

Manual para el proyecto, construcción, explotación, diseño y mantenimiento de balsas

Handbook for the design, construction, operation and maintenance of small dams

Revista de Obras Públicas
nº 3.509. Año 157
Abril 2010
ISSN: 0034-8619

Jesús Yagüe Córdova. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Subdirector General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico. Dirección General del Agua.
MAMRM. jyagüe@mma.es

Juan Carlos de Cea Azañedo. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Dirección General del Agua. jcdecea@mma.es

Resumen: El artículo describe el trabajo llevado a cabo para la elaboración de un Manual para balsas en el que se contempla, la forma de elaborar su proyecto, desde los puntos de vista geotécnico, hidráulico y sistema de impermeabilización, cómo llevar a cabo su construcción, de qué forma acometer su explotación, prestando una especial atención a su seguimiento continuo a través de inspecciones periódicas, y de qué forma mantenerlas.

Palabras Clave: Balsas; Seguridad; Geotecnia; Hidráulica; Mantenimiento; Explotación; Inspección

Abstract: The article describes how we have worked to develop a handbook for the design of small dams. this handbook includes how to develop a project from the standpoint of geotechnical, hydraulic and waterproofing system. In addition, the handbook presents the construction and monitoring criteria's during operation. In the operational phase with regular inspections, monitoring and as maintenance.

Keywords: Small dams; Safety; Geotechnical; Hydraulics; Maintenance; Operation; Inspection

1. Introducción

En España, las presas han sido de siempre las grandes obras de ingeniería hidráulica. Sin embargo, en los últimos años, sus hermanas pequeñas, las balsas, han tenido un gran auge, salpicando hoy gran parte de la geografía española. Tanto es así que algunas fuentes cifran este número en más de 50.000, lo que supone aproximadamente un 4.000% más de balsas que de grandes presas.

Como consecuencia de esta creciente actividad dentro del sector, en la década de los 80 el IRYDA redactó un Manual para el *Diseño y construcción de pequeños embalses*, y en 1994, la Consejería de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Canarias el *Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas*, Manual con el que se han diseñado y construido un gran número de las balsas del país.

A raíz del Plan Nacional de Regadíos (2006) del Ministerio de Agricultura, en el que se incluía la construcción de un número elevado balsas, la Dirección General del Agua, consciente de la necesidad de que dichas estructuras se proyectaran y construyeran con unos estándares de calidad similares a los empleados en las presas, encargó al CEDEX la redacción de un nuevo manual que incluyera los requisitos mínimos de seguridad a exigir a esas estructuras, para que sirviera de guía a los técnicos encargados de su diseño, construcción, explotación y mantenimiento, para evitar las repercusiones que un mal diseño, una mala construcción, una inadecuada explotación o un escaso o nulo mantenimiento pueden tener sobre terceros. A esa labor se incorporó también el Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD), y más concretamente su Comité Técnico de Balsas, con el principal objetivo de colaborar con el trabajo de los distintos laboratorios del CEDEX que han participádo en su redacción. Estos han sido:

- Laboratorio de Geotecnia (Aspectos Geológico-Geotécnicos y Constructivos)
- Laboratorio del Centro de Estudios Hidrográficos (Aspectos Hidráulicos), y
- Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (Impermeabilización y Seguimiento)

La redacción del Manual, ahora en imprenta representa, se ha terminado y representa una aportación de la Dirección General del Agua a la promoción de recomendaciones, manuales y normas de buena práctica en relación con la seguridad, con el fin último de poner de relieve el valor social de las balsas y el papel de estas infraestructuras en una sociedad que exige la máxima atención en todos los aspectos relacionados con dicha seguridad y con la conservación y sostenibilidad del medio ambiente. Y ello es debido a la existencia de una nueva normativa de seguridad de presas, y balsas, que vio la luz a principios del año 2008 en forma de Real Decreto (RD 9/2008, de 11 de enero).

Según dicho RD, cómo balsa se entiende *toda estructura artificial destinada al almacenamiento de agua, situada fuera de un cauce y del dominio público hidráulico y delimitada total o parcialmente por un dique de cierre*.

2. Objeto y ámbito de aplicación del Manual

El principal objeto del Manual es el de enmarcarlo dentro del proceso de normalización tecnológica que se viene imponiendo en los últimos años en diferentes ámbitos de la ingeniería civil, con el fin último de unificar criterios de proyecto y de disminuir los riesgos inherentes a dichos proyectos. Por lo tanto, el Manual constituye un documento técnico que facilita la divulgación de ideas y conceptos básicos para el diseño de balsas con el propósito de garantizar su seguridad.

