que en su estado inicial ya se presumía escaso.

FICHA 3**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : La Cuerda del Pozo
Tipo : Gravedad (planta curva)
Altura : 36 m
Año de terminación : 1941
Cota de coronación : 1.085,6

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Filtraciones que afloraban a las galerías y al paramento de aguas abajo, a causa de la mala calidad del hormigón ciclópeo y al defectuoso tratamiento de juntas horizontales, unidas a la dureza del clima, han provocado el deterioro progresivo de las superficies vistas.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Se cortaron inicialmente, en lo posible, las filtraciones a través del cuerpo de la presa mediante inyecciones realizadas desde la coronación, en la zona comprendida entre la galería y el paramento de aguas arriba. Posteriormente se perforó una nueva pantalla de drenaje y, finalmente, se reparó el paramento de aguas abajo para detener su deterioro progresivo, hormigonando in situ losas de hormigón armado ancladas al cuerpo de presa. También se han sustituido las válvulas de los desagües de fondo y de las tomas intermedias, y se reparó el canal de desagüe del aliviadero.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Se ha cortado el proceso de deterioro progresivo de la presa.

BIBLIOGRAFÍA

- J.I. Díaz-Caneja. *Restoration of La Cuerda del Pozo dam*. XVII Congreso de Grandes-Presas. Q. 65, R.37. Viena, 1991.
- J.I. Díaz-Caneja. *Reparación de la presa de La Cuerda del Pozo*. Reparación de obras hidráulicas de hormigón. UPC-Colegio de ICCP, 1991.
- J.I. Díaz-Caneja. *Evaluation of safety for dams in service in the basin of the Douro River. Remedial works*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.68, R.30. Durban, 1994.
- J.I. Díaz-Caneja. *Actuaciones en presas de la Confederación Hidrográfica del Duero*. Congreso Internacional de Conservación y Rehabilitación de presas. SEPREM. Madrid, 2002.

FICHA 4**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : Arlanzón
Tipo : Gravedad (planta curva)
Altura : 43 m
Año de terminación : 1933
Cota de coronación : 1.143,80

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La presa se construyó sin juntas ni galerías. Las filtraciones que afloraban al paramento de aguas abajo, a causa de la mala calidad del hormigón ciclópeo, la aparición de grietas verticales, y el defectuoso tratamiento de juntas horizontales, unidas a la dureza del clima, han provocado el deterioro progresivo de dicho paramento.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Con el embalse vacío, se aplicó un revestimiento epoxi elástico al paramento de aguas arriba. Se inyectó la presa y se perforó una galería perimetral de 204 m de longitud, más 17 m de galerías de acceso, todas ellas de 2,00 x 2,50 m² de sección. Se perforó una red de drenaje que corta a la galería perimetral. Finalmente, se reparó el paramento de aguas abajo para detener su deterioro progresivo, hormigonando in situ losas de hormigón armado ancladas al cuerpo de la presa. Se han sustituido las válvulas de los desagües de fondo y de las tomas intermedias.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Se ha cortado el proceso de deterioro progresivo del paramento de aguas abajo, y se ha dotado a la presa de una galería perimetral, con una red de drenaje conectada a la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- J.I. Díaz-Caneja. *Evaluation of safety for dams in service in the basin of the Douro River. Remedial works*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.68, R.30. Durban, 1994.
- J.I. Díaz-Caneja. *Actuaciones en presas de la Confederación Hidrográfica del Duero*. Congreso Internacional de Conservación y Rehabilitación de Presas. SEPREM. Madrid. Noviembre de 2002.

Baja resistencia y elevada permeabilidad del cimientto

Los tratamientos más comunes consisten en mejorar la impermeabilidad y el sistema de drenaje del cimientto. Diversos casos de refuerzo de la inyección y el drenaje en presas españolas, se describen en la referencia (R 8).

En cuanto a problemas de resistencia del cimientto que han requerido grandes reparaciones cabe citar los casos de las presas de Canelles y Mequinenza (R 9).

En la presa de Canelles (Ficha 5), bóveda de 151 m de altura cimentada en calizas cársticas, se observaron grandes filtraciones durante la puesta en carga, que también hicieron temer por la estabilidad de su estribo derecho, con muy poco volumen para resistir los empujes. Se reforzó este estribo con una importante estructura de hormigón cosida al terreno.

Otro caso de características similares, pero resuelto de forma muy diferente, es el de la presa de Bézna (R 10), bóveda de 136 m de altura, cuyo estribo izquierdo presenta enormes fracturas que lo dividen en grandes bloques que se apoyan en un plano con relleno de arcillas y buzamiento hacia el cauce, lo que hizo temer por su estabilidad cuando se saturó con el llenado del embalse.

Los trabajos de mejora de la seguridad consistieron en el lavado del relleno de las grandes fracturas y posterior hormigonado de las mismas. Con anclajes profundos, con galerías hormigonadas como enclavamiento del plano mencionado y con la sustitución de su relleno arcilloso por mortero de cemento se aseguró la estabilidad de los bloques de roca. También se realizaron importantes trabajos de impermeabilización y drenaje.

La presa de Mequinenza, de gravedad y 79 m de altura, está cimentada en calizas con estratificación horizontal, intercaladas con capas de marga y lignito. La presa se construyó apoyada en el cimientto ligeramente excavado. Cuando estaba casi terminada se realizó una evaluación de la seguridad ante el temor de un posible deslizamiento a favor de las capas horizontales de lignito y marga. Las importantes investigaciones del terreno, incluyendo ensayos de corte y de placa de carga in situ, concluyeron que el margen de seguridad era insuficiente y que resultaba necesario reforzarla. Después de considerar diversas alternativas se decidió la construcción de una estructura, en el pie de aguas abajo de la presa, consistente en un elemento en forma de "L" girada, cuyo tramo vertical interesa una mayor profundidad en las capas de apoyo y cuyo tramo horizontal aumenta la longitud de la eventual superficie de deslizamiento.

Otros tratamientos de seguridad son los trabajos de impermeabilización de cimienttos muy permeables. Dentro de estos son frecuentes en España los terrenos cársticos. La presa de Canelles, antes mencionada, tuvo importantes filtraciones durante su llenado que obligaron a realizar intensos tratamientos de inyección en el cauce y estribos. Se realizó una pantalla de inyecciones con una superficie total de 238.000 m² hasta una profundidad de 200 m. La presa de Bézna, también citada, necesitó importantes trabajos de impermeabilización de las diaclasas transversales de gran anchura existentes en su estribo izquierdo.

FICHA 5**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : Canelles
Tipo : Bóveda
Altura : 151 m
Año de terminación : 1960
Cota de coronación : 508

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Presa cimentada en calizas cársticas que experimentó grandes filtraciones a través del terreno en su primer llenado. Se reconsideró también la estabilidad del estribo derecho, con muy poco volumen para resistir el empuje de la presa. Después de un estudio detallado del macizo rocoso y de realizar modelos geomecánicos se decidió su refuerzo.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Después de estudiar la posibilidad de estabilizar el estribo con anclajes pretensados se consideró una solución inadecuada y se decidió la construcción de un refuerzo de hormigón, de 100.000 m³ aproximadamente, anclado a la roca por medio de una serie de galerías armadas y hormigonadas a distintos niveles.

Adicionalmente, las grandes filtraciones producidas en el cauce y estribos de la presa durante el llenado obligaron a realizar intensos trabajos de impermeabilización mediante inyecciones, con una pantalla con 238.000 m² de superficie y una profundidad de 200 m.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Los ensayos en modelo reducido pusieron de manifiesto el amplio margen de seguridad de la presa. También se hicieron estudios de estabilidad de los bloques de refuerzo del estribo. La instrumentación de la presa confirmó con gran coincidencia los cálculos realizados.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Alvarez, E. Herrero y J.M. Buil. *Strengthening of some existing dams*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.59, R.32. Lausana, 1985.

15.3 Presas de materiales sueltos

Los principales problemas que pueden presentarse en las presas de materiales sueltos (R 11), ya relacionados en el capítulo 14.5, se agrupan del siguiente modo, para el planteamiento de soluciones generales:

- Erosión interna
- Inestabilidad de taludes
- Deformaciones excesivas (Asientos).
- Filtraciones a través del cimient
- Inestabilidad de plintos y problemas en pantallas
- Unión entre la presa y otras estructuras
- Erosión de paramentos

Erosión interna. Puede producirse cuando haya arrastre de partículas finas en suspensión o por disolución. Las zonas agrietadas, por fractura hidráulica u otras causas, son las que presentan mayor riesgo. El empleo de materiales erosionables y filtros inadecuados en el cuerpo de la presa pueden favorecer el proceso. Los métodos de reparación consisten básicamente en restablecer la impermeabilidad del elemento estanco (en algunos núcleos que han sufrido el proceso se ha inyectado con diversos productos o bien se ha construido una pantalla continua) y en controlar la salida de las filtraciones.

Inestabilidad de taludes. Es necesario identificar previamente su origen. Puede deberse a la escasa resistencia de los materiales o al exceso de presión intersticial (construcción muy rápida, desembalse rápido). Debe controlarse la estabilidad durante la construcción (que ha producido algunas catástrofes importantes) y a largo plazo. En este último caso, pueden producirse deslizamientos del talud de aguas abajo cuando no funciona adecuadamente el sistema de drenaje (drenes ineficaces) o cuando éste no existe (algunas presas homogéneas) y pueden producirse deslizamientos del talud de aguas arriba por exceso de presión interna con motivo de un desembalse rápido. Durante los terremotos las presas de tierra suelen ser estables excepto si los materiales son susceptibles a la licuefacción.

Los métodos habituales para reforzar las presas con riesgo de inestabilidad consisten en suavizar los taludes o construir bermas estabilizadoras. En ocasiones se han utilizado procedimientos algo más complicados, como sustituir parte del material inadecuado y disponer material drenante o crear pozos drenantes verticales en el espaldón de aguas abajo para reducir las presiones internas.

Asientos excesivos.- Pueden ser causados por el cuerpo de la presa y por el cimient. Sus consecuencias son una pérdida del resguardo de la presa o el agrietamiento del núcleo, especialmente cuando se trata de asientos diferenciales. En el caso de que existan galerías perimetrales o conductos de desagüe también es probable su rotura.

Otro tipo de asientos diferenciales en una presa son los producidos por el colapso de los espaldones de escollera cuando se saturan con el llenado del embalse. La causa de este fenómeno es la debilidad del material y la compactación insuficiente, así como la falta de riego durante la colocación. La consecuencia de ello es un asiento de la escollera del espaldón de aguas arriba superior al del núcleo adyacente o al espaldón de aguas abajo, lo que puede ocasionar un agrietamiento longitudinal.

