



Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas

Estudios de carácter hidráulico

Cristina Lechuga García
(Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX)

Carlos Granell Ninot
(Jesús Granell Ingenieros Consultores, SA)

Madrid, 18 de mayo de 2009

Índice capítulo 4

4. ESTUDIOS DE CARÁCTER HIDRÁULICO

4.1. Dispositivos de entrada de agua

4.2. Aliviaderos

4.3. Dispositivos de salida de agua

4.2.1. Tomas

4.2.2. Desagües de fondo

4.4. Elementos auxiliares

4.4.1. Elementos previos a la entrada de agua

4.4.2. Galerías de servicio

4.4.3. Caseta de control

4.4.4. Dispositivos de control de caudales y piezas especiales

4.4.5. Elementos de cubierta

Otros apartados

8. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS GENERALES

8.1. Movimiento de tierras

8.2. Drenaje

9. SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

9.1.7. Continuidad y unión con elementos de hormigón

9.1.5. Requerimientos

10. CONTROL DE LA SEGURIDAD DURANTE LA EXPLOTACIÓN

10.1.1. Nivel de agua

Anexo de Diseño hidráulico

A1.1. Capacidad de la balsa

A1.2. Altura de agua

A1.3. Resguardo

A1.4. Dispositivos de entrada de agua

A1.5. Aliviaderos

A1.6. Dispositivos de salida de agua

Bibliografía

- Amigó Rodríguez, E.; Aguiar González, E. *Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas*. Consejería de Agricultura y Alimentación, Gobierno de Canarias. Tenerife, 1994.
- Barbero Palomero, R. *Patologías de las balsas*. Simposio Nacional sobre Proyecto, Construcción e Impermeabilización de Balsas. Sevilla, 2005.
- Campo García, A. del. *Las balsas y las comunidades de regantes en España*. Jornada sobre Balsas en España. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, 2008.
- Cea Azañedo, J. C. de; Delgado González, J. R. *Reglas generales de proyecto*. Simposio Nacional sobre Proyecto, Construcción e Impermeabilización de Balsas. Sevilla, 2005.
- Dal-Ré Tenreiro, R. *Pequeños embalses de uso agrícola*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2003.
- Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Manual Técnico Número 2. Diseño y construcción de pequeños embalses*. Madrid, 1985.
- Kraatz, D.B.; Mahajan, I.K. *Pequeñas obras hidráulicas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, 1976.
- Martínez Álvarez, A.; García López, F.; Asensio Sánchez, M. *Depósitos reguladores laterales a los cauces de agua*. Master en ingeniería de regadíos. Riego Localizado.
- Ruiz Caballero, F. *Puesta en obra de los geosintéticos*. Simposio Nacional sobre Proyecto, Construcción e Impermeabilización de Balsas. Sevilla, 2005.
- Santos Alfonso, R. de los. *Consideraciones generales aplicables a la construcción de balsas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Murcia, 2004.
- SEIASA (Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias de la Meseta Sur, S.A.). Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. *Una visión actual*. Jornada sobre Balsas en España. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, 2008.
- Zapata Raboso, F. *Procesos constructivos en los embalses de materiales sueltos impermeabilizados con geomembranas*. Simposio Nacional sobre Proyecto, Construcción e Impermeabilización de Balsas. Sevilla, 2005.
- Zapata Raboso, F.; Torregrosa Soler, J. B. *Curso práctico sobre "Proyecto, ejecución y explotación de balsas de materiales sueltos para riego". Cálculos hidráulicos*.

4. Estudios de carácter hidráulico

Dispositivos de entrada de agua

A. Sistemas de entrada por coronación.

i. Mediante vertido sobre un canal, liso o escalonado.

ii. Mediante vertido directo sobre la geomembrana.

- Mediante tubería en pico de flauta.

- Mediante arqueta.

B. Sistemas de entrada por el talud.

C. Sistemas de entrada por el fondo.

iii. Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa.

iv. Mediante arqueta.

v. Mediante tubería en pico de flauta.

vi. Mediante galería visitable.

