

MANUAL PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BALSAS

ESTUDIOS HIDRÁULICOS

LUIS BALAIRÓN PÉREZ (CEDEX)
CARLOS GRANELL NINOT (JGIC)

MADRID, 18 DE NOVIEMBRE 2010

CONTEXTO



2003



2007



2009

LOS TRABAJOS DEL CEDEX EN EL
CAMPO DE LA NORMATIVA TÉCNICA
SOBRE OBRAS HIDRÁULICAS

ANTECEDENTES



1963



1967



1971



1977



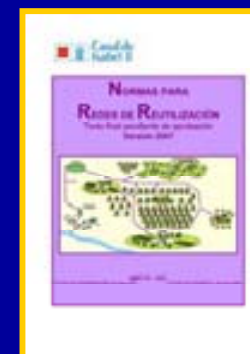
2005



2006



2006



2007

LOS TRABAJOS DEL CEDEX EN EL CAMPO DE LA
NORMATIVA TÉCNICA SOBRE OBRAS HIDRÁULICAS

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.

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

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.

Resumidamente, los partes de los que consta este tipo de estructura son las siguientes:

- Arqueta de entrada.
- Canal (liso o escalonado).
- Concreto amortiguador.

Adaptando un canal escalonado puede llegarse a conseguir una disipación de energía tal que evita la necesidad de colocar un concreto amortiguador aguas abajo, o que lo necesite solamente en dimensiones considerablemente.



Figura 1 Canal de entrada escalonado

El canal debe diseñarse con una inclinación tal que permita la normal circulación de la corriente de agua durante la aproximación de este o incluso para el acceso de propia maquinaria hasta el fondo del canal 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 una plataforma de inspección, de forma paralela al canal, para el acceso de personas a la misma. Estas estructuras pueden instalarse para indicar la altura del agua o la capacidad almacenada.

Los accesorios 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.

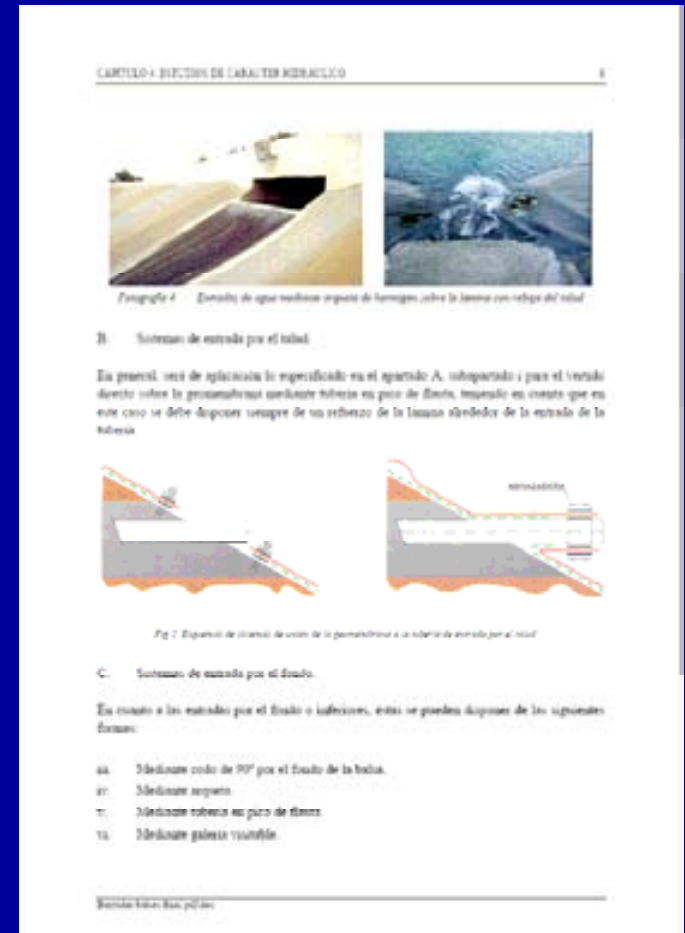
C. Sistemas de entrada por el fondo.

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.



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.