Los métodos para rehabilitar la obra, en estos casos, suelen ser sencillos y consisten en la recuperación del resguardo perdido a causa de la deformación. Las posibles roturas de galerías o conductos pueden ser más complicadas pero suelen ser subsanables. En el caso de asientos diferenciales que puedan producir el agrietamiento transversal del núcleo la situación es más delicada y merecerá un estudio específico para determinar con detalle las causas del agrietamiento antes de proceder a su reparación, sustituyendo habitualmente el material deteriorado por otro adecuado o mediante una pantalla.

Filtraciones importantes.- A través del cimiento se pueden producir por insuficiente tratamiento del mismo. No obstante, su magnitud no es preocupante siempre que sean compatibles con las condiciones del terreno y se mantengan estables para los mismos niveles de carga de agua. En algunos casos de terrenos estratificados horizontalmente con intercalación de capas permeables e impermeables, la presencia de subpresiones elevadas puede ser peligrosa para la estabilidad de la presa y el cimiento.

Los métodos de mejora del control de filtraciones consisten en la impermeabilización del cimiento mediante inyecciones, pantallas o tapices y en su drenaje mediante drenes perforados, filtros invertidos o pozos cuando se temen subpresiones altas aguas abajo. En el caso de cimientos erosionables debe prestarse la máxima atención a que los lugares previstos para la salida de la filtración queden controlados por filtros. Un análisis de las técnicas habituales de tratamiento del cimiento en España y de los trabajos de reparación realizados se encuentra en (R 12).

Inestabilidad de plintos.- (R 13). Se produce fundamentalmente a causa de su forma. Cuando es plano es muy estable pero en España se ha utilizado un tipo de plinto con galería visitable que teniendo otras ventajas (corrección del terreno, instalación de la auscultación) ha creado algún problema de estabilidad.

La mejora de la seguridad de plintos inestables se ha conseguido mediante su anclaje, su recubrimiento parcial con arcillas compactadas y el macizado con inyecciones de la escollera del trasdós.

La rotura o agrietamiento de pantallas puede producirse en su unión con el plinto o en alguna otra junta, frecuentemente por deformaciones importantes del cuerpo de presa o del cimiento. Los métodos de reparación habituales consisten en el saneamiento de las juntas deterioradas y la aplicación de nuevos materiales (como mástic) impermeabilizantes. En casos de grandes desperfectos puede ser aconsejable la reconstrucción total de la pantalla o su impermeabilización con membranas sintéticas.

Unión entre la presa y otras estructuras.- Puede presentar riesgos por dos causas principales: 1) se produce carga desigual en el contacto, por efecto arco, que puede originar fractura hidráulica; 2) el contacto puede ser un paso preferencial para el agua con riesgo de erosión interna si no se realiza adecuadamente. Son clásicos los contactos del cuerpo de presa con el aliviadero, con torres de toma y con conductos de desagüe. En este último caso existe un riesgo adicional si el conducto en contacto con el relleno lleva agua a presión pues una avería en éste puede producir arrastre del material de la presa con grave riesgo para la misma.

Los métodos de reparación, si no se han tomado medidas apropiadas durante el proyecto y la construcción, son difíciles y pueden consistir en inyecciones o en la reconstrucción de la zona afectada.

Erosión de paramentos. - Salvo en situaciones excepcionales de sobrevertido, para las cuales las presas de materiales sueltos no son adecuadas, se suelen producir daños menores en la escollera de aguas arriba originadas por el oleaje del embalse. El paramento de aguas abajo, excepto cuando no está debidamente protegido por escollera o hierba, no suele sufrir daños si se mantiene adecuadamente.

La reparación de paramentos es una tarea sencilla que consiste en la reposición de las partes dañadas.

15.3.1 Casos específicos de mejora de la seguridad en presas de materiales sueltos

Erosión interna

Es el caso de mayor frecuencia en accidentes e incidentes de presas de materiales sueltos. En España se han producido algunos: presas de Arbón y Martín Gonzalo, bien documentados en la bibliografía. La presa de Arbón (R 11), de escollera con núcleo y 32 m de altura, se terminó en 1967. Cimentada en un aluvial de gran espesor formado por arenas y gravas con intercalaciones de materiales más finos y deformables sufrió importantes asentamientos después de su construcción que produjeron un gran deterioro del núcleo, por lo que se construyó en 1976 una pantalla de bentonita-cemento para impermeabilizarlo. Esta pantalla, por problemas constructivos, no quedó bien unida a los estribos por lo que hubo necesidad de inyectar los contactos. La reparación tuvo éxito durante un cierto tiempo, pero el elevado gradiente del agua deterioró progresivamente la unión, siendo necesaria una nueva reparación de los contactos con inyecciones de varias filas para ampliar las zonas impermeabilizadas y reducir los gradientes en las mismas.

La presa de Martín Gonzalo (R 3), de 55 m de altura, se construyó con una pantalla flexible para acomodarse a los previsibles asentamientos de la escollera, muy deformable, terminándose en 1987. La pantalla estaba constituida por un geotextil impregnado en un material líquido que polimeriza y posee propiedades de adherencia al soporte formado por un aglomerado asfáltico en frío de 10 cm de espesor.

Durante el llenado se produjo la rotura de la pantalla, a una cota próxima a la mitad de la carga, en su unión con el plinto en el estribo izquierdo. En el paramento de aguas arriba se produjo un hundimiento de la pantalla, sensiblemente horizontal y a la altura de la rotura mencionada, con pérdida de material de la capa de zórras de apoyo a través del drenaje. Analizando la granulometría de la zórra y del dren de apoyo se observó que la primera era internamente inestable y que el dren no cumplía las condiciones de filtro respecto de la misma por lo que fue arrastrada por la filtración hacia el interior de la escollera del cuerpo de presa.

Los daños causados en la pantalla fueron importantes y aunque se consideraron alternativas para su reparación se decidió la construcción de una nueva solución de mayor garantía respecto a la seguridad, sustituyendo los materiales de apoyo de la pantalla primitiva.

Inestabilidad de taludes

Aunque a nivel mundial es una de las principales causas de incidentes en presas, en España no se han producido muchos casos de reparación por inestabilidad de taludes. En la presa de Barbate, de cimiento muy deformable y poco resistente que podría haber ocasionado algún deslizamiento profundo por elevación de las presiones intersticiales, se tomaron las precauciones necesarias construyendo la presa por etapas (R 15) para permitir la progresiva consolidación del cimiento y que su resistencia fuese en todo momento suficientemente elevada para garantizar la estabilidad. Aquí, por tanto, la medida adoptada para mejorar la seguridad fue la construcción con ritmo controlado de la presa.

Otro caso interesante lo constituye la rehabilitación de la presa de Cazalegas (R 16), de tierras y 26 m de altura, que se puso en explotación en 1952. En una inspección se encontraron indicios de que la presa podría tener un comportamiento no adecuado. Se realizaron las correspondientes investigaciones y, entre otras medidas de rehabilitación, se decidió reforzar el espaldón de aguas abajo con un relleno de grava para mejorar las condiciones de estabilidad.

Aunque no se trata de deslizamientos en el cuerpo de presa se relacionan aquí dos casos de deslizamiento de laderas que han afectado a aliviaderos de presas de materiales sueltos, dejando para el apartado siguiente las mejoras de la seguridad de aliviaderos motivadas por su funcionamiento hidráulico. Se trata de las presas de Arenós y Charco Redondo.

La presa de Arenós, de materiales sueltos, con núcleo inclinado y 107 m de altura, tiene un aliviadero en su margen izquierda en la que se produjeron numerosos deslizamientos, uno de los cuales afectó al muro cajero destruyéndolo e inutilizando su tercer vano, con aplastamiento de la compuerta Taintor.

Se realizó una reparación consistente en excavar un gran volumen de material de la ladera deslizante, para reducir su inestabilidad, coser la roca con bulones, anclarla con cables de 100 t y construir drenes californianos. Aunque la zona se ha mantenido estable, se produjeron otros deslizamientos de la margen izquierda hacia el vaso que han requerido estudios complementarios. La situación ha cambiado considerablemente con la construcción de un nuevo aliviadero en túnel, en dicha margen, que incrementa notablemente la capacidad de desagüe mejorando sustancialmente la seguridad.

En la presa de Charco Redondo (Ficha 6), de tierras y 72 m de altura, hubo un deslizamiento del terreno aguas abajo en su margen derecha, que produjo daños importantes en el cuenco amortiguador y canal de descarga del aliviadero. La reparación consistió en rehacer los muros afectados con una sección más resistente, en el arriostramiento con vigas de los dos cajeros del aliviadero y en el saneamiento de la zona y colocación de material pétreo bien seleccionado.

Deformaciones excesivas

En los casos de deformaciones excesivas del cimiento, los mayores problemas se han producido cuando había galerías en las presas. Puede citarse el caso de La Pedrera, de tierras y 65 m de altura, que se terminó de construir en 1978. El terreno de cimentación hasta una profundidad de unos 10 m puede considerarse de naturaleza limo-arcillosa blanda. Los asientos bajo la galería llegaron a ser de 1 m lo que produjo desperfectos estructurales en ella. Se reparó con inyecciones de resina y la colocación de marcos metálicos para reforzarla.

FICHA 6**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : Charco Redondo
Tipo : Tierras (homogénea)
Altura : 72 m
Año de terminación : 1983
Cota de coronación : 88

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La presa está cimentada sobre una alternancia de bancos de arenisca y argilitas. En 1987, se produjo un corrimiento de tierras, a consecuencia del cual se derrumbó en unos 45 m de longitud el muro izquierdo del cuenco amortiguador del aliviadero (19 m de altura) y parte del cajero izquierdo de la rápida de entrada al canal de descarga. Se había colocado un relleno aguas abajo de la presa y las fuertes lluvias saturaron el terreno al no permitir el relleno mencionado el drenaje natural, lo que pudo haber sido causa del deslizamiento. Pudo influir también en el deslizamiento una serie de seísmos de intensidad media que se produjeron en la época.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

La reparación consistió en rehacer los paños de muros afectados con una sección más resistente, el arriostramiento con vigas de la parte superior de los dos cajeros y el trasdosado de estos con material pétreo cuidadosamente seleccionado.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

El incidente ha servido para adoptar unas medidas que no se habían previsto inicialmente por lo que se ha incrementado la seguridad de esta estructura, esencial para el correcto funcionamiento de la presa.

BIBLIOGRAFÍA

- Revista de Obras Públicas. Comité Español de Grandes Presas. *Informe General*. Abril-Mayo, 1988.
- M. Alonso Franco. *Incidentes y accidentes en presas*. Curso de seguridad de presas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Mayo, 1994.
- L. Lozano, A. Merchán, J.M. Calvo. *Barrage de Charco Redondo : Rupture du massif rive gauche du bassin d'amortissement*. XIX Congreso de Grandes Presas. Q.75, R.32. Florencia, 1997.