Resumiendo, las partes de las que constará este tipo de solución son las siguientes:

- Arqueta de entrada.
- Canal (liso o escalonado).
- Cuenca amortiguadora.

Adaptando un canal escalonado puede llegar a conseguirse una disipación de energía tal que evite tener que colocar un cuenco amortiguador aguas abajo, o por lo menos reduzca sus dimensiones considerablemente.



Fotografía 1 Canal de entrada escalonado

El canal debe diseñarse con una anchura tal que permita la normal circulación de la maquinaria de obra durante la ejecución de ésta o incluso para el acceso de pequeña maquinaria hasta el fondo del vaso para realizar durante la explotación de la balsa labores de mantenimiento y limpieza.

Asimismo, para facilitar las labores de mantenimiento y conservación y la explotación de la balsa, puede ser conveniente en algunos casos dejar unos peldaños de hormigón, de forma paralela al canal, para el acceso de personas a la solea. Estos escalones pueden numerarse para indicar la altura del agua o la capacidad alcanzada.

Los inconvenientes asociados a esta disposición son los siguientes:

Dispositivos de entrada de agua

A. Sistemas de entrada por coronación.

- i. Mediante vertido sobre un canal, liso o escalonado.
- ii. Mediante vertido directo sobre la geomembrana.
 - Mediante tubería en pico de flauta.
 - Mediante arqueta.

B. Sistemas de entrada por el talud.

C. Sistemas de entrada por el fondo.

- iii. Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa.
- iv. Mediante arqueta.
- v. Mediante tubería en pico de flauta.
- vi. Mediante galería visitable.



Fotografía 4 Entradas de agua mediante arqueta de hormigón sobre la lámina con rebaje del talud

D. Sistemas de entrada por el talud.

En general, será de aplicación lo especificado en el apartado A, subapartado i para el vertido directo sobre la geomembrana mediante tubería en pico de flauta, teniendo en cuenta que en este caso se debe disponer siempre de un refuerzo de la lámina alrededor de la entrada de la tubería.



Fig 2 Esquemas de sistemas de unión de la geomembrana a la tubería de entrada por el talud

C. Sistemas de entrada por el fondo.

En cuanto a las entradas por el fondo o inferiores, éstas se pueden disponer de las siguientes formas:

- iii. Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa.
- iv. Mediante arqueta.
- v. Mediante tubería en pico de flauta.
- vi. Mediante galería visitable.

Dispositivos de entrada de agua

A. Sistemas de entrada por coronación.

- i. Mediante vertido sobre un canal, liso o escalonado.
- ii. Mediante vertido directo sobre la geomembrana.
 - Mediante tubería en pico de flauta.
 - Mediante arqueta.

B. Sistemas de entrada por el talud.

C. Sistemas de entrada por el fondo.

- iii. Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa.
- iv. Mediante arqueta.
- v. Mediante tubería en pico de flauta.
- vi. Mediante galería visitable.

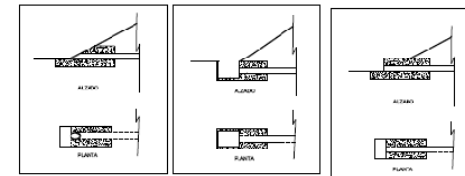


Fig. 5. Esquema de entradas en pico de flauta

vi. Mediante galería visitable.

En el caso de que se disponga una galería visitable para alojar los conductos de toma y desagüe de fondo, ésta se debe aprovechar también para alojar la tubería de entrada de agua. En caso de que la misma se prolongue hasta el talud interior de la balsa, se debe finalizar dándole la misma inclinación del talud y disponiendo las rejillas o elementos adecuados a las tuberías de entrada-salida.

En este caso es conveniente que una adecuada disposición de tuberías y válvulas permitan que las tuberías puedan tener una doble función, por ejemplo de entrada y toma de agua.



