

CASO PRÁCTICO. CORRECCIÓN HIDROLÓGICA

RESULTADOS

PREGUNTA 1. Caudal. Cuenca del Navazo

RESULTADOS INTERMEDIOS	
Tc(h)	2,4196
K _A	0,94
K	1,18
P'₀	4,00

CÁLCULO DE CAUDAL Y VOLUMEN					
T (años)	P _d (mm)	P' _d	I(tc) (mm/h)	C	Q (m³/s)
100	130,5	123,104284	32,22603463	0,917489863	68,4675772

PREGUNTA 2. Funciones de los diques y Fuerzas actuantes

- A. Funciones de los diques** Las obras de los diques tienen las siguientes funciones:
- a) Antes de la colmatación del vaso del embalse ejercen un control del transporte de sólidos y una mitigación de los picos de las avenidas.
 - b) Una vez colmatados, ejercen un efecto regulador del transporte sólido y la atenuación de los picos de las crecidas, aunque en menor grado que antes de la colmatación.
 - c) Consolidación del fondo del cauce, fijando el perfil longitudinal del mismo, evitando su erosión.
 - d) Formación de la cuña de aterramiento y el centrado del flujo, disminuyendo la erosión lateral de las márgenes.
 - e) La colmatación evita el deslizamiento de las laderas inestables.
 - f) Detienen las avalanchas de barro, bien sea mediante el impacto directo de las mismas contra los diques, antes de su colmatación, o por el efecto de frenado que produce el aumento del ancho del cauce y la disminución de la pendiente. En diques específicos disipación de avalanchas de nieve (aludes,...)
 - g) Recarga de acuíferos.

FUNCIÓN DE CONSOLIDACIÓN Y RETENCIÓN DE SEDIMENTOS

Tiene por objetivo evitar los fenómenos directos de erosión en los cauces y en las laderas marginales afectadas de inestabilidad por esta acción erosiva. Se persigue así la fijación del perfil longitudinal del lecho del torrente, evitando su descenso erosivo, lo que se consigue con la creación de una serie de diques consecutivos que rompen la pendiente original del cauce transformándola a una más suave.

En el caso concreto de este proyecto, la nueva pendiente conseguida tras la construcción de los diques hará variar la velocidad del torrente, evitando arrastres y socavaciones tanto en el lecho como en las laderas que donde el macizo emergente quede por debajo de la altura crítica de su estabilidad. Esta será pues la principal funcionalidad conseguida con los diques.

FUNCIÓN DE LAMINACIÓN

Mediante la laminación de las avenidas, se conseguirá disminuir la punta del hidrograma de entrada. De esta forma, el caudal que discurre por las secciones de aguas abajo podrá circular con menor problema, evitando o aminorando las consecuencias de los desbordamientos.

Este efecto es más constatable en los diques diseñados para albergar un gran vaso, y que incluso estén dotados de desagües de fondo para que esté vacío cuando ocurra la avenida.

En el caso del presente proyecto, y dado que la función de consolidación es la que principalmente se busca, el efecto de laminación será limitado.

FUNCIÓN DE RECARGA DE ACUÍFEROS

Los diques diseñados específicamente para cumplir esta función deben embalsar una importante cantidad de agua a la vez que han de ubicarse en emplazamientos de material muy permeable o de rocas fisuradas, de forma que se favorezca la infiltración por encima de cualquier otro objetivo.

Para los diques diseñados en este proyecto, la recarga será una consecuencia residual de la construcción del dique, influenciada por el tipo de material de la roca madre (más o menos filtrante) y restringida hasta el momento que la sedimentación tapone las fisuras de la roca madre.

B. Fuerzas actuantes

Las fuerzas que actúan se diferencian en fuerzas desestabilizadoras y fuerzas estabilizadoras

Fuerzas desestabilizadoras:

- a). El empuje hidrostático.
- b). Empuje horizontal del sedimento en el paramento de aguas arriba.
- c). La subpresión en la base del dique.
- d). Fuerzas sísmicas en el dique y en el embalse.
- e). Fuerza de succión del flujo que vierte sobre el paramento aguas abajo.

Fuerzas estabilizadoras:

- a). Peso propio del dique.
- b). Empuje horizontal del agua en el paramento de aguas abajo.
- c). Peso del agua sobre el paramento del dique aguas arriba.
- d). Peso del agua que vierte sobre la cresta del dique.
- e). Peso del sedimento sobre el paramento de aguas arriba.

De las posibles situaciones entre el sedimento y el agua, la más desfavorable corresponde a la situación en que el dique está vacío de sedimentos y por lo tanto es la que se debe tener en cuenta en el cálculo.

De todas las posibles fuerzas que pueden actuar en el dique se suelen desprestigiar las siguientes:

1º) El peso y el empuje horizontal del agua sobre el paramento de aguas abajo, debido a que no son permanentes y de esta forma se incrementa la seguridad de la obra.