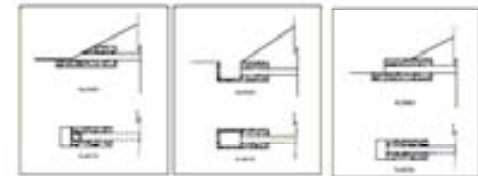


Fig. 1. Espinas de entrada en pico de flauta.

vi. Mediante galería visitable.

En el caso de que se disponga una galería visitable para algún tipo de conductos de toma y derivación de fondo, esta se debe aprovechar también para algún tipo de entrada de agua. En caso de que la misma se prolongue hasta el talud exterior de la balsa, se debe facilitar también la misma esclusión del talud y disponiendo las rejillas o elementos adosados a las tuberías de su borde exterior.

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



Fotografía 1. Cámara 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 los túneles como, por ejemplo, aliviaderos laterales, Morning Glory (ver Fotografía 11) o en laberinto (ver Fotografía 12), que debido a su complejidad quedan fuera del ámbito de este Manual y para cuyo diseño sería preciso recurrir a técnicos especialistas.



Fotografía 11 Aliviadero Morning Glory en granito



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



Fotografía 17 - Desagüe de fondo en construcción y finalizado. Balsa de Yompa y de Balsa (Líbano)



Fotografía 18 - Desagüe de fondo. Acople documentado para despiece de la balsa. Balsa de Mayas del Egipto (Líbano)

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 queda acortarse este tiempo de vaciado siempre respetando 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 elemento en lo que se refiere a precauciones constructivas a adoptar (conductos aljados en una excavación efectuada a tal efecto que posteriormente se hormigona o en el exterior 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 entrada total, que prolonga la vida útil de la permeabilización.
- Una menor temperatura del agua para ser utilizada en el riego.
- Una protección contra el polvo y otros daños de perforación.
- Una protección contra el vandalismo en general.

Finalmente a estos vertidos también se presentan algunos inconvenientes:

- Fuentes lluvias o vientos pueden dañar la estructura de sombra y, como consecuencia, la hilera.
- La malla de sombreo se daña fácilmente por el polvo.
- No permite la inspección visual de la lámina.

La literatura actual de estos sistemas se encuentra en los libros a continuación, ya que cuando se supera los 150 m los aumentos transitorios a las márgenes perimetrales pueden poner en peligro la estabilidad de los techos en su conjunto.

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 peso que flotan sobre el nivel del agua, por lo que en todo momento deben acomodarse a la superficie al aumento o disminución del desarrollo que producen los taludes laterales, lo que se resuelve mediante un sistema de pliegado formado por un sofisticado diseño de flotadores y contrapesos que dan como resultado una superficie tersa, aciliosamente visitable (ver Fotografía 26).



Fotografía 26. Dispositivo flotante de agua potable de Bogotá (Colombia) con una cubierta flotante.

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.

Condicionantes para su determinación:

- Condicionantes morfológicos.
- Condicionantes de disponibilidad del suelo.
- Condicionantes geotécnicos.
- Condicionantes climáticos.
- Condicionantes de seguridad.

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

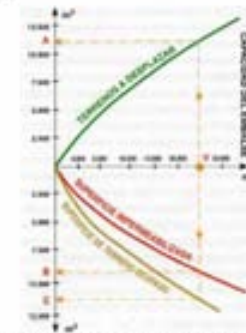


Fig. 21. Para una capacidad "T" se obtienen los valores "A", "B" y "C" para los parámetros más representativos.

b) Condicionantes de disponibilidad de suelo.

La superficie de terreno a ocupar incluye, además de la del vaso de la balsa, la superficie ocupada por la firma de construcción y los derechos de los titulares, tanto del dique de cierre como de los derechos previos para alzar el vaso, la abstracción por las instalaciones accesorias, los caminos de acceso y de servicio y por la banda perimetral de seguridad.

c) Condicionantes geotécnicos.

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) Condicionantes climáticos.

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

Condicionantes 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.

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.