Fotografía 5. Conexión con galería visitable

Aliviaderos

- A) Aliviaderos en tubos.
- B) Aliviaderos en marco o canal.
- C) Aliviaderos en badén.
- D) Aliviaderos en torre.
- E) Otros: Aliviaderos laterales, Morning Glory, en laberinto.

Existen otros tipos de aliviaderos que se pueden utilizar en las balsas como, por ejemplo, aliviaderos laterales, Morning Glory (ver Fotografía 11) o en laberinto (ver Fotografía 12), que debido a su singularidad quedan fuera del ámbito de este Manual y para cuyo diseño sería preciso recurrir a técnicos especialistas.



Fotografía 11 Aliviadero Morning Glory en ejecución



Fotografía 12 Aliviadero en laberinto

Dispositivos de salida de agua

A. Tomas.

- Fijas en la solera o talud del vaso.

Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa.

Mediante arqueta.

Mediante tubería en pico de flauta.

- Flotantes.

B. Desagües de fondo.

- Mediante codo de 90° por el fondo de la balsa.
- Mediante arqueta.
- Mediante tubería en pico de flauta.

que aislar la tubería bajo el dique de cierre. Esta válvula complementaria a la situada en el extremo de la conducción, que se utilizaría como dispositivo de regulación.



Fotografía 18 Desagües de fondo, en construcción y finalizado. Balsas de Navatejares y de Bohoyo (Ávila)



Fotografía 19 Desagüe de fondo. Acople desmontable para limpieza de la balsa. Balsa de Hoyos del Espino (Ávila)

El desagüe de fondo debe dimensionarse para que el tiempo máximo de vaciado de la balsa, dependiendo del volumen de agua almacenado en el vaso, esté entre 1 y 2 días (ver apartado A1.6.2.2). Todo lo que pueda acortarse este tiempo de vaciado mejora apreciablemente las condiciones de seguridad de la balsa.

Las mismas recomendaciones que se hicieron en el apartado 4.3.1 son válidas para este tipo de elementos en lo que es refiere a precauciones constructivas a adoptar (conductos alojados en una excavación efectuada a tal efecto que posteriormente se hormigona o en el interior de

Elementos auxiliares

A. Elementos previos a la entrada de agua.

B. Galerías de servicio.

- Tubo que hace de camisa protectora.
- Galería visitable.
 - Chapas de acero galvanizado.
 - Marcos prefabricados de hormigón.
 - Galerías prefabricadas abovedadas de hormigón armado.
 - Hormigón armado in situ.

C. Caseta de control.

D. Dispositivos de control de caudales y piezas especiales.

E. Elementos de cubierta.

- Mallas de sombreo.
- Cubiertas flotantes.

- Una protección a la radiación solar, que prolonga la vida útil de la geomembrana.
- Una menor temperatura del agua para ser utilizada en el riego.
- Una protección contra el pedrisco y otros daños de perforación.
- Una protección contra el vandalismo, en general.

Frente a estas ventajas también se presentan algunos inconvenientes:

- Fuertes lluvias o vientos pueden dañar la estructura de sombreo y, como consecuencia, la balsa.
- La malla de sombreo se daña fácilmente por el pedrisco.
- No permite la inspección visual de la lámina.

La limitación actual de estos sistemas se encuentra en las luces a cubrir, ya que cuando se superan los 150 m los momentos transmitidos a los anclajes perimetrales pueden poner en peligro la estabilidad de los terraplenes en que se sustentan.

Experimentaciones realizadas en el campo de Cartagena indican que con este sistema se pueden alcanzar coeficientes reductores de la evaporación del 75 por 100.