Otro tipo de deformaciones excesivas son las correspondientes al colapso del espaldón de aguas arriba de presas de escollera cuando se satura con el llenado del embalse. Existen varias experiencias de este proceso en España pudiéndose citar como casos representativos los correspondientes a las presas de Canales, Alcorlo y Ribera de Gata.

La presa de Canales (Ficha 7) sufrió importantes asientos en coronación, durante su llenado parcial, con un asiento diferencial importante entre el núcleo y el espaldón de aguas abajo que produjo una grieta longitudinal. Investigando adecuadamente el problema mediante ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales y reforzando la auscultación, se pudo anticipar el comportamiento de la presa durante el llenado, lo que permitió llevarlo a cabo con total garantía.

La presa de Alcorlo, de escollera con núcleo, de 74 m de altura, experimentó un proceso similar al anterior. Durante su llenado, sin alcanzar el máximo nivel, se produjo un asiento de colapso en el espaldón de aguas arriba, reflejado en una grieta longitudinal que recorría todo el pavimento de coronación. Una vez evaluada la situación de seguridad de la presa se procedió a su llenado y reparación.

La presa de Ribera de Gata, de escollera con núcleo central, de 61 m de altura y terminada en 1988, sufrió un llenado muy brusco que originó una grieta longitudinal a lo largo de la coronación y agrietamientos en las aceras. Con la interpretación de los datos de auscultación se ha podido conocer el comportamiento de la presa durante la puesta en carga y durante su explotación y se ha podido constatar que se encuentra en condiciones de seguridad satisfactorias, por lo que no resulta necesario tomar ninguna acción, con excepción de la reparación de los desperfectos ocasionados en coronación por el basculamiento de la presa hacia aguas arriba, que se produce en las fases iniciales del llenado cuando hay asientos de colapso significativos.

Filtraciones en el cimiento

Los mayores problemas se producen cuando el cimiento es erosionable o soluble, en alguna medida que no ha sido prevista o suficientemente contrastada durante las fases de proyecto y construcción de la presa. Las presas de Taibilla y Caspe II son dos casos relevantes, y bien documentados, de erosión de presas iniciada por la filtración a través de cimientos solubles.

La presa de Taibilla (Ficha 8) sufrió una importante erosión por filtración localizada en un cráter situado en el espaldón de aguas arriba. Realizadas las investigaciones pertinentes se detectó la presencia masiva de yesos en el cimiento que al disolverse crearon los huecos donde se alojó la arcilla arrastrada del núcleo.

La solución para restablecer la seguridad consistió en inyectar el cimiento y sanear y excavar la parte deteriorada para sustituir el material alterado por arcilla compactada.

FICHA 7**DATOS DE LA PRESA**

Nombre :	Canales
Tipo :	Escollera con núcleo central
Altura :	156 m
Año de terminación :	1986
Cota de coronación :	965,50

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante el primer llenado parcial del embalse se midieron asientos importantes en coronación y aparecieron grietas longitudinales en la misma por la diferente deformabilidad de los materiales que forman la sección del cuerpo de presa. Los asientos obtenidos en coronación superan el metro y se produce un salto brusco entre el núcleo y el espaldón de aguas abajo.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Ante el problema planteado se decidió iniciar una investigación para conocer sus causas. Se tomaron muestras para realizar ensayos de laboratorio, se incrementó la auscultación y se inició un periodo de observación de movimientos controlando la altura del embalse. Con toda la información existente se desarrollaron modelos matemáticos para predecir el comportamiento de la presa durante el llenado total y cuantificar los asientos esperables.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Una vez evaluado el comportamiento de la presa y desestimados los riesgos del agrietamiento longitudinal producido por los asientos diferenciales entre el espaldón de aguas abajo y el núcleo, se procedió al llenado total controlado de la presa que se desarrolló según lo esperado. Completado el llenado con plenas garantías se procedió a reparar el deterioro de la coronación.

BIBLIOGRAFÍA

- MOPT. *La presa de Canales*. 1991.
- G. Bravo, S. Uriel, C. Olalla y A. Perucho. *Análisis de los asientos postconstructivos de la coronación de una presa durante el llenado del embalse*. Simposio sobre Geotecnia de Presas de Materiales Suelos. Zaragoza. Octubre 1993.
- M. Alonso Franco. *Incidentes y accidentes en presas*. Curso de seguridad de presas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Mayo 1994.
- G. Bravo, F. Girón y C. Olalla. *Behaviour models and actual behaviour of Canales Dam*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.70, R.20. Durban, 1994.

La presa de Caspe II (Ficha 9), cimentada en terrenos terciarios miocenos de margas y areniscas con intercalación yesífera, tuvo unas filtraciones muy importantes a través del cimientó, durante su llenado, que tuvieron reflejo en un cráter aparecido en la coronación originado por la erosión interna iniciada en el cimientó. La rápida actuación inyectando inmediatamente la zona afectada evitó males mayores. Posteriormente, se realizó un trabajo sistemático de inyección de todo el cimientó que ha dejado la presa en condiciones adecuadas de seguridad, pero se mantiene un control permanente por la incertidumbre que presenta este tipo de terrenos.

Otro caso interesante es la impermeabilización del cimientó de la presa de la Estanca de Alcañiz (R 17). Esta presa de tierras, de 15 m de altura, cimentada en una alternancia de arcillas, margas areniscas, calizas y yesos, experimentó, después de muchos años de explotación, un aumento súbito de filtraciones con arrastre de material. Después de las correspondientes investigaciones de la presa y cimientó con sondeos desde coronación, profundizando bastante en el cimientó, se decidió hacer una pantalla plástica a través del núcleo y profundizando en la zona afectada del terreno.

Inestabilidad de plintos

Este problema se ha producido en diversas presas españolas por la esbelta morfología de algunos plintos. Aparte de la presa de Siberio, que sufrió roturas importantes en el plinto durante su primer llenado, que la dejaron fuera de servicio durante varios años, otras presas como las del Alfilorios y Undúrraga han experimentado problemas semejantes.

En la presa de Alfilorios, de escollera y pantalla de hormigón armado, de 70 m de altura, la unión de la pantalla y la ladera se realizó mediante un plinto que aloja una galería visitable. La auscultación permitió detectar que el comportamiento de la presa no era correcto, por lo que tras el análisis de la situación, se decidió acometer una serie de mejoras de la estabilidad del plinto consistentes en un anclaje hacia aguas arriba, la inyección de la escollera del trasdós y su revestimiento, hasta cierta cota, con arcillas compactadas.

En la presa de Undúrraga, de escollera con pantalla de hormigón y 36 m de altura, el plinto tiene una esbeltez considerable. El cálculo de su estabilidad resultó negativo por lo que se han ejecutado diversos trabajos para mejorarla, tales como anclajes al cimientó, inyección de las juntas de construcción y macizado con inyecciones de la escollera del trasdós.

Unión entre la presa y otras estructuras

El contacto de una presa de materiales sueltos con el aliviadero en una de las laderas es una situación que se produce con frecuencia. En algunos casos, cuando este contacto no está bien ejecutado puede producirse una erosión del material de la presa. La de Valdabrá (R 3), homogénea de tierras, con 20 m de altura, dispone de un aliviadero de labio fijo, en su margen izquierda, en contacto con el cuerpo de presa. Durante su llenado se produjeron filtraciones con una erosión importante en su pie de aguas abajo que ponía en peligro la seguridad. Su origen fue una fuga en el contacto de la presa con el aliviadero. Este contacto vertical no resultó satisfactorio. La solución del problema consistió en descubrirlo mediante una importante excavación, reconstruir el muro cajero del aliviadero con una inclinación adecuada y ensanchar el dren chimenea en su contacto con el hormigón.

FICHA 8**DATOS DE LA PRESA**

Nombre :	Taibilla
Tipo :	Tierras (núcleo inclinado)
Altura :	39 m
Año de terminación :	1973
Cota de coronación :	1.038

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Al ponerse en carga en 1974, y al llegar el nivel de embalse a dos metros del NMN se produjo un aumento brusco de las filtraciones hasta alcanzar 90 l/s. Se bajó el embalse y se comprobó la existencia de un cráter en el talud de aguas arriba entre las cotas 1020-1027 y cerca de la margen izquierda. Se observó una filtración localizada en aquella zona de la presa.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Después de sanear la zona se excavó según la orientación del material removido (arcilla del núcleo) y se rellenó con arcilla compactada, terminando estos trabajos en 1976. Para analizar el mecanismo de la erosión se consultó a un experto que consideró que el material debía ser arrastrado a huecos del cimientó. Se investigó éste y se observó la presencia importante de yesos que al disolverse creaban los huecos por donde migró la arcilla del núcleo. Se inyectaron estos huecos con lechada de bentonita-cemento.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

El aspecto esencial es investigar suficientemente la causa de problema hasta tener un conocimiento satisfactorio del mismo. Una vez inyectada la zona deteriorada y sustituido el material alterado, la presa estaba en las condiciones de seguridad iniciales.

BIBLIOGRAFÍA

- M. Alonso Franco. *Patología de presas españolas de materiales sueltos*. Simposio sobre Geotecnia de Presas de Materiales Suelos. Zaragoza, Octubre, 1993
- M. Alonso Franco. *Incidentes y accidentes de presas*. Curso de seguridad de presas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, Mayo, 1994.

FICHA 9**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : Caspe II
Tipo : Escollera con núcleo
Altura : 54 m
Año de terminación : 1987
Cota de coronación : 234

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La presa está situada en terrenos terciarios miocenos de margas y areniscas con intercalaciones de yesos. Durante el primer llenado (1987-1988) ocurrieron las primeras de una serie de incidencias que ha tenido este embalse. La más perjudicial para la presa fue una filtración durante el segundo llenado, por una fractura del cimientó situada en la margen izquierda, junto al desvío del río, cerca de su confluencia con la galería perimetral. Se produjo un cráter en coronación a causa de un principio de erosión del cimientó que se atajó rápidamente con inyecciones.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Todos los trabajos de reparación han consistido en inyección intensa del cimientó con lechada de cemento, además de la reparación del cráter de coronación.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Los cimientos en terrenos yesíferos son peligrosos. La rapidez con que se actuó, una vez detectado el incidente, con inyecciones, fue decisiva para asegurar su integridad. Posteriormente se hicieron trabajos sistemáticos de inyección. Estas actuaciones, acompañadas de un control periódico cuidadoso, son la garantía de seguridad de esta presa.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Araoz. *Cimentación de presas en terrenos terciarios con disolución de evaporitas y erosión interna en la cuenca del Ebro*. R.O.P. Enero-Febrero 1992.
- A. Araoz. *Incidentes en el segundo llenado de la presa de Caspe*. IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia, 1993.
- M. Alonso Franco. *Incidentes y accidentes de presas*. Curso de seguridad de presas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, Mayo 1994.