2º) El peso de los sedimentos sobre el paramento de aguas arriba. Puesto que solo esta fuerza actúa cuando el dique está semicolmatado, situación que no es la que se ha tenido en cuenta en el cálculo del dique.

3º) Las fuerzas sísmicas en el dique y en el embalse, en diques menores a 15 m, queda a criterio del proyectista la decisión de utilizar o no cargas sísmicas, de acuerdo a la magnitud de las obras. Aunque la Región de Murcia es una zona de relativa sismicidad, no se consideran el efecto de estas fuerzas por la escasa dimensión de los diques.

4º) La succión en el paramento de aguas abajo del dique es un fenómeno que se produce cuando la lámina de agua se separa de dicho paramento creando una cámara de aire sometida a presiones subatmosféricas. Esta succión se evita aireando la parte inferior de la lámina vertiente para lograr así presión atmosférica entre la lámina y el paramento de aguas abajo del dique. La aireación se consigue construyendo el vertedero hacia la parte central del dique, de forma que el flujo no quede confinado por muros laterales o por laderas del torrente.

5º) El roce del flujo en el paramento de aguas abajo en los diques de mampostería no se produce porque el dique se proyecta para que la lámina de agua se separe de dicho paramento y evitar así el impacto de los materiales arrastrados contra el dique.

Por lo tanto el resto de fuerzas son las que actúan y se tienen normalmente en cuenta:

- a) La subpresión. El agua embalsada puede infiltrarse a través del contacto dique-cimiento por las fisuras y poros del material de cimiento creando así una fuerza de subpresión, definida por un diagrama triangular.
- b) El empuje horizontal del agua en el paramento de aguas arriba. El peso específico utilizado corresponde al agua con sedimentos y es de 1.200 kg/m³.
- c) El peso propio del dique. Constituye la principal fuerza estabilizadora. El peso del material de mampostería utilizado en la construcción de estos diques es de 2400 kg/m³, para el caso de la mampostería hidráulica.
- d) El peso de la lámina de agua sobre la base superior del dique en la coronación.

PREGUNTA 3 Cálculos del dique

A. Comprobaciones estabilidad diques

Las comprobaciones que se deben de realizar en los diques de gravedad de Mampostería Hidráulica son las siguientes:

- Ausencia de tracciones en el cuerpo del dique y en el contacto dique-cimiento. Para lo cual es suficiente que la resultante de las fuerzas actuantes pase por el tercio central de la base del bloque analizado (que la resultante esté dentro de la fibra neutra).
- Estabilidad al vuelco. La comprobación queda resuelta con la condición anterior de ausencia de tracciones.
- Estabilidad al deslizamiento en juntas del dique, dique-cimiento y del propio cimiento. El deslizamiento tiende a producirse como consecuencia de las fuerzas horizontales que actúan hacia aguas abajo con el embalse lleno, y es resistido por la fricción entre el dique y el cimiento, la cohesión. Se ha tomado como coeficiente de fricción el valor de 0,75.
- Cargas admisibles en el cimiento y excentricidad (terreno). Se han calculado las cargas que se transmiten al cimiento para verificar que las mismas sean menores o iguales a las admisibles, también se ha comprobado que la excentricidad está por debajo de la admisible.

B. Condición Núcleo Central

Una vez predimensionado el dique por encima de la cimentación, se realizan las siguientes comprobaciones a la altura de la junta alzado-zapata:

– Condición de núcleo central

Los parámetros que intervienen en el cálculo son los siguientes:

- H: altura útil del dique (m)
- e: espesor en coronación del dique (m)
- h: altura del vertedero (m)
- b: espesor en la base del alzado del dique (m)
- γ_r : peso específico de la fábrica del dique ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- γ : peso específico del agua ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- γ_s : peso específico del agua cargada de sedimentos ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- c: coeficiente de subpresión (adimensional)
- f_r : coeficiente de rozamiento entre alzado y zapata del dique (adimensional)

El cálculo o comprobación se realiza para la unidad de longitud del dique.

OPOSICIÓN INGENIERO DE MONTES ACCESO LIBRE.
2º Ejercicio 15 de Febrero 2017

Comprobación en la sección por vertedero
Las acciones a considerar son:

a) Empuje horizontal de las aguas cargadas de sedimentos:

Para el cálculo de los diques sólo se considera la hipótesis de dique sin aterrizar sometido al empuje del agua con carga importante de sedimentos, puesto que esta hipótesis normalmente es más desfavorable que la de dique aterrado sometido al empuje de tierras anegadas.