- Cubiertas flotantes de gran resistencia y pequeño espesor que flotan sobre el nivel del agua, por lo que en todo momento deben acomodar su superficie al aumento o disminución del desarrollo que producen los taludes interiores, lo que se resuelve mediante un sistema de plegado formado por un sofisticado diseño de flotadores y contrapesos que dan como resultado una superficie tersa, incluso transitable (ver Fotografía 26)



Fotografía 26 Depósito regulador de agua potable de Iznájar (Córdoba) con una cubierta flotante transitable

Anejo de Diseño hidráulico

Capacidad de la balsa

- A. Balsas de almacenamiento
- B. Balsas de regulación
 - Regulación de una red de riego.
 - Regulación de los turnos de riego.
 - Regulación de un canal.

Condiciones para su determinación:

- Condiciones morfológicas.
- Condiciones de disponibilidad del suelo.
- Condiciones geotécnicas.
- Condiciones climáticas.
- Condiciones de seguridad.

con otros tipos de balsas en explotación. En este proceso de encaje se deberá tener en cuenta también el equilibrio entre los volúmenes resultantes de excavación y dique de cierre.

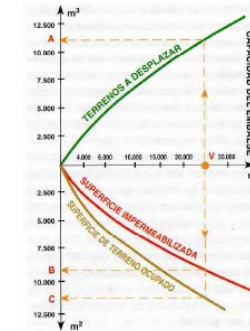


Fig 13. Para una capacidad "V" se obtienen los valores "A", "B" y "C" para los parámetros más representativos

b) Condiciones de disponibilidad de suelo.

La superficie de terreno a ocupar incluirá, además de la del vaso de la balsa, la superficie ocupada por la franja de coronación y los derrames de los taludes, tanto del dique de cierre como de los desmontes generados para alojar el vaso, la abarcada por las instalaciones accesorias, los caminos de acceso y de servicio y por la banda perimetral de seguridad.

c) Condiciones geotécnicas.

La necesidad de mantener los asentamientos y tensiones máximas a transmitir al terreno por debajo de los admisibles obliga a limitar la altura de agua en el vaso y la inclinación de los taludes del dique de cierre.

d) Condiciones climáticas.

Las pérdidas por evaporación, aunque no son un factor principal en el resultado de la explotación, sí pueden influir en situaciones climáticas muy desfavorables

Altura de agua

Condiciones para su determinación:

- Capacidad portante del terreno natural.
- Deformabilidad de los suelos existentes y de los terraplenes de formación del vaso.
- Adaptación de la forma del vaso a la del relieve del emplazamiento.
- Esfuerzos sobre la lámina de impermeabilización.
- Capacidad de embalse requerida.
- Pérdidas por evaporación.
- Coste unitario (€/m³) del proyecto.

Resguardo

- a) **Resguardo normal (RN):** Es el relativo al Nivel Máximo Normal (NMN) o máximo nivel que puede alcanzar el agua de la balsa en un régimen normal de explotación. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevación correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero (r_1) más la sobreelevación correspondiente al oleaje máximo (r_2).

$$r_2 = 1,2 \cdot \sqrt[4]{F}$$

$$RN \text{ (m)} = Z_{cor} - NMN \geq r_1 + 1,5r_2$$

- b) **Resguardo mínimo (Rm):** Es el relativo al Nivel Máximo Extraordinario (NME) o nivel correspondiente al caudal de cálculo del aliviadero. Este resguardo deberá ser igual o superior a la sobreelevación correspondiente al oleaje máximo (r_2).

$$Rm \text{ (m)} = Z_{cor} - NME \geq 1,5r_2$$

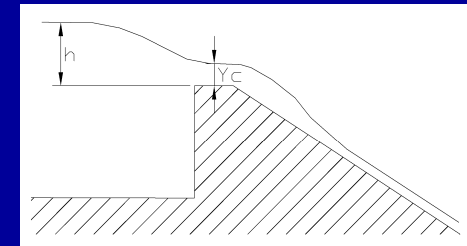


Dispositivos de entrada de agua

Sistemas de entrada por coronación mediante vertido sobre un canal:

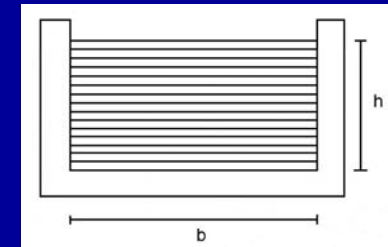
- Arqueta de entrada.