Otra situación de posibles uniones con otras estructuras se produce cuando existen conductos de desagüe atravesando la presa. Si el conducto puede funcionar a presión la situación se convierte en potencialmente peligrosa (R 18), por el riesgo de erosión del terraplén en caso de fugas. La presa de la Estanca de Perdiguero, de tierras y homogénea, se construyó en 1880, con una conducción de toma que la atraviesa, a presión, en toda su longitud. Con el tiempo se fueron produciendo humedades en el paramento de aguas abajo que fueron sucesivamente tapadas con tierras hasta que el efecto combinado de estas humedades y el peso acumulado produjo un deslizamiento en dicho paramento.

La reparación, sin bajar el embalse para atender al regadío, consistió en un saneo y reposición del relleno, suavizando el talud de aguas abajo y colocando en su pie material drenante. Esta solución era sólo temporal y posteriormente se acometió la reparación definitiva y un recrecimiento de la presa, ya concluido, con lo que su altura actual es de 24 m (por 11 m de la presa original).

15.4 Aliviaderos y desagües

Aliviaderos

La importancia de los órganos de desagüe en la seguridad de las presas está claramente puesta de manifiesto en la estadística de accidentes, aún contando con la gran mejoría constatada durante los últimos años.

El análisis de la adecuación de los aliviaderos nos lleva inexorablemente a la comprobación de la crecida de proyecto, a su comparación con la capacidad de evacuación y al estudio de su operatividad e interrelación con el resto de la obra.

La aceptación de una ligera insuficiencia de los aliviaderos puede darse en casos de bajo riesgo en los que sea tolerable un cierto vertido por encima de la coronación de la presa, lo que no es admisible para las de materiales sueltos aun cuando hay algunas realizaciones excepcionales en este sentido. Las soluciones más comunes son:

- La introducción de modificaciones en los aliviaderos existentes
- La construcción de aliviaderos nuevos o complementarios
- La variación del régimen de explotación

siendo posibles las combinaciones entre ellas.

El aumento del resguardo puede hacerse por recrecimiento de la presa o mediante trabajos complementarios, todo lo cual conduce a una hipótesis de sobrecarga hidráulica de la estructura, que habrá que recalcular, y a una mayor concentración de caudales que obliga a la revisión de los canales de restitución y del sistema de disipación de la energía. En las presas de materiales sueltos es evidente que implica también el recrecimiento de la zona impermeable, cualquiera que sea el perfil tipo de la misma. Sin embargo no afecta a la seguridad de las compuertas salvo en el caso de permanecer cerradas en situación de emergencia, en cuyo caso podría ser conveniente su rotura.

La solución de bajar los umbrales es también de gran interés por cuanto el aumento de los caudales es función exponencial de H , lo que permite mejoras sustanciales con descensos de cota relativamente moderados. Esta solución no perturba la coronación de la presa pero exige el recrecimiento de las compuertas y eventual refuerzo de las pilas y anclajes, o implica una reducción del volumen del embalse si se trata de aliviaderos de labio fijo.

Otras actuaciones posibles sobre los aliviaderos existentes consisten en el aumento de su anchura o del coeficiente de desagüe mediante las oportunas modificaciones. En vanos de reducidas dimensiones la supresión de algunas pilas intermedias puede suponer una mejora sensible. Del mismo modo, la eliminación de dinteles o la adecuación de su forma a las situaciones de vertidos en carga también conducen a un aumento de la capacidad de desagüe.

Cuando los aliviaderos tengan canales emisarios hay que comprobar posibles estrangulamientos que limiten su capacidad, en cuyo caso se pueden ampliar sus dimensiones o variar el funcionamiento hidráulico al objeto de aumentar la velocidad del agua.

La construcción de un aliviadero complementario es necesaria algunas veces, sobre todo en el caso de un dimensionamiento particularmente escaso o de un mal funcionamiento del aliviadero existente. Tomada la decisión de su construcción debe dimensionarse con amplitud y reconsiderar la explotación del conjunto.

Para caudales menores son útiles los aliviaderos de emergencia, normalmente sin compuertas, que aumentan la sección de vertido por encima del nivel normal de explotación.

Otras posibilidades son la adopción de aliviaderos “fusibles”, que se destruyen automáticamente cuando el nivel del embalse excede una cierta cota, o la construcción de labios de vertido en laberinto, con mayor longitud.

Cavitaciones y erosiones son fenómenos frecuentes en los canales de restitución, conducciones en túnel y cuencos amortiguadores. Los estudios en modelo reducido son un instrumento muy eficaz para la adopción de las modificaciones convenientes.

Desagües profundos

Es intuitivo que en caso de riesgo de rotura de una presa la primera actuación debe ser el descenso total o parcial del nivel del embalse. En ello pueden colaborar de forma importante los aliviaderos, especialmente los dotados con compuertas de cierta altura, dado que los metros superiores suponen una buena parte del empuje total. Pero los órganos específicos para el vaciado del embalse son los desagües profundos, que frecuentemente se reducen a los desagües de fondo. En presas de gran altura es más habitual la existencia adicional de desagües intermedios.

Los problemas más frecuentes que se plantean en los desagües de fondo suelen ir asociados al funcionamiento de las compuertas, cuyo mantenimiento y eventual reposición suelen ser complicados por su posición y estado de carga. Es por ello que la posibilidad de una ataguía en el paramento superior de la presa debe ser tenida en cuenta.

La aireación del conducto de descarga debe estar ampliamente dimensionada y este problema deja de existir en el caso de que la válvula de control esté situada aguas abajo de la presa o en galerías en lámina libre.

También la seguridad de las válvulas de by-pass, que frecuentemente carecen de todo tipo de protección en las cámaras de compuertas, debe ser garantizada mediante su construcción en acero inoxidable o su protección ante la posibilidad de una rotura que inundaría las galerías.

Como resumen, se pueden concluir las siguientes acciones:

- Reconsideración del dimensionamiento y eventual construcción de un nuevo desagüe bien en la propia presa, en túneles existentes o en las laderas.
- Reconsideración de la seguridad del material mediante inspecciones y reparaciones a cuyo objeto es de gran utilidad la existencia de una ataguía aguas arriba.
- Reconsideración de la funcionalidad mediante pruebas hasta la plena abertura y con plena carga, con o sin salida de agua en función de la posibilidad de vertidos. Este problema, con mucho el más corriente, se mejora sustancialmente con la instalación de una compuerta o válvula de control aguas abajo, más accesible, y operando siempre las compuertas de guarda con presiones equilibradas.

Así como las compuertas de seguridad normalmente son planas (vagón o deslizantes), y deben abrirse totalmente para no perturbar la circulación del agua, las de control pueden ser de todos los tipos (aguja, chorro hueco, deslizantes, mariposa y Taintor), eligiendo de entre ellos el más conveniente de acuerdo con los condicionantes de cada caso. La instalación de compuertas en esta posición, en un desagüe construido con anterioridad, suele ser posible en la mayor parte de los casos.

Otro problema muy frecuente se deriva de la obstrucción de las embocaduras por el aterramiento del embalse, lo que suele tener difícil arreglo si los volúmenes a eliminar son importantes y puede conducir al planteamiento de soluciones alternativas.

15.4.1 Casos específicos de mejora de la seguridad en aliviaderos y desagües

Aliviaderos

En España, el gran número de presas y el carácter torrencial de muchas cuencas han dado lugar a un conjunto de incidentes que cubren casi toda la casuística comentada en el apartado anterior, aun cuando las consecuencias catastróficas se pueden considerar moderadas si se exceptúa el caso de la presa de Tous.

El vertido sobre la presa de Tous (R 19) se justifica más por la gran diferencia entre la avenida real y la prevista que por problemas en el propio aliviadero, aun teniendo en cuenta que no se abrieron las compuertas por falta de energía. Sus consecuencias fueron la destrucción de la presa de materiales sueltos y la atribución de 8 vidas humanas y daños económicos muy importantes.

En la presa de Ricobayo (Ficha 10), de gravedad y 93 m de altura, el aliviadero se estableció sobre el estribo izquierdo, con un canal emisario de 400 m de longitud aproximada y vertido libre al final del mismo en una rápida de 60 m de altura que debería ser estable, según las previsiones y estudios realizados, una vez producida la erosión inicial y la formación de un cuenco natural a considerable distancia de la presa. Las previsiones fallaron por una desafortunada combinación de diaclasas verticales y subhorizontales bajo el canal, dando lugar a una regresión hacia aguas arriba con extracción de más de un millón de metros cúbicos de roca. Los derrumbes se produjeron en años sucesivos sin que las medidas de refuerzo pudiesen contenerlos, hasta que un cambio en el buzamiento de las diaclasas subhorizontales, ahora hacia el embalse, y el revestimiento de la solera del canal estabilizaron el frente en su posición actual formando una imponente “cazuela” que actúa como cuenco amortiguador. La colocación de deflectores en el origen de la caída aminora los impactos de la lámina sobre el fondo revestido, consolidando la estabilización lograda.

Este accidente se describe con todo detalle en el anexo 7 de la Guía nº 5 - “Aliviaderos y desagües”.

Un caso claro de insuficiencia del aliviadero existente fue puesto de manifiesto en la presa de Plandescún, con motivo de una avenida registrada el año 1982. La presa está construida con grandes bloques de escollera y pantalla de mampostería hormigonada. Fue terminada el año 1934 y tiene una altura de 10 m. El rebosamiento sobre toda la coronación (230 m) alcanzó una altura de lámina de 40 cm y no produjo daños. La insuficiencia fue subsanada construyendo un aliviadero complementario sobre la roca del estribo izquierdo, cerrado por una compuerta de segmento que incluye una clapeta superior de abatimiento automático con la carga (R 20).

En la misma referencia se describe el aumento de la capacidad de vertido en la presa de San Esteban, para compensar el cierre del túnel aliviadero, motivado por problemas geológicos. La presa de San Esteban fue construida en el año 1955, es del tipo arco-gravedad y tiene una altura de 115 m. El aliviadero principal consta de seis vanos cerrados por compuertas Taintor y dinteles de hormigón de sección triangular, con un vértice inferior, superficie mojada vertical y paramento de aguas abajo tangente al recorrido circular de la compuerta. El funcionamiento del vertedero con niveles altos pone parcialmente en carga a los dinteles cuya arista inferior produce una importante contracción de la vena líquida, con la consiguiente pérdida de eficacia. La solución, de reducido coste, consistió en adosar a los dinteles unas guías de flujo formadas por una estructura soporte de las chapas que conforman una superficie de aproximación, abocinada, que elimina la contracción de la vena líquida aludida anteriormente. Esta solución se estudió primero en laboratorio y supuso un aumento de la capacidad de vertido de 500 m³/s. (Ficha 11).