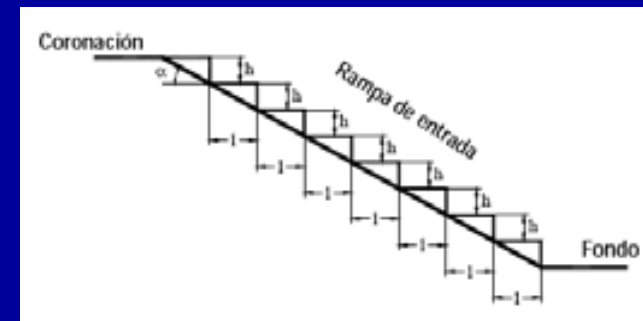
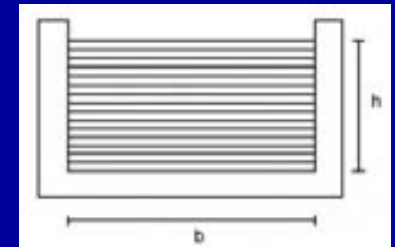
$b, Q \rightarrow$ Manning \rightarrow Altura cajeros

- 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

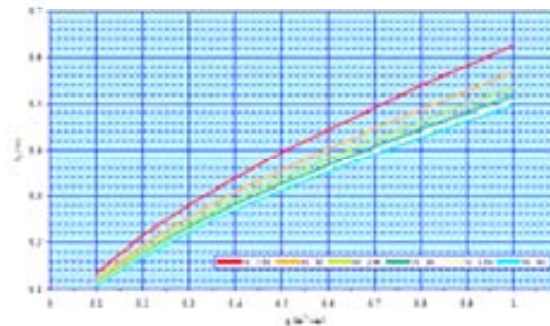


Fig 17. Línea K_f de un canal de entrada

Cuenca amortiguadora

Los parámetros de diseño de una cuenca amortiguadora son su radio, 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 superficie de entrada y un punto 1, justo en el pie del canal de entrada.

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

Donde f 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% ($f=0.3$).

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

2. Se calcula el estado en el punto 1 (v_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. Mediana tubería en pico de flauta

Mediana tubería en pico de flauta

Teniendo en cuenta que el funcionamiento es el correspondiente a su vertido en carga, se deberá 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 problemas alguno para las líneas de impermeabilización.

En los casos en los que se tiene conocimiento de problemas en la línea como consecuencia del vertido mediante chorro aparece cuando se vertido en altura sobre el talud, tal y como se representa en la Fig. 19, donde la tubería de entrada al sistema sobre la coronación del propio talud aparece, más que vertido en altura.

El análisis de estos casos ha permitido establecer que, si bien la geomembrana es capaz de soportar las fuerzas del impacto, el contacto directo (trueno del talud) sobre 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 agujeros o pequeñas cárcavas bajo la geomembrana. El impacto del chorro sobre la geomembrana, una vez formada esta, ocasiona, la rompe como consecuencia de su funcionamiento sobre una superficie hipocónica. Este tipo de rotura se puede evitar en laboratorio mediante las denominadas "armaduras de protección" (barras atornilladas).



Fig. 19. Vertido mediante tubería en altura sobre el talud

Mediana arqueta

La configuración hidráulica se corresponde con la de un vertedero de pared gruesa sin corchón 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.

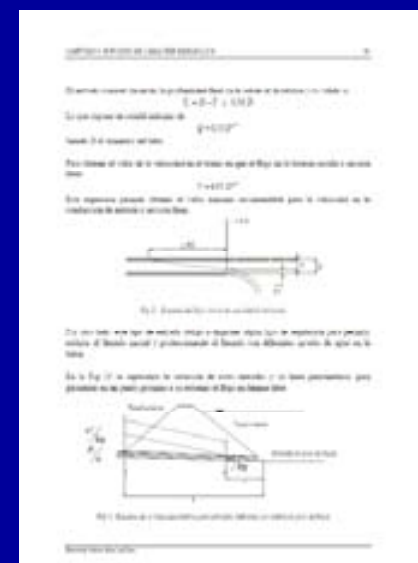
Condición de amortiguamiento de los impactos

Velocidad ascensional

Caudal vertido por coronación

- Mediante tubería en pico de flauta.