La caracterización hidráulica se corresponde con la de un vertedero de pared gruesa sin control aguas abajo $\rightarrow Q \rightarrow b, h$



- Canal de entrada liso.

$b, Q \rightarrow$ Manning $\rightarrow$ Altura cajeros

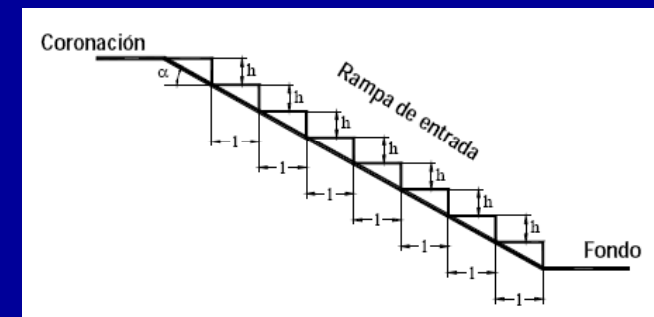


- Canal de entrada escalonado.

Imposición de condición de régimen de flujo escalón a escalón $\rightarrow h_e, l$

- Cuenco amortiguador.

Condición de resalto hidráulico



Dispositivos de entrada de agua

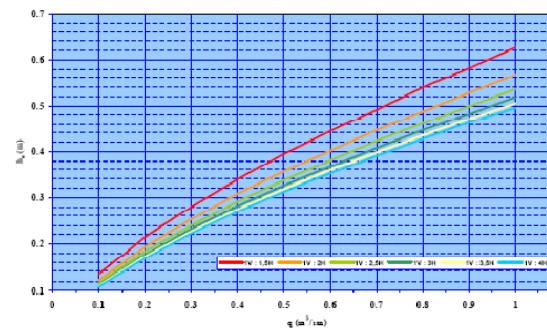


Fig 17. Altura (h_e) de los escalones del canal de entrada

Cuenco amortiguador

Los parámetros de diseño de un cuenco amortiguador son su ancho, que suele ser igual a la anchura del canal de descarga (b), su longitud (L_a) y su profundidad sobre el lecho del río (h).

El proceso de cálculo, simplificado, es el siguiente (ver Fig 18):

1. Se obtiene la velocidad de entrada al cuenco (v_1), aplicando el teorema de Bernoulli entre el punto 0 con velocidad despreciable situado en la arqueta de entrada y un punto 1, justo en el pie del canal de entrada:

$$v_1 = (1 - k) \sqrt{2g(H + e - y_1)}$$

Donde k representa la fricción en la caída del agua, que reduce la velocidad. A falta de datos más precisos, puede suponerse una reducción de velocidad del 30% ($k=0,3$).

Como primera aproximación, se supone que la diferencia $e - y_1$ es muy pequeña frente al valor de H .

2. Se calcula el calado en el punto 1 (y_1) a partir del caudal unitario de vertido (q), por continuidad:

Dispositivos de entrada de agua

Sistemas de entrada por coronación mediante vertido directo sobre la geomembrana:

- Mediante tubería en pico de flauta.
Funcionamiento en carga
 $v \approx 1\text{ m/s}$
- Mediante arqueta.

A1.4.1.2. Mediante vertido directo sobre la geomembrana

Mediante tubería en pico de flauta

Teniendo en cuenta que el funcionamiento es el correspondiente a un desagüe en carga, se deberán fijar el número de conductos y el diámetro de los mismos para que la velocidad de salida sea próxima a 1 m/s. Con ello se consigue, además, que los esfuerzos debidos al vertido sean pequeños y por tanto no supongan problema alguno para las láminas de impermeabilización.