Son precisamente los dos aspectos anteriores los principales objetivos perseguidos por este manual: el constituir un documento técnico sencillo, de fácil lectura, seguimiento y aplicación, que facilite la divulgación de ideas y conceptos básicos del diseño de balsas de contención de agua y de su mantenimiento y explotación, para que estas actividades se hagan de forma segura. Es por ello

que está pensado para ser utilizado por técnicos no muy versados en la materia, y especialmente, con conocimientos limitados en ingeniería geotécnica, por lo que dejan fuera de su ámbito de aplicación aquellas balsas que, por las características de sus materiales, o de su cimiento, requieran estudios más profundos y complejos.

Dejando de lado a estas últimas, con carácter general el Manual será de aplicación a balsas de reducidas dimensiones y a aquellas que, en caso de rotura o funcionamiento incorrecto, tengan escasa incidencia en el dominio público hidráulico, es decir, que cumplan los siguientes puntos:

- A aquellas cuyo dique de retención tenga una altura inferior a 10 m, o que teniendo una altura de entre 10 y 15 m, tenga una capacidad de almacenamiento inferior a 1 hm³.
- A aquellas en las que la aportación de agua externa esté totalmente controlada y acotada, de modo que no haya entrada directa de agua desde un cauce público, y
- A las que su rotura o funcionamiento incorrecto pueda producir únicamente daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas (Categoría C, de acuerdo con el punto 3.5.1.2 de la Directriz Básica de Protección Civil frente al Riesgo de Inundaciones).

En el caso de balsas en las que la altura del dique de retención sea menor de 5 m o que tengan una capacidad de embalse inferior a 100.000 m³, el presente Manual también se considera de aplicación, con las lógicas modificaciones que se deriven de las circunstancias específicas de cada balsa en concreto y de sus condicionantes.

3. Aspectos Geológicos-Geotécnicos

El dique de cierre de una balsa, elemento clave de la misma, se ejecuta, de forma general, mediante un relleno de tierras procedentes, fundamentalmente, de los materiales extraídos de las excavaciones necesarias para la construcción del vaso, que incluye las posibles zonas en ladera y desmonte.

A partir de esta definición, el método de trabajo preconizado por el Manual para los aspectos



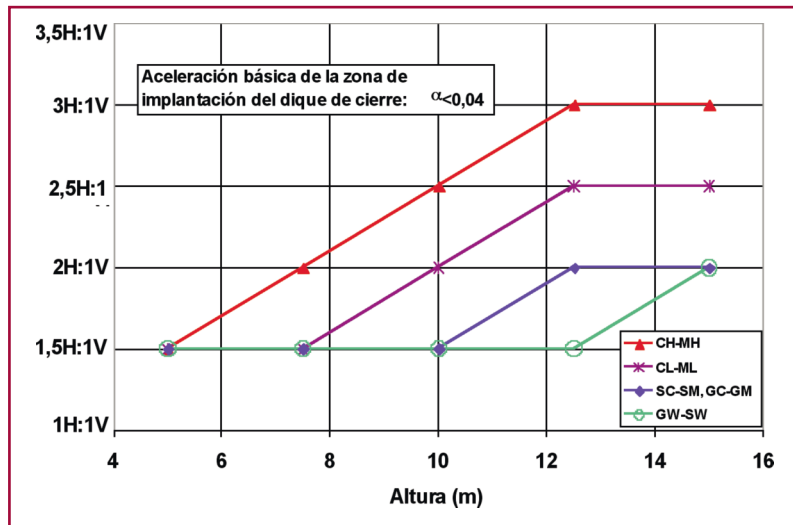
geotécnicos comienza con el detalle de qué tipo de reconocimientos, y número mínimo de ellos, se consideran necesarios para abordar con éxito la etapa de proyecto, por lo que el trabajo del laboratorio de Geotecnia se ha estructurado en los siguientes cinco puntos:

- *Estudios previos del terreno*, tanto en lo que se refiere al reconocimiento del cimiento como al análisis de los materiales susceptibles de ser utilizados posteriormente en la construcción del dique. Esta parte se desarrolla en el Capítulo 3, y en él se detallan los ensayos de campo y laboratorio necesarios.
 - *Criterios generales para el diseño* sobre la cimentación de la balsa, dique de cierre y vaso de la balsa. Se recogen en el Capítulo 5 del Manual, una vez interpretados los resultados de la campaña de ensayos de campo y laboratorio.
 - *Selección de la tipología del dique de cierre*. Se desarrolla este aspecto en el Capítulo 6, en el que se recogen un conjunto de secciones tipo del dique de cierre que se pueden diseñar de acuerdo con los materiales predominantes en la zona de ubicación de la balsa (tabla I), diferenciándolas, en función de cómo se logra su impermeabilización, en dos tipos: Diques sin elemento de impermeabilización externo (homogéneos o heterogéneos) y diques con elemento de impermeabilización externo artificial. Con relación a estas últimas, se indica que las más utilizadas son las que emplean geomembranas (GBR-P) como elemento de impermeabilización. También se recogen otras menos utilizadas: las de pantalla asfáltica, las de pantalla de hormigón, las de pantalla de gunita y las que emplean geocompuestos a base de bentonita (GBR-C).
 - *Análisis general de la seguridad*. Se definen y detallan en el Capítulo 7 los métodos para analizar la estabilidad de los taludes del dique de cierre y de las laderas y desmontes del vaso de la balsa, las diferentes situaciones de cálculo que se deben considerar y los coeficientes de seguridad mínimos exigidos para cada una de ellas (Tabla II).
- Para facilitar el diseño de los taludes y para evitar la necesidad de realizar cálculos adicionales justificativos, el Manual incluye una serie de ába-

Tabla I. Secciones tipo de balsas incluidas en el Manual	
	Sección 1: Dique homogéneo con dren horizontal H < 10m (ver fig. 17)
	Sección 2: Dique homogéneo con dren mixto horizontal y chimenea H=10m (ver fig. 18)
	Sección 3: Dique con impermeabilización arcillosa hacia el interior de la balsa (ver fig. 19)
	Sección 4: Dique zonado H=10m (ver fig. 20)
	Sección 5: Dique con impermeabilización con geomembrana (GBR-P) (ver fig. 21)

cos que permiten determinar la inclinación que satisface los criterios anteriores, en función de la altura del dique, del material empleado en su ejecución (también se definen qué ensayos son precisos para su correcta identificación) y de las condiciones sísmicas del emplazamiento. En la figura 1 se muestra uno de ellos.

Tabla II. Situaciones de cálculo y valores de los factores de seguridad al deslizamiento	
Situación de cálculo	Factores de seguridad
Fin de construcción	1,3
Embalse lleno	1,5
Rotura del elemento de impermeabilización	1,3
Sismo a embalse lleno	1,3
Desembalse rápido	1,1



- **Recomendaciones constructivas.** Se recogen en el Capítulo 9 las relativas al movimiento de tierras, tanto para la excavación y terminación del vaso, como para la posterior ejecución del dique de cierre con los rellenos correspondientes y previamente seleccionados en los estudios previos del terreno. Se definen y detallan también los procedimientos de ejecución, el tipo de maquinaria a utilizar y el control de calidad que se ha de efectuar en la obra.

Fig. 1. Inclinación de taludes para zonas con coeficiente sísmico $\alpha < 0,04$.