La presa de Los Molinos es de materiales sueltos, zonificada, tenía 39,3 m de altura y está situada sobre el río Matachel (Badajoz). El aliviadero, de labio fijo, se desarrollaba por la margen derecha en un canal sin revestir, en el que se produjeron importantes erosiones. Por otra parte, el resguardo era insuficiente para la evacuación de las avenidas estimadas con criterios modernos. La solución adoptada fue el recrecimiento de la presa en 2,5 m y la modificación y hormigonado del emisario hasta el reintegro al río (R 21).

FICHA 10**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : Ricobayo
Tipo : Gravedad
Altura : 93 m
Año de terminación : 1933
Cota de coronación : 685

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En diciembre de 1933 se inician los vertidos por el aliviadero situado en la margen izquierda de la presa produciendo grandes erosiones en regresión que continuaron en distintas fases hasta el año 1939. Su origen se encuentra en el impacto de la caída y en la presión ejercida por el agua sobre las diaclasas verticales, en combinación con fracturas subhorizontales, con buzamiento hacia aguas abajo, configurando bloques en situación inestable. El proceso se detuvo fundamentalmente por la existencia de un accidente geológico que determina el cambio del buzamiento subhorizontal hacia la ladera aumentando la estabilidad.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

Con independencia de lo anterior, en todas las circunstancias se realizaron esfuerzos sucesivos para estabilizar la erosión, con hormigones de protección, sellado y drenaje de la solera del canal y colocación de deflectores en la arista de vertido para disminuir la incidencia sobre el cuenco amortiguador.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Superada la fase inicial, durante la cual el problema era prácticamente incontrolable, el estado actual permite una explotación segura, con la espectacularidad de la gran “cazuela” formada, visitada por gran número de turistas.

Este caso constituye un valioso ejemplo a tener en cuenta ante posibles planteamientos semejantes. A menor escala, las erosiones regresivas se han producido en otros aliviaderos españoles.

BIBLIOGRAFÍA

- Iberduero, S.A.- *Proyecto reformado del de consolidación del aliviadero del Eslo*. Anexos 3, 4, 6 y 8. 1947.
- P. Lucas Palazuelo.- *Ensayos hidráulicos en modelo reducido efectuados en el Laboratorio de Hidráulica instalado en el Salto de Ricobayo (Zamora)* Anales de Mecánica y Electricidad. Nov-Dic. 1965.
- P. M. Guinea, P. Lucas, J.J. Aspuru.- *Selection of spillways and energy dissipators*. XI Congreso de Grandes Presas. Q.41, R.66. Madrid 1973.
- G. Gómez Laá, M. Alonso Franco, J.L. Romero Hernández.- *Reflections of spillways and energy dissipators*. XIII Congreso de Grandes Presas. Q.42, R.47. Nueva Delhi, 1979.

FICHA 11**DATOS DE LA PRESA**

Nombre : San Esteban
Tipo : Arco gravedad
Altura : 115 m
Año de terminación : 1955
Cota de coronación : 231,00

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La pequeña diferencia entre el caudal vertido en 1959 ($4.100 \text{ m}^3/\text{s}$) y la máxima capacidad de descarga con el NMN del embalse ($4.500 \text{ m}^3/\text{s}$) determinó la conveniencia de un detallado análisis del problema. Se tiene en cuenta también la indisponibilidad del túnel aliviadero por problemas geológicos.

La avenida de periodo de retorno 1.000 años asciende a $5.966 \text{ m}^3/\text{s}$, valor superior a la capacidad del aliviadero con el embalse en la cota 230,20 ($5.562 \text{ m}^3/\text{s}$). En esta situación la lámina de agua no toca la parte inferior de los dinteles existentes, pero a partir de ella la sobreelevación del embalse hasta la coronación no supone mayores vertidos debido a la contracción producida en la vena líquida por la arista inferior de los dinteles.

DESCRIPCIÓN DE LA REPARACIÓN

El crecimiento de la descarga se consiguió añadiendo unas guías de flujo al paramento mojado de los dinteles, eliminando con ellas la contracción aludida. Se estudiaron en el laboratorio, evaluando una ganancia de $528 \text{ m}^3/\text{s}$. Las guías son metálicas, con presiones equilibradas, de gran ligereza y bajo coste.

MEJORA DE LA SEGURIDAD

Esta solución proporciona una capacidad de vertido de $6.090 \text{ m}^3/\text{s}$, superior a la avenida calculada para un periodo de retorno de 1.000 años. Es de advertir que en algunos casos, como el que se comenta, el resguardo puede no ser operativo para la evacuación de avenidas. También se puede concluir que la existencia de dinteles sobre los aliviaderos no es aconsejable.

BIBLIOGRAFÍA

- J. Cajete; J.L. Blanco. *Spillways dimensioning revision. Modifications in Plandescún and San Esteban dams*. XVI Congreso de Grandes Presas. Q.63, R.77. San Francisco, 1998.

Otros ejemplos de modificaciones recientes son los casos de Rumblar y Guadiloba, presas de gravedad en las que se comprobó la insuficiencia de los aliviaderos (R 22). La primera, de 67,5 m de altura y terminada en 1941, tenía un aliviadero lateral con canal colector que se prolongaba en un túnel seguido de una rápida hasta su reintegro al río. Como es bastante común en este tipo de soluciones, para caudales altos la sección de control se encuentra en el emisario, limitando la eficacia del vertedero. Además, se produjeron importantes erosiones en la restitución, todo lo cual determinó la construcción de un nuevo canal emisario con su correspondiente cuenco amortiguador. La disminución del resguardo con las nuevas previsiones se compensó construyendo un pequeño pretil sobre la coronación de la presa.

El embalse de Guadiloba (Cáceres) está formado por una presa de gravedad de 32 m de altura, terminada en 1971. El aliviadero existente, cerrado por tres compuertas Taintor de abertura limitada, no fue suficiente para evitar sucesivos vertidos sobre la coronación, lo que determinó la construcción de uno adicional, en la margen izquierda.

Son abundantes los incidentes con matices tan diversos como la rotura de compuertas (San Martín), la dificultad para su operación (Santa Teresa), erosiones en cuencos amortiguadores (Saucelle), erosiones y cavitaciones en túneles aliviaderos (Aldeadávila y Saucelle), averías por inestabilidad de laderas (Arenós), aumento de capacidad por recrecimiento de la presa (Irabia), deterioro del canal (Alcántara), etc.

Desagües profundos

También son bastante numerosas las actuaciones recientes sobre desagües de fondo en presas españolas, siendo notables las llevadas a cabo en las presas de Iznájar, Rumblar, Escalona, Contreras, Barasona y Sau, por citar algunos ejemplos documentados.

La presa de Iznájar, sobre el río Genil, se terminó de construir en el año 1968, tiene una altura de 121,6 m y forma un embalse de 980 hm³, lo que da idea de su importancia. Contaba con siete desagües de fondo, de 2,38 m de diámetro y 150 m³/s de capacidad unitaria. Las compuertas de seguridad, situadas en el paramento de aguas arriba, son de oruga de 2,00 m x 3,50 m, en tanto que las de control eran válvulas Howell-Bunger, con el mismo diámetro, 2,38 m, que el conducto. Su gran tamaño y el ambiente agresivo creado por las aguas sulfurosas han creado problemas de funcionamiento que las han dejado prácticamente inservibles. En particular, las compuertas de seguridad no podían cerrar con el agua en circulación y las de control presentaban oxidaciones y rozamientos que exigían muy altas presiones de los accionamientos oleohidráulicos. La solución adoptada consistió en reducir el diámetro de las válvulas Howell-Bunger a 1.600 mm, colocando inmediatamente aguas arriba de cada una otra compuerta tipo Bureau que asume la función de seguridad. Se mejoraron las rodaduras de las compuertas de oruga, así como sus accionamientos, renunciando a lastrarlas. De este modo constituyen un elemento auxiliar que permite la revisión de las que están situadas aguas abajo, como si de una ataguía se tratase. El funcionamiento con presiones equilibradas no debe presentar ningún problema. (R 23).

En la presa de Rumblar los dos desagües de fondo, de 1.200 mm de diámetro, fueron modernizados previa colocación de escudos en las embocaduras, colocados por submarinistas.

Los casos de Escalona y Contreras (R 24) no obedecen tanto al mal funcionamiento de los desagües sino a la conveniencia de modificar la regulación de ambos embalses. Así, en la primera se configuró un desagüe intermedio, a partir de una galería libre cuyo objeto inicial era la laminación de caudales, lo que permite ahora el aprovechamiento del embalse en niveles superiores, regulando los vertidos a voluntad.

En Contreras se aprovecha la existencia de un morning-glory, prácticamente en desuso, para habilitar un desagüe intermedio mediante la realización de una toma que enlaza con el pozo vertical, preexistente, y la colocación de 4 compuertas en el tramo horizontal de salida (2 Bureau y 2 Taintor), además de otros trabajos de blindaje, estructura de lanzamiento, accesos, etc.

Mayor dificultad presentó la rehabilitación de los desagües de fondo en la presa de Barasona, sobre el río Esera. Terminada en 1932, su altura es de 65,5 m. Los desagües profundos aprovechan los túneles de desvío de cada margen, cerrado cada uno por tres parejas de compuertas Bureau de 1,24 x 2,4 m, con salida libre a los conductos sin revestir. En el año 1978 funcionaron los desagües por última vez, con grandes problemas, lo que determinó la rehabilitación que se comenta (R 25). El gran obstáculo a salvar ha sido la acumulación de lodos en el embalse y primer tramo del túnel de desagüe, que impedía el vaciado. Para iniciar el arrastre fue necesario habilitar una primera vía de agua que se consiguió perforando la clave del túnel aplicando la técnica del jet-grouting, observando sus comunicaciones con la salida. Posteriormente, y ya fuera del túnel, se introdujo una sonda vertical, con aire a presión, hasta calar con la vía anterior, lo que produjo el destaponamiento deseado. La salida de lodos hacia aguas abajo fue de gran magnitud, alcanzando el fango una altura de 7 m sobre el cauce, hasta un estrechamiento situado a 500 m de distancia. Una vez retirados los lodos se colocaron ataguías de seguridad previamente a la sustitución de las compuertas y al refuerzo del sostenimiento del túnel. En estos trabajos se emplearon técnicas novedosas que pueden ser de aplicación a casos semejantes.

En la presa de Sau, sobre el río Ter, de gravedad, 84 m de altura y terminada en 1963, se presentaba un problema análogo de aterramiento del embalse, aunque de más fácil solución que el comentado anteriormente. El número de desagües era de 2 centrales y 2+2 laterales, totalizando seis conductos. Para sustituir los equipos y reforzar los blindajes era necesaria la retirada previa de los lodos que superaban el nivel de las embocaduras en 8 m. La comunicación con los desagües se logró mediante el empleo de una lanza de agua sobre plataforma flotante y dos bombas sumergidas colocadas en las inmediaciones de las embocaduras. Una vez liberado el paramento se colocó una ataguía metálica fabricada expresamente para cerrar los dos conductos de la margen izquierda. (R 26).