En los casos en los que se tiene conocimiento de problemas en la lámina como consecuencia del vertido mediante chorro aparece siempre un vertido en altura sobre el talud, tal y como se representa en la Fig 19, donde la tubería de entrada no entronca sobre la coronación del propio talud interior, sino que vierte en altura.

El análisis de estos casos ha permitido establecer que, si bien la geomembrana es capaz de soportar las fuerzas del impacto, el sustrato inferior (terreno del talud) sufre como consecuencia del impacto unos esfuerzos dinámicos que son transmitidos por la geomembrana y que pueden provocar la erosión y movilización de las capas superficiales del terreno que forma el talud, apareciendo oquedades o pequeñas cárcavas bajo la geomembrana. El impacto del chorro sobre la geomembrana, una vez formadas estas oquedades, la rompe como consecuencia de un punzonamiento sobre una superficie biapoyada. Este tipo de rotura se puede estudiar en laboratorio mediante los denominados "ensayos del reventón" (burst strength).

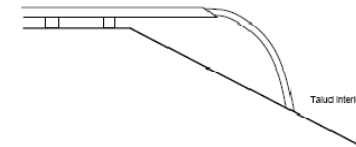


Fig 19. Vertido mediante tubería en altura sobre el talud

Mediante arqueta

La caracterización hidráulica se corresponde con la de un vertedero de pared gruesa sin control aguas abajo (ver apartado A1.4.1.1).

Dispositivos de entrada de agua

Sistemas de entrada por el fondo:

- Mediante codo de 90°.

Caracterización de vertedero de planta circular

Condición de flujo tipo vertedero, no fuente

- Mediante arqueta.

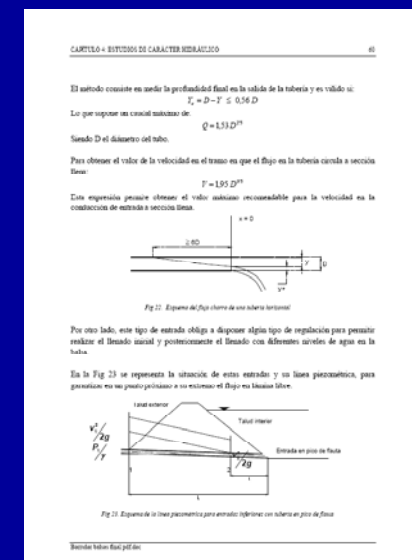
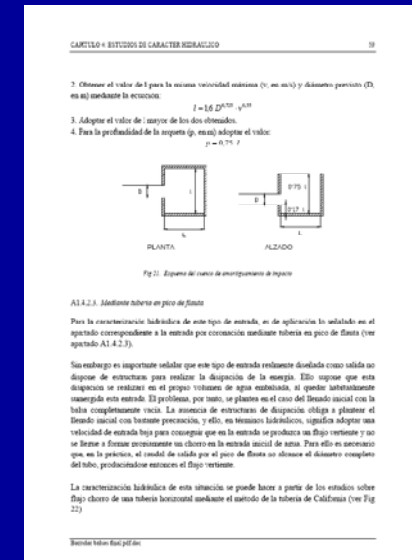
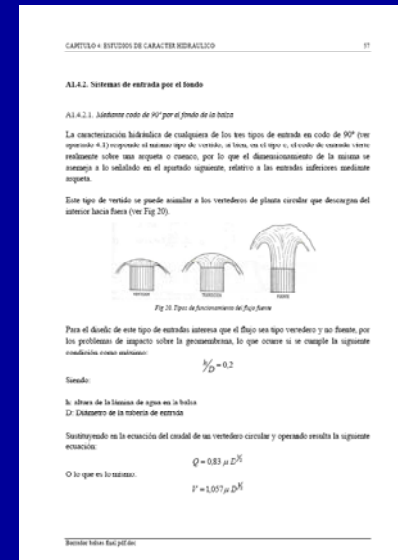
Condición de amortiguamiento de los impactos

Velocidad ascensional

Caudal vertido por coronación

- Mediante tubería en pico de flauta.