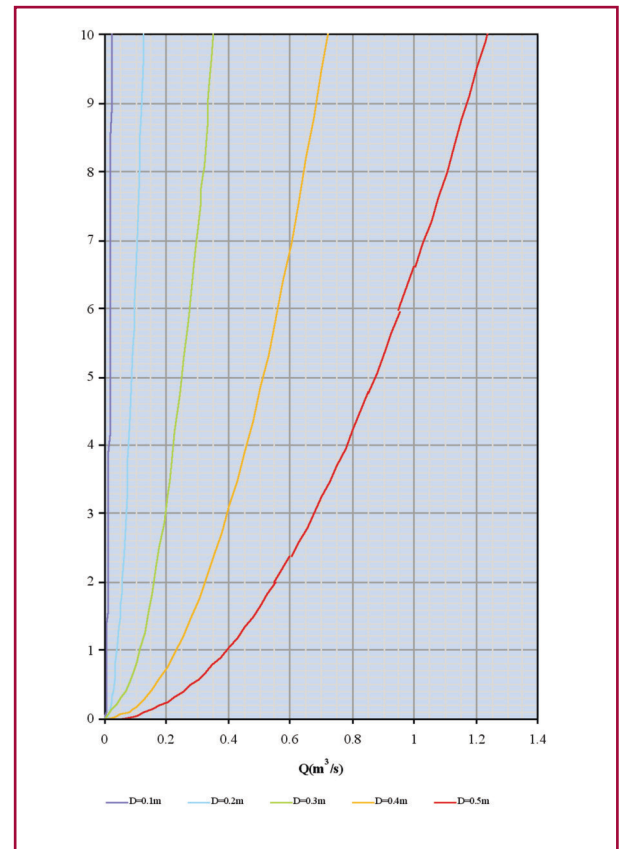
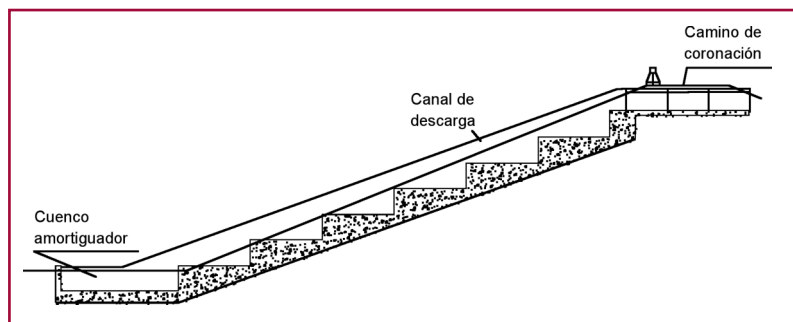


Fig. 3. Curva de gasto de una toma para una balsa de 10 m de altura máxima con un talud de hasta 4H/1V.

4. Aspectos hidráulicos

Se concretan en el Capítulo 4, *Estudios de carácter hidráulico*. Se detallan y describen los elementos que dentro de estas infraestructuras permiten la entrada y salida del agua de forma segura (figura. 2), de manera que su funcionamiento tenga las adecuadas garantías de control y seguridad exigibles a toda estructura hidráulica. Estos elementos, a los que se dedica un parágrafo para cada uno de ellos un apartado específico, son los siguientes:

Fig. 2. Esquema de uno de los sistemas de entrada de agua mediante vertido directo sobre canal escalonado incluido en el Manual.



- *Dispositivos de entrada de agua.*
- *Dispositivos de salida de agua:*
 - Tomas.
 - Desagües de fondo.
- *Aliviaderos.*
- *Elementos auxiliares:*
 - Elementos previos a la entrada de agua.
 - Galerías de servicio.
 - Caseta de control.
 - Dispositivos de control del suministro y piezas especiales.
 - Elementos de cubierta.

En el Anejo nº 3 (*Diseño hidráulico*) se expone toda la formulación teórica con la que dimensionar los elementos hidráulicos, se incluyen ábacos para facilitar el diseño de los mismos y se recogen ejemplos prácticos para su mejor comprensión y seguimiento, sintetizándose una serie de recomendaciones sobre el cálculo de la capacidad, la altura de agua y el resguardo de una balsa.

En el Capítulo 5, *Criterios generales de diseño*, se presta una especial atención a los elementos de dre-

Tabla III. Valoración de las características para los distintos materiales

Propiedad	Material													
	EVA/C	PEAD	PELBD	PEMBD	PEC	PIB	PVC-P	TPO	PP	CSM	CR	IIR	EPDM	POE
Refuerzo				SI		SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI
Características de tracción	B	E	E	E	A	B	A	A	B	B	A	A	A	B
Resistencia al desgarro	E	E	E	E	A	B	A	B	E	E	R	R	R	E
Punzonamiento Dinámico	A	E	B	B	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Punzonamiento Estático	E	R	A	E	B	B	B	E	B	R	E	E	E	E
Resistencia radiaciones UV	B	E	B	A	B	B	A	B	B	B	E	E	E	E
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	R	B	E
Resistencia de la soldadura														
Soldabilidad	B	B	B	E	E	B	E	E	A	A	R	R	R	E
Pelado	B	E	E	E	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Facilidad de instalación	B	E	E	E	E	B	E	E	B	B	B	B	B	E
Reparabilidad	A	E	E	E	E	A	E	E	A	R	R	R	R	E

donde: R: Regular; A: Aceptable; B: Bueno; E: Excelente

naje internos y externos, por su especial importancia a efectos de seguridad, estableciéndose una serie de recomendaciones sobre los tipos más comunes, con qué caudal tienen que estar dimensionados y de qué forma debería sectorizarse el vaso de la balsa.