Un ejemplo de interferencia de los desagües de fondo con la superficie del aliviadero tuvo lugar en la presa de Saucelle (R 27). Los huecos de las desembocaduras interrumpían la continuidad del vertedero, con gran concentración de caudal, originando erosiones muy importantes. Se colocó un primer blindaje metálico que fue arrancado violentamente por falta de rigidez e insuficiente anclaje. Como medida precautoria se restituyó el paramento anulando los desagües. La solución definitiva eliminó los deflectores existentes en la parte superior y consistió en la colocación de un nuevo blindaje de gran rigidez, hormigonado previamente en su interior de tal modo que constituye una pieza de cierto espesor cuya unión a la presa se realiza

a una distancia apreciable del paramento. Para el movimiento de estas piezas pesadas se utilizó el antiguo blondín empleado en la construcción de la presa.

15.5 Estadística de accidentes

15.5.1 Introducción

Gran parte del desarrollo y evolución de la tecnología de las presas procede del análisis de los accidentes que han ocurrido y que deben ser bien conocidos e interpretados para evitar reincidir en las causas que los han motivado. Por ello uno de los pilares básicos de la seguridad de presas descansa en el estudio de los accidentes que se han producido en el pasado.

La Comisión Internacional de Grandes Presas ha realizado en las últimas décadas diversos estudios estadísticos y analíticos sobre roturas y accidentes en las presas a nivel mundial, destacando las siguientes publicaciones:

- Lessons from dam incidents (1973)
- Deterioration of dams and reservoirs (1983)
- Rotura de presas. Análisis estadístico (1995)

Como marco general de referencia se comentan las conclusiones de estos trabajos para establecer posteriormente determinadas comparaciones con la situación española.

15.5.2 Incidentes en grandes presas a nivel mundial

En la primera de las citadas publicaciones (R 28) se incluye una breve descripción de 300 roturas y accidentes de grandes presas ocurridos en todo el mundo entre los años 1900 y 1965, ambos incluidos, y una serie de tablas que muestran los incidentes ocurridos por décadas, según la altura de la presa, la capacidad de embalse, la fase de la presa, la causa del incidente, etc. En el cuadro siguiente figura la distribución de las distintas causas de accidentes y roturas en relación con los diferentes tipos de presa.

CAUSAS	Bóveda		Contrafuertes		Gravedad		Tierra		Escollera		Varios		TOTAL
	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	
<i>Estabilidad</i>													
Vuelco						4							4
Deslizamiento	1	1	1		3	3		3			1		13
Resistencia	1	3	1	1	2	3	11	34		2			58
Deformación		1		1			7	18		4			31
<i>Durabilidad</i>													
Filtraciones		2			1	1	2	22					28
Acción interna del agua	2	1	3	2	1	1	15	20	2		1		48
Erosión superficial	1						4	10		1			16
Meteoriz. y acción química		2	1	3		4		4	1		1		16
Drenaje								2					2
<i>Funcionamiento</i>													
Efecto del agua	1	3	1		2	1	12	3	3	2			28
Otros							2	8	1	1			12
<i>Otras condiciones</i> (terremotos, etc.)				1	1	1	4	6		1			14
TOTAL	6	13	7	8	10	18	57	130	7	11	3		
	19		15		28		187		18		3		270

Resulta interesante exponer algunas de las conclusiones y recomendaciones de esta publicación por representar una base importante de lo que actualmente constituye la seguridad de presas. Son las siguientes:

- El proyecto y construcción de presas se verán influidos en el futuro por la experiencia acumulada, parte de la cual se basa en el estudio de roturas y accidentes.
- Numerosas roturas y accidentes se han producido por sobrevertido debido a una capacidad inadecuada del aliviadero o a un resguardo insuficiente.
- Un gran número de roturas y accidentes en grandes presas se han producido por una cimentación inadecuada.
- La mayor parte de incidentes en presas de tierra y escollera se han producido por filtraciones excesivas que han dado lugar a deslizamientos o erosión.
- El análisis indica que hay comparativamente pocos incidentes debidos a seísmos.
- El primer llenado del embalse es una fase muy importante en la que conviene reducir el riesgo de incidentes.
- Las presas deben ser adecuadamente construidas y mantenidas y, como parte de ello, resulta obligado realizar mediciones y observaciones durante la construcción y la explotación para verificar que la presa y su cimiento funcionan según lo previsto.
- El estudio de roturas y accidentes en grandes presas ha confirmado la necesidad de realizar inspecciones regulares durante la explotación, por parte de ingenieros cualificados.

La publicación “Deterioro de presas y embalses” (R 29) adopta como concepto de deterioro cualquier comportamiento defectuoso, tanto desde el punto de vista de la seguridad como del funcionamiento, durante la construcción o la explotación, incluyendo los casos de rotura. Se estimó que los casos de deterioro son del orden del 15 % del número de grandes presas. Esta proporción varía considerablemente de unos países a otros. El método de detección más frecuente es la observación directa y las medidas correctoras más utilizadas son las siguientes:

- Construcción o reparación de drenes y filtros en la cimentación.
- Tratamientos de impermeabilización del cimientto.
- Descenso del nivel del embalse.
- Reparación de las superficies en contacto con la corriente de agua en las obras anexas.
- Reconstrucción de presas de tierra y escollera.
- Auscultación.
- Revestimiento de presas de hormigón y mampostería.

La proporción del número de roturas es del orden del 0,7 % de las grandes presas consideradas como muestra total en el documento mencionado.

El Boletín “Rotura de presas. Análisis estadístico” (R 30) analiza los casos de roturas a nivel mundial y establece las siguientes conclusiones:

- El porcentaje de roturas de grandes presas ha decrecido en el curso de las cuatro últimas décadas : 2,2 % de las presas construidas antes de 1950 se han roto, mientras que las roturas de presas construidas después de 1951 son inferiores al 0,5 %.
- La mayoría de las roturas se producen en presas recientemente terminadas.
- Para las presas de hormigón, los problemas de cimentación constituyen la causa de rotura más frecuente, representando la erosión interna y la insuficiente resistencia al corte del cimientto un 21 % cada una.
- En las presas de materiales sueltos, la causa de rotura más común es el sobrevertido (31 % como causa principal, 18 % como causa secundaria), seguido por la erosión interna en el cuerpo de presas (15 % como causa principal y 13% como causa secundaria) y la erosión interna en el cimientto (12 % como causa principal y 5 % como causa secundaria).
- Para las presas de mampostería, la causa de rotura más frecuente es el rebosamiento (43 %) seguido por la erosión interna en el cimientto (29 %).
- Cuando la rotura es imputable a las obras complementarias, la causa más común es la insuficiente capacidad del aliviadero (22 % como causa principal y 39 % como causa secundaria).

15.5.3 Accidentes y roturas en presas españolas

Desde el año 1799 se han producido diez roturas de presas, lo que representa un porcentaje global del 0,9 %, del mismo orden de magnitud que la media mundial.

La tabla siguiente muestra la lista de rotura de presas en España:

Nombre	Río	Tipo	H (m)	V (hm ³)	Año Constr.	Año rotura	Causa de la rotura
1.- El Gasco	Guadarrama	PG (M)	54	4.6	-	1799	Rotura del talud aguas abajo
2. Puentes	Guadalentín	PG (M)	50	52	1791	1802	Erosión interna en el cimiento
3. Granadillar	Granadillar	PG (M)	20	0.1	1933	1933	Inestabilidad de taludes
4. Xuriguera	Xuriguera	PG	42	1.1	1902	1944	Deslizamiento estribo derecho
5. Vega de Tera	Tera	CB	34	7.3	1956	1959	Colapso de contrafuertes
6. Odiel-Río Tinto	Odiel	ER	35	3.3	1970	1968	Sobrevertido
7. Jerte (Atagüía)	Jerte	ER	16	-	-	1977	Sobrevertido
8. Tous	Júcar	ER-PG	71	51	-	1982	Sobrevertido
9. Fonsagrada	Leguaseca	MV	20	0,06	1958	1987	Deterioro del hormigón y expansión
10. Orjales	Orjales	MV	13	0.02	1958	1994	Colapso de contrafuertes

- PG - Presa gravedad
- PG (M) - Presa de mampostería
- CB - Presa de contrafuertes
- TE - Presa de tierras
- ER - Presa de escollera
- MV - Presa de bóvedas múltiples

La causa de rotura más frecuente es el sobrevertido, (30 %) de los casos, que ha ocurrido siempre en presas de materiales sueltos. Las siguientes causas de rotura son problemas en el cimiento o estructurales en el cuerpo de la presa.

El porcentaje de roturas de presas españolas construidas antes de 1950 fue del 1,5 % que se ha reducido hasta el 0,7 % desde 1950 a la actualidad. Las estadísticas españolas son similares a las de ICOLD a nivel mundial, habiéndose producido en España una reducción del porcentaje de rotura de presas construidas en las últimas décadas, si bien esta reducción es de menor entidad que la obtenida por ICOLD a nivel mundial. No obstante, en el caso español estas estadísticas deben contemplarse con mayor precaución por lo reducido de la muestra.

De las roturas ocurridas pueden considerarse de carácter catastrófico, por la pérdida de vidas humanas y las cuantiosas pérdidas materiales, las de Puentes, Vega de Tera y Tous.

La presa de Puentes, en el río Guadalentín, era una presa de gravedad de mampostería que se terminó en 1791, estando cimentada en el aluvial del río mediante pilotes de madera unidos superficialmente por un emparrillado de vigas de madera en el cual se asentó la presa. La cimentación estaba constituida fundamentalmente por capas de arena y grava. El embalse no se llenó completamente hasta el año 1802 y cuando la carga de agua era de 47 m la presa se rompió a causa de la erosión interna del cimientado que, en un proceso muy rápido, dio lugar a una enorme cavidad en la estructura de la presa por la que se produjo la onda de avenida que causó la muerte de 608 personas.

La presa de Vega de Tera, de contrafuertes de mampostería y pantalla de hormigón, se construyó en el río Tera habiéndose terminado en 1956. La presa se rompió en 1959 cuando se encontraba totalmente llena. La investigación realizada mostró una gran diferencia entre los módulos de elasticidad del hormigón y la mampostería. La pantalla de hormigón, rígida, apoyada en contrafuertes deformables, se rompió una vez aplicada la presión del agua del embalse, a causa de las grandes tensiones de tracción que se produjeron en el hormigón. Una vez ocasionada esta rotura las fuerzas horizontales centradas en la base del contrafuerte dieron lugar a un incremento de tensiones de corte que provocaron la rotura por su base deslizando aguas abajo. Iniciada la rotura de un contrafuerte, colapsaron sucesivamente los adyacentes. La catástrofe se atribuyó a la diferencia del módulo de elasticidad de la mampostería de los contrafuertes y del hormigón de la pantalla, y produjo 144 muertos.