Método de la tubería de California (flujo chorro horizontal)



Aliviaderos

$$Q = Q_e + Q_p$$

Para calcular el caudal Q_p , se supone que toda el agua caída durante la lluvia (P_{24h}^{500} , en dm) se almacena en la balsa, sin salir nada por el aliviadero, por lo que obtendremos valores conservadores.

$$\phi(h, D) \cdot \mu(h, D) \cdot D^{\frac{5}{2}} = Q_e + \phi(P_{24h}^{500}, D) \cdot \mu(P_{24h}^{500}, D) \cdot D^{\frac{5}{2}}$$

Si fuera necesario, se dispondrán varias tuberías y se repetirá el proceso hasta que los valores de h y D sean razonables.

2. Una vez conocidos todos los parámetros se calcula el caudal total, que es con el que hay que comprobar el resto de elementos del aliviadero.

Ejemplo

Calcular el caudal total aliviado mediante tubería de una balsa situada en el término municipal de Oliva (Alicante), que tiene un caudal máximo de entrada previsto de 50 l/s.

Para un periodo de retorno de 500 años, se obtiene la precipitación máxima diaria (P_{24h}^{500} , en mm de altura de agua) a partir de la publicación del Ministerio de Fomento "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular". En este caso $P_{24h}^{500} = 436 \text{ mm}$.

Fijando un calado de 5 dm, por ejemplo, se obtiene el diámetro de la tubería a partir de la expresión de vertedero circular, teniendo en cuenta, además, la relación entre caudales ($Q = Q_e + Q_p$). Para ello puede ser útil programar una hoja de cálculo. En este caso, se obtiene un diámetro $D = 5,235 \text{ dm}$.

Como se dijo en el apartado 4.2, el diámetro mínimo de un aliviadero mediante tubería debe ser de 60 cm, por lo que se adopta este valor ($D = 6 \text{ dm}$).

Repetiendo los cálculos para este valor, se obtiene el caudal máximo de alivio, $Q = 303 \text{ l/s}$, que resulta suficiente para evacuar el caudal máximo de entrada ($Q_e = 50 \text{ l/s}$) y el de la máxima lluvia sobre la superficie de la balsa ($Q_p = 242 \text{ l/s}$).

Una vez conocidas las sobrelevaciones habrá que verificar los resguardos.

A1.5.2. Aliviadero mediante canal en superficie

En general, podrá tenerse en cuenta lo dicho en el apartado A1.4.1.1 para el diseño del canal, ya sea liso o escalonado.

Mediante tubería:

Caudal a desaguar por la/s tubería/s:

$$Q = Q_e + Q_p \text{ (} Q_e \text{ dato)}$$

Q_p :

$$P_{24h}^{500}$$

“Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”. Ministerio de Fomento

$Q, h, \Phi \rightarrow$ Conducción circular
Vertedero circular

Aliviaderos

Mediante canal en superficie:

Caudal a desaguar por el canal: $Q = Q_e + Q_p$ (Q_e dato)

Q_p :

P_{24h}^{500}

“Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”. Ministerio de Fomento

Q, h, b

Vertedero de pared gruesa

Dispositivos de salida de agua

Tomas:

- Hipótesis de balsa al nivel mínimo de explotación con caudal punta de la demanda.
- Caudal de toma:
 $A = h_e + h_{vs} + h_z + h_r + h_{cp}$