5. Impermeabilización

El Capítulo 8 describe de forma pormenorizada todo el sistema para llevar a cabo una adecuada impermeabilización en una balsa mediante geomembranas, al ser este el sistema de impermeabilización más frecuente. Se definen los distintos tipos de geomembranas en el apartado 8.1 y se valoran, en función de sus propiedades físicas y mecánicas, las características de los diferentes materiales que se pueden emplear (Tabla III). A su vez, para facilitar el proceso de elección, se recogen para las principales propiedades de las geomembranas, cuales deben ser los valores mínimos que deben presentar para garantizar un adecuado comportamiento.

Algo parecido se hace con los geotextiles, que también se tratan en el apartado 8.2., los cuales se clasifican desde el punto de vista de su funcionalidad, sus características, propiedades hidráulicas y requisitos mínimos que deben tener para cumplir su cometido.

En el apartado 9.3. del Capítulo 9 se desarrollan con detalle todas las recomendaciones constructivas, tanto de geotextiles como de geomembranas, relati-



Fotografía 1.
Sectorización de la balsa de Las Adelfas (Melilla).

vas a puesta en obra, despliegue de paños, solapes y soldaduras.

6. Seguimiento

Dentro de la explotación de la balsa, uno de los puntos fundamentales desde el punto de vista de la seguridad, es la vigilancia y el control de la misma, por lo que el Manual desarrolla una serie de pautas que el equipo de explotación ha de seguir de una forma muy sencilla:

- *Recogida de lecturas de los elementos de auscultación.* Si bien la existencia de estos elementos no es muy frecuente en la mayor parte de las balsas del país, el Manual plantea la necesidad de que, al menos, se examine de forma continua los elementos de drenaje, por su sencillez y porque la presencia de agua en los mismos es síntoma claro de la posibilidad de presentación de futuros problemas. En aquellos casos en los que sí existen elementos de control se plantea qué variables es importante controlar y se dan modelos de estadillos a rellenar.
- *Inspecciones visuales* de vaso de la balsa, dique de cierre, sistema de impermeabilización y elementos hidráulicos, en las que se propone además de rellenar partes muy simples y sencillos, efectuar periódicamente fotografías para el contraste, a lo largo del tiempo.

7. Criterios generales de mantenimiento y patologías observadas de acuerdo a la experiencia

Los criterios generales de mantenimiento se han elaborado a partir de la experiencia del grupo de técnicos que han participado en la redacción del Manual. Se han desarrollado unas fichas técnicas simples a través de las cuales se puede llevar a cabo un

adecuado mantenimiento del cuerpo del dique, las instalaciones y los accesos.

Por otra parte, dado que el avance de la ingeniería se ha basado siempre en el análisis y comprensión de los errores cometidos, y en la puesta en valor de los éxitos alcanzados, es precisamente el primero de los dos aspectos anteriores el que se encuentra más “cojo” en este campo de las balsas. En el caso de las grandes presas, las estadísticas que periódicamente publica la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) permiten conocer qué es lo que más ha fallado de ellas en el pasado, para tomar las medidas pertinentes y evitar que vuelva a producirse en el futuro. Por desgracia, en el caso de las balsas, nada se sabe de ellas con relación a esos aspectos; los incidentes –entendidos éstos como pérdidas parciales de agua– apenas se registran, y de las roturas –pérdidas totales de agua–, muchas veces pasarían desapercibidas (normalmente por el poco volumen soltado no ocasionan víctimas mortales) si no fuera porque la prensa local se encarga de airearlas.

Por ello, el Manual incluye en sus páginas un pequeño check-list con la idea de que cualquier técnico conocedor de la existencia de un incidente o una rotura acaecida en una balsa lo rellene y lo envíe a continuación al Comité Nacional Español de Grandes Presas o a la Asociación Técnica Española de Balsas y Pequeñas Presas para que forme parte de una base de datos de incidentes y/o roturas de balsas, de manera que en el futuro esos datos se puedan tratar estadísticamente como se hace con las presas.

7. Agradecimientos

Desde estas breves líneas queremos agradecer a todo los Laboratorios del CEDEX y SPANCOLD su dedicación y entrega en la elaboración de este Manual, al igual, que a las más de 20 personas que han participado con sus comentarios y aportaciones al texto. ♦