La presa de Tous, mixta, con estribos de gravedad y materiales sueltos en el cauce, completó su primera fase en 1978, alcanzando por primera vez su máximo nivel normal en 1979. En octubre de 1982 una avenida extraordinaria sobrepasó la coronación de la presa y produjo la erosión y destrucción de gran parte de la misma causando una onda de avenida que produjo la muerte de 8 personas y cuantiosos daños materiales. Durante la avenida no pudieron abrirse las compuertas del aliviadero.

En relación con los incidentes ocurridos en España, que tendrían la consideración de deterioros según la definición de ICOLD excluyendo las roturas, se han realizado algunos estudios sobre los mismos. El primero de ellos (R 8) se llevó a cabo en 1979 y recogía 52 presas españolas que habían sufrido algún tipo de deterioro. Hay otros estudios posteriores (R 3) y (R 31) que elevan ese número considerablemente, al actualizar la información. Los datos más recientes (1998) relacionan 133 incidentes, lo que representa un porcentaje del 11,5 % sobre el total de grandes presas existentes, algo inferior al obtenido por ICOLD en el estudio sobre deterioros publicado en 1983. La mayor parte, 66 % de los incidentes, se han producido en presas de hormigón, en una proporción similar a la de presas de fábrica existentes. La casuística de estos incidentes en presas españolas es la indicada en el cuadro siguiente:

INCIDENTES EN PRESAS ESPAÑOLAS

CAUSA	% EN RELACIÓN AL TOTAL DE INCIDENTES POR TIPOS
A) PRESAS DE MATERIALES SUELTOS (Nº TOTAL DE INCIDENTES : 38) - PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN - EROSIÓN INTERNA - SOBREVERTIDO - FALLOS PANTALLAS O LÁMINAS - OTRAS CAUSAS	29 21 18 16 16
B) PRESAS DE HORMIGÓN (Nº TOTAL DE INCIDENTES : 95) - PROBLEMAS DE CIMENTACIÓN - REBOSAMIENTO - MALA CALIDAD CONSTRUCTIVA - DETERIORO HORMIGÓN - OTRAS CAUSAS	26 24 13 10 27

A la vista de esta información estadística puede concluirse que la casuística de incidentes ocurridos en presas españolas no difiere sustancialmente de la obtenida por ICOLD a nivel mundial.

Los autores de la presente Guía quieren expresar su deseo de que sirva para mejorar las estadísticas anteriores.

REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

1. J. Cajete y J.M. Gaztañaga. *Medidas para garantizar la seguridad de las presas en que se han detectado riesgos*. I Jornadas Españolas de Presas. Madrid, 1985.
2. G. Gómez Laá, M Alonso Franco, J.L. Romero. *Seepage control in Spanish dams*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.58, R.55. Lausana, 1985.
3. M. Alonso Franco. *Incidentes y accidentes en presas*. Curso de Seguridad de Presas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1994.
4. Aguado, Agulló, Dolz y Martín (eds). *Reparación de obras hidráulicas de hormigón*. UPC-Colegio de ICCP. 1991.
5. J. I. Díaz-Caneja. *Evaluation of safety for dams in service in the basin of the Douro River. Remedial Works*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.68, R.30. Durban, 1994.
6. E. Biener. *Rehabilitation of old gravity dams*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.59, R.2. Lausana, 1985.
7. M. Serrano. *Strengthening the Estangento dam*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.59, R.22. Lausana, 1985.
8. G. Gómez Laá, M. Alonso Franco, J.L. Romero. *Reflections on some incidents in Spanish dams*. XIII Congreso de Grandes Presas. Q.49, R.47. Nueva Delhi, 1979.
9. A. Alvarez, E. Herrero, J.M. Buil. *Strengthening of some existing dams*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.59, R.32. Lausana, 1985.
10. A. Nevot. *La presa de Béznar*. Revista de Obras Públicas. Enero-Febrero, 1992.

11. A. Soriano. *El comportamiento de las presas de materiales sueltos y su auscultación*. Simposio sobre Geotecnia de presas de materiales sueltos. Zaragoza, 1993.
12. J. Yagüe y M. Alonso Franco. *Tendencias en el tratamiento de cimientos de presas de materiales sueltos en España*. IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia, 1993.
13. M. Alonso Franco y A. Soriano. *Plinths in dams with watertight facing: Design, Construction and Performance*. XVI Congreso de Grandes Presas. Q.61, R.48. San Francisco, 1988.
14. J. Tellería y G. Gómez Laá. *A didactic experience about problems of a dam built on a deformable foundation*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.66, R.9. Viena, 1991.
15. A. Soriano y J.L. Ramírez. *Influencia de la consolidación del cimiento en la construcción por etapas de la presa de Barbate*. Revista de Obras Públicas. Enero-Febrero, 1992.
16. R. Trapote, F.J. Sánchez y A. Soriano. *Rehabilitación de la presa de Cazalegas*. V Jornadas Españolas de Presas. Valencia, 1996.
17. J.L. Uceda, H.J. Morlans, J.Cid. *Waterproofing of the foundation of Estanca de Alcañíz dam by way of a plastic core wall*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.70, R.22. Durban, 1994.
18. J. Yagüe y M. Alonso Franco. *Buried conduits in embankment dams. Experience in Spain*. XIX Congreso de Grandes Presas. Q.73, R.21. Florencia, 1997.
19. A. Vogel. *Bibliography of the history of dam failures*. BHDF. Austria, 2002.
20. J. Cajete, J.L. Blanco. *Spillways dimensioning revision. Modifications in Plandescún and San Esteban dams*. XVI Congreso de Grandes Presas. Q.63, R.77. San Francisco, 1988.
21. A. Capote, F. Sáenz de Ormijana, E. Martínez. *Modificación del aliviadero y recrecimiento de la presa de los Molinos*. SEPREM. Madrid, 2002.
22. A.F. Belmonte, J.M. Hontoria. *Ampliación de aliviaderos y mejora de capacidad de desagüe en la presa del Rumblar (Jaén) y la de Guadiloba (Cáceres)*. SEPREM. Madrid, 2002.
23. J. Riera, F. Delgado. *Renovación de los desagües de fondo de la presa de Iznájar y su incidencia en el aliviadero*. SEPREM. Madrid, 2002.
24. J. López, S. Rubio, M.D. Ortuño. *Incremento de regulación mediante la implantación de desagües intermedios. Adecuación de las presas de Escalona y Contreras*. SEPREM. Madrid, 2002.
25. A. Puértolas. *Rehabilitación total de los desagües de fondo y obras accesorias de la presa de Barasona (Huesca)*. SEPREM. Madrid, 2002.

26. M. Alonso Franco, M.A. Lobato. *Reparación de los desagües de fondo de la presa de Sau (Barcelona)*. SEPREM. Madrid, 2002.
27. J. Cajete. *Les vidanges de fond du barrage de Saucelle*. XI Congreso de Grandes Presas. Madrid, 1973.
28. ICOLD. *Lessons from dam incidents* - 1974.
29. ICOLD. *Deterioration of dams and reservoirs* - 1983.
30. ICOLD. *Rotura de presas. Análisis estadístico*. Boletín 99. CNEGP, 1996.
31. J. Yagüe y L. Berga. *Dam failures and incidents in Spain. Lessons learned*. XIX Congreso de Grandes Presas. Q.75. Florencia, 1997.

BIBLIOGRAFÍA

MOP. *Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas*. Orden Ministerial del 31 de marzo de 1967 (BOE nº 257 de 27 de octubre de 1967).

MOPU. *Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas*. (BOE nº 189 de 8 de agosto de 1985).

MOPU. *Reglamento del Dominio Público Hidráulico*. Real Decreto 249/1986 de 11 de abril. (BOE nº 103 de abril de 1986).

MOPU. *Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica*. Real Decreto 927/1988, de 29 de julio. (BOE nº 209 de 31 de agosto de 1988).

MINISTERIO DE JUSTICIA E INTERIOR. *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*. Resolución de 31 de enero de 1995. (BOE nº 38 de 14 de febrero de 1995).

MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. *Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales*. (BOE nº 269 de 10 de noviembre de 1995).

MOPTMA. *Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses*. Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996 (BOE nº 78 de 30 de marzo de 1996).

MOPTMA. *Texto refundido de la Ley de Aguas*. (BOE nº 176 de 24 de julio de 2001).

DGOH. *Clasificación de presas en función del riesgo potencial. Guía técnica*. 1997.

DGOH. *Guía Técnica para la elaboración de Normas de Explotación de Presas y Embalses*. (En borrador) 1999.

DGOH. *Guía Técnica para la redacción del informe anual*. (En borrador) 1999.

DGOH. *Guía Técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas*. 2001.

CNEGP. *Guía técnica de seguridad de presas nº 2 - Criterios para proyectos de presas y sus obras anejas*. Madrid, 2003.

CNEGP. *Guía técnica de seguridad de presas nº 3 - Estudios geológico-geotécnicos y de prospección de materiales*. Madrid, 1999.

CNEGP. *Guía técnica de seguridad de presas nº 4 - Avenida de proyecto*. Madrid, 1997.

CNEGP. *Guía técnica de seguridad de presas nº 5 - Aliviaderos y desagües*. Madrid, 1997.

CNEGP. *Guía técnica de seguridad de presas nº 6 - Construcción de presas y control de calidad*. Madrid, 1999.

CNEGP. *Guía técnica de seguridad de presas nº 7 - Auscultación de las presas y sus cimientos*. Madrid, 2004.

CNEGP. *Barrages en béton*. Coloquio Técnico de mantenimiento de presas antiguas. Chambéry (Francia), 1993.

CNEGP. *Selección de presas españolas, 1973-1993*. MOPTMA, 1994.

ICOLD Boletín 29. *Comité de riesgos a terceros derivados de las grandes presas*. 1977.

ICOLD Boletín 43. *Synthetic resins for facings of dams*. 1982.

ICOLD Boletín 49. *Operation of hydraulic structures of dams*. 1984.

ICOLD Boletín 59. *Dam safety. Guidelines*. 1987.

ICOLD Boletín 79. *Alkali-aggregate reaction in concrete dams*. 1991.

ICOLD Boletín 88. *Rock foundations for dams*. 1993.

ICOLD. Boletín 99. *Dam failures, statistical analysis*.

ICOLD. Question 41 *Flood control and energy control during constructions and after completion*. XI Congreso Internacional de Grandes Presas. Madrid, 1973.

ICOLD. Question 49. *Deterioration or failures of dams*. XIII Congreso Internacional de Grandes Presas. Nueva Delhi, 1979.

ICOLD. Question 52. *Safety of dams in operation*. XIV Congreso Internacional de Grandes Presas. Río de Janeiro, 1982.

ICOLD. Question 59. *Rehabilitation of dam to ensure safety*. XV Congreso Internacional de Grandes Presas. Lausana, 1985.