Método de la tubería de California (flujo chorro horizontal)



Aliviaderos

Mediante tubería:

Caudal a desaguar por la/s tubería/s:

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

Q_p:

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

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

Q, h, Φ → 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:
 $A = h_e + h_{vs} + h_z + h_r + h_{cp}$

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

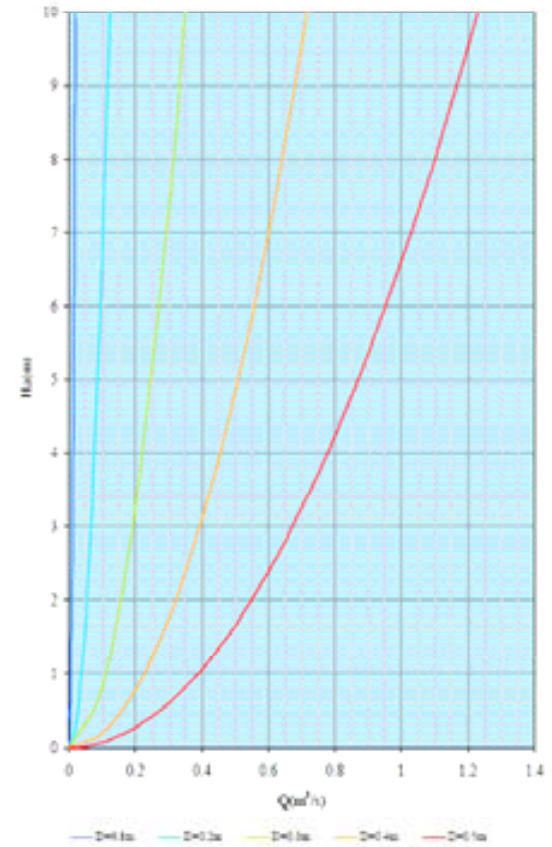
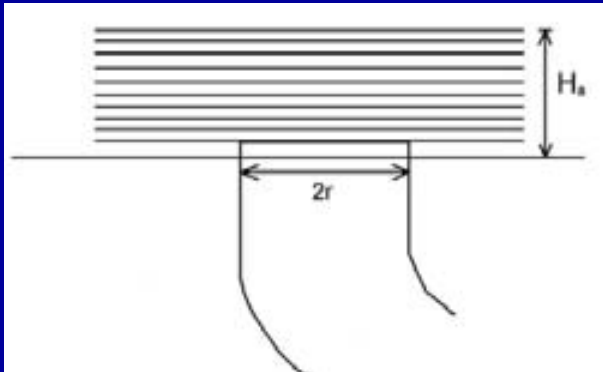


Fig. 25. Curva de pérdidas de carga para una tubería de 20 m de altura y de fondo en nivel +0.00

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

CAPÍTULO • ESTUDIOS DE CARACTER HIDRAULICO 72

A1.6.1.4. Pérdida de carga en chapas perforadas

Puede ser calculada por la expresión:

$$h_{ca} = \frac{0,71 \cdot v \cdot \sqrt{1 + v^2}}{g}$$

Donde $\eta = 0,71$ es la relación entre la superficie total de los agujeros y la superficie total de la pantalla.

Esta expresión es válida para pautas delgadas, es decir, $e/d_0 < 0,015$ (siendo e el grosor de la chapa y d_0 el diámetro del orificio) y para valores del número de Reynolds del orificio, $Re_{or} = v_0 \cdot d_0 > 10^3$, siendo v_0 la velocidad a través de cada orificio (m/s) y v la velocidad característica 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 caso, entre 1 y 2 días.

A1.6.2.1. Determinación del caudal de escape

Fig. 11. Esquema de escape de fondo de una balsa

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

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

Donde: H_1 , altura de agua en la balsa que se maneja a la altura en el punto de escape (m).
 v , velocidad del agua en la conducción de salida (m/s).
 A , pérdidas de carga en el desagüe (m.c.a.).

Fuente: Vélez, E.A., p.67-68.