$$h_v = \frac{Q^2}{2g\pi^2 r^4} \quad A + h_v = H_a$$

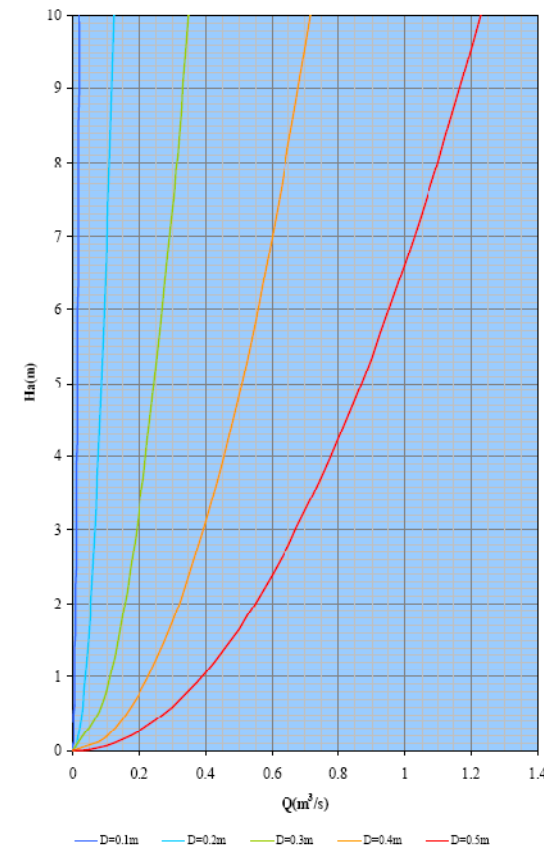
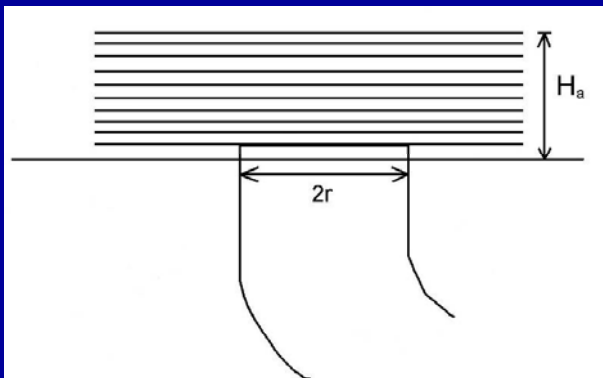


Fig 26. Curva de gasto de una toma para una balsa de hasta 10 m de altura y de hasta un talud 4H/1V

Dispositivos de salida de agua

Desagües de fondo:

- Capacidad de desagüe:
Bernouilli → Q, h, Φ
- Tiempo de vaciado: 1-2 días
Capacidad del desagüe
Curva característica

→ Cálculo paso a paso

A1.6.1.6. Pérdida de carga en chapas perforadas

Puede ser calculada por la expresión:

$$h_{\eta} = \frac{(0,71 \sqrt{1-\eta+1-\eta})^5}{\eta^5}$$

Donde $\eta = S_0/S$ es la relación entre la superficie total de los agujeros y la superficie total de la parrilla.

Esta expresión es válida para pared delgada, es decir, $a/d_0 < 0,015$ (siendo a el grosor de la chapa y d_0 el diámetro del orificio) y para valores del número de Reynolds del orificio, $R_{d_0} = v_0 d_0 / \nu \geq 10^3$, siendo v_0 la velocidad a través de cada orificio (m/s) y ν la viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

A1.6.2. Desagües de fondo

El desagüe de fondo debe dimensionarse para que el tiempo máximo de vaciado de la balsa, en caso de avería o por razones de mantenimiento, sea razonable. En la práctica este tiempo se fija, dependiendo del volumen de agua almacenado en el vaso, entre 1 y 2 días.

A1.6.2.1. Determinación del caudal de desagüe

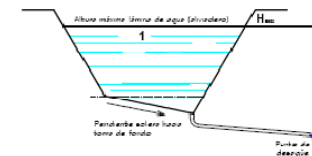


Fig 32. Esquema del desagüe de fondo de una balsa

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, se obtiene la expresión:

$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + A \quad P_1 = P_2 \quad v_2 = 0 \quad H = z_1 - z_2$$

Donde: H_1 : altura de agua en la balsa que se asimilará a la altura en el punto de desagüe (m).

v : velocidad del agua en la conducción de salida (m/s).

A : pérdidas de carga en el tramo (m.c.a.).