ICOLD. Question 63. *Design flood and operational flood control*. XVI Congreso Internacional de Grandes Presas. San Francisco, 1988.

ICOLD Question 65. *Ageing of dams and remedial measures*. XVII Congreso Internacional de Grandes Presas. Viena, 1991.

ICOLD Question 68. *Safety assessment and improvement of existing dams*. XVIII Congreso Internacional de Grandes Presas. Durban, 1994.

ICOLD Question 75. *Incidents and failures of dams*. XIX Congreso Internacional de Grandes Presas. Florencia, 1997.

ICOLD Question 76. *The use of risk analysis to support dam safety decisions and management*. XX Congreso Internacional de Grandes Presas. Pekín, 2000.

A. Soriano. *Corrección y detección de riesgos en presas*. I Jornadas Españolas de Presas. Madrid, 1985.

F Guisado. *La seguridad en las presas*. III Jornadas Españolas de Presas. Barcelona, 1990.

J. A. Veltrop. *Icold, dams and society*. III Jornadas Españolas de Presas. Barcelona, 1990.

F. Blázquez. *Desplazamientos horizontales en la cimentación. Presa del Atazar*. IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia, 1993.

A. Araoz. *Incidentes en el segundo llenado de la presa de Caspe*. IV Jornadas Españolas de Presas. Murcia, 1993.

R. del Hoyo. *Comportamiento y seguridad de presas existentes*. V Jornadas Españolas de Presas. Valencia, 1996.

J. Yagüe. *Comportamiento y seguridad de las presas existentes, riesgos aceptables*. V. Jornadas Españolas de Presas. Valencia, 1996.

A. Gil. *La automatización aplicada a la auscultación de presas*. V. Jornadas Españolas de Presas. Valencia, 1996.

E. Vallarino. *Tratado básico de presas*. Colegio de ICCP. Madrid, 1991.

J.L. Gómez Navarro. *Salto de Agua y Presas de Embalse*. Madrid, 1964.

Bureau of Reclamation. *Concrete Manual*.

ASCE/USCOLD. *Lessons from dam incidents, USA*. Nueva York, 1975.

U.S. National Academy of Sciences. *Safety of existing dams. Evaluation and improvement*. Washington, 1983.

Robert B. Jansen. *Dams and Public Safety*. Denver, 1983.

J. Laginha Serafim (ed.). *Safety of dams*. Coimbra, 1984.

H. Kreuzer, R. Dungar & R. Taylor. *International Workshop on Dam Safety Evaluation. Grindewald*, Suiza, 1993.

A. Betâmio de Almeida & Viseu (eds.). *Dams and safety management at downstream valleys*. Balkema, 1997.

L. Berga (ed.). *Dam Safety*. Balkema, 1998.

M. Gérard Willm. *Observación y auscultación de presas*. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid, 1965.

W.J. Weyermann. *Rock conditions improved through pressure grouting*. Rodio, 1977.

P. Lucas Palazuelo. *Ensayos hidráulicos en modelo reducido efectuados en el Laboratorio de Hidráulica instalado en el Salto de Ricobayo (Zamora)*. Anales de mecánica y electricidad. Noviembre-Diciembre, 1965.

P. M. Guinea, P. Lucas, J. J. Aspuru. *Selection of spillways and energy dissipators*. XI Congreso de Grandes Presas. Q.41, R.66. Madrid, 1973.

G. Gómez Laá, M. Alonso Franco, J. L. Romero. *Reflections on some incidents in Spanish dams*. XIII Congreso de Grandes Presas. Q.42, R.47. Nueva Delhi, 1979.

J. Cajete, A. Gil. *Experiences derived from the monitoring of dams in the Duero and Sil systems*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.56, R.65. Lausana, 1985.

A. Alvarez, E. Herrero, J.M. Buil. *Strengthening of some existing dams*. XV Congreso de Grandes Presas. Q.59, R.32. Lausana, 1985.

D. Velasco, A. Nevot, T. Savini, J. R. Aloca. *Consolidation, watertightness and drainage treatment of Béznař dam foundation*. XVI Congreso de Grandes Presas, R.62, C.8. San Francisco, 1988.

J. Oliver, M. Cervera, E. Oñate, E. Herrero. *A case study of a gravity dam subjected to severe internal actions : Description and numerical simulation*. XVI Congreso de Grandes Presas. Q.62, C.29. San Francisco, 1988.

J. L. Justo, P. Cañete, J. L. Manzanares, J. del Campo, P. de Porcellinis. *De upstream facing of Martín Gonzalo rockfill dam*. XVI Congreso de Grandes Presas. Q. 61, R.45. San Francisco, 1988.

M. Guerreriro, R. Fernández, M. J. Guerreiro, G. Gómez Laá. *Causes of failure of the Fonsagrada dam*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.65, R.3. Viena, 1991.

A. Gil, J. Cajete. *Study on the interaction aggregate-paste in the concrete at the San Esteban dam*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.65, R.4. Viena, 1991.

J. M. Martínez Roig, A. Aguado, M. Agulló, E. Vázquez. *Diagnosis of the behaviour of the Graus and Tabescán dams*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.65, R.33. Viena, 1991.

J. I. Díaz-Caneja. *Restoration of La Cuerda del Pozo dam*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.65, R.37. Viena, 1991.

N. Navalón, J.M. Gaztañaga, J. M. López Marinas. *Corrections to the foundation permeability of Cortes dam (Valencia, Spain) during first filling*. XVII Congreso de Grandes Presas. Q.66, R.15. Viena, 1991.

G. Bravo, F. Girón, C. Olalla. *Behaviour models and actual behaviour of Canales dam*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.70, R.20. Durban, 1994.

F. Blázquez, J. A. Pérez. *Experiences in the application of new technologies to the Atazar dam*. XVIII Congreso de Grandes Presas. Q.68, R.29. Durban, 1994.

L. Lozano, A. Merchán, J. M. Calvo. *Barrage de Charco Redondo : Rupture du massif rive gauche du bassin d'amortissement*. XIX Congreso de Grandes Presas. Q.75, R.32. Florencia, 1997.

J. M. López Marinas, J. M. Gaztañaga, J. Cajete. *Landslides in the Cortes reservoir (River Júcar, Valencia, Spain) during initial filling*. XIX Congreso de Grandes Presas. Q.74, R.33. Florencia, 1997.

L. Berga. *Failures and hydrological incidents of dams in Spain*. XIX Congreso de Grandes Presas. Q.75, R.31. Florencia, 1997.

J. Yagüe. *La seguridad de presas en España*. UPC-CNEGP. Barcelona, 1998.

M. Alonso Franco. *Estado actual de la legislación española sobre presas*. UPC-CNEGP. Barcelona, 1998.

J. Cajete. *La seguridad de las presas de titularidad privada*. UPC-CNEGP. Barcelona, 1998.

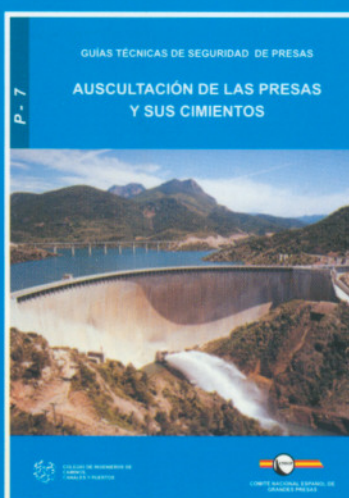
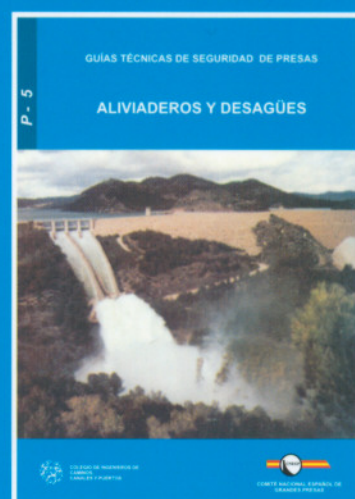
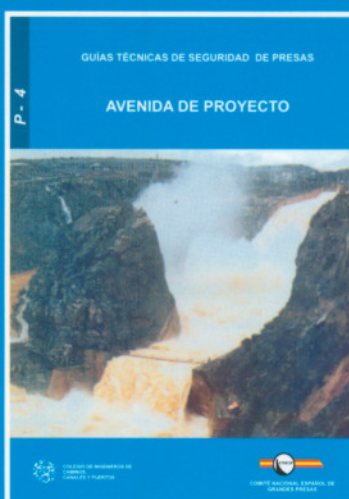
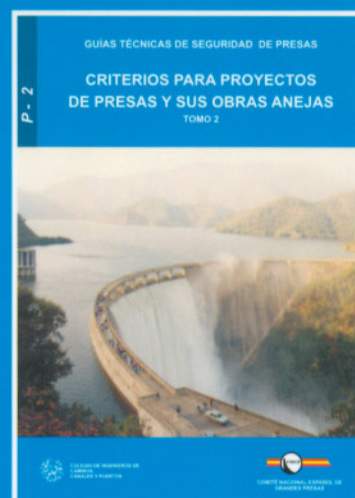
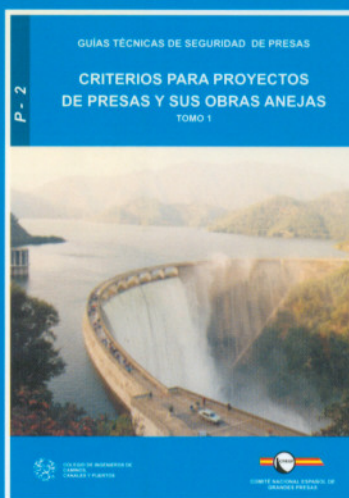
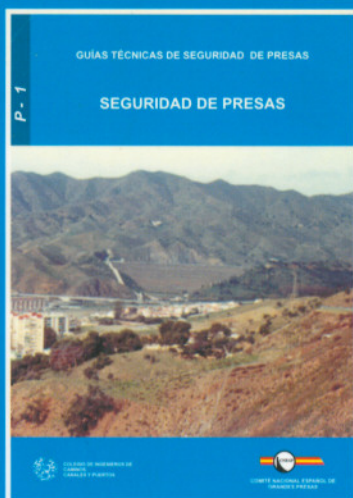
J. Penas. *Planes de emergencia de las presas*. UPC-CNEG. Barcelona, 1998.

E. Cifres. *New spillway for a 105 m high rockfill dam, in order to update hydrologic and geotechnical safety, case of Arenós dam. Spain*. L Berga (ed.). Balkema, 1998.

M. Alonso Franco, G. Zaragoza. *Normativa sobre seguridad de presas*. Revista de Obras Públicas. Febrero, 2001.

GUÍAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE PRESAS

VOLÚMENES INCLUIDOS EN LA SERIE



COLEGIO DE INGENIEROS DE
CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE
GRANDES PRESAS