Se considera un empuje trapecial, tomando las presiones hidrostáticas los siguientes valores:

$$\text{a la altura del umbral del vertedero: } e_1 = \gamma_s \cdot h \text{ (kg.m}^{-1}\text{.ml}^{-1}\text{)}$$

$$\text{a la altura de la base del alzado del dique: } e_2 = \gamma_s \cdot (H+h) \text{ (kg.m}^{-1}\text{.ml}^{-1}\text{)}$$

Por lo que el empuje se divide en dos componentes:

$$E_1 = \frac{1}{2} \gamma_s H^2 \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$$

$$E_2 = \gamma_s hH \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$$

b) Peso del agua con sedimentos sobre el vertedero:

$$P_a = \gamma_s \cdot e \cdot h \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$$

c) Peso del alzado del dique, dividido en dos componentes:

$$P_1 = \gamma_f \times e \times H \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \gamma_f (b - e)H \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$$

d) Empuje ascensional debido a la subpresión:

Se supone un reparto triangular de la subpresión a lo largo de la base, con un valor máximo en el extremo aguas arriba de:

$$sp_1 = c \cdot (H + h) \cdot \gamma \text{ (kg.m}^{-1}\text{.ml}^{-1}\text{)}$$

OPOSICIÓN INGENIERO DE MONTES ACCESO LIBRE.
2º Ejercicio 15 de Febrero 2017

por lo que el empuje debido a la subpresión toma el valor:

$$Sp = \frac{1}{2} sp_1 \cdot b \text{ (kg.m.l}^{-1}\text{)}$$

- Comprobación a núcleo central

Es necesario calcular el momento de todas las fuerzas actuantes con respecto al extremo aguas abajo de la base del alzado del dique.

Los brazos de las distintas acciones con respecto a dicho punto son los siguientes:

$$X(E_1) = \frac{1}{3} H \text{ (m)}$$

$$X(E_2) = \frac{1}{2} H \text{ (m)}$$

$$X(P_a) = \frac{e}{2} + (b - e) \text{ (m)}$$

$$X(P_1) = \frac{e}{2} + (b - e) \text{ (m)}$$

$$X(P_2) = \frac{2}{3} (b - e) \text{ (m)}$$

$$X(Sp) = \frac{2}{3} b \text{ (m)}$$

Por tanto los momentos de las fuerzas verticales y horizontales respecto a ese punto son:

Momento volcador (fuerzas horizontales):

$$M_v = E_1 \times X(E_1) + E_2 \times X(E_2) \text{ (kg.m.m.l}^{-1}\text{)}$$

Momento estabilizador (fuerzas verticales):

$$M_e = P_a \times X(P_a) + P_1 \times X(P_1) + P_2 \times X(P_2) - Sp \times X(Sp) \text{ (kg.m.m.l}^{-1}\text{)}$$

Momento total: $M_t = M_e - M_v$ (kg.m.m.l⁻¹)

La excentricidad del punto de aplicación de la resultante de todas las acciones con respecto al centro de la sección correspondiente a la base del alzado del dique se calcula mediante la expresión:

$$ex = \frac{b}{2} - \frac{M_t}{F_v} \text{ (m)}$$

Para que dicha resultante pase por el núcleo central de esta sección y, por tanto, para que se cumpla la condición de ausencia de tensiones de tracción, debe verificarse que:

$$ex < \frac{b}{6}$$

Esta condición implica el cumplimiento sobrado de la condición de seguridad al vuelco:

$$M_e > M_v$$

$S_p = 12.450 \text{ kg.ml}^{-1}$
 $E_1 = 48.600 \text{ kg.ml}^{-1}$
 $E_2 = 32.400 \text{ kg.ml}^{-1}$
 $P_a = 10.800 \text{ kg.ml}^{-1}$
 $P_1 = 62.100 \text{ kg.ml}^{-1}$
 $P_2 = 54.855 \text{ kg.ml}^{-1}$
 $X(E_1) = 3,00 \text{ m}$
 $X(E_2) = 4,50 \text{ m}$
 $X(P_a) = 6,80 \text{ m}$
 $X(P_1) = 6,80 \text{ m}$
 $X(P_2) = 3,53 \text{ m}$
 $X(S_p) = 5,53 \text{ m}$
 $M_v = 291.600 \text{ kg.m.ml}^{-1}$
 $M_e = 620.509 \text{ kg.m.ml}^{-1}$ cumple a vuelco
 $M_t = 328.909 \text{ kg.m.ml}^{-1}$
 $e_x = 1,30 \text{ m}$
 $b / 6 = 1,38 \text{ m}$ cumple a núcleo central

C. Condición de NO Deslizamiento

- Comprobación a deslizamiento:

Sumatorio de fuerzas horizontales: $F_h = E_1 + E_2 \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$

Sumatorio de fuerzas verticales $F_v = P_a + P_1 + P_2 - S_p \text{ (kg.ml}^{-1}\text{)}$

Debe cumplirse la condición: $\frac{F_h}{F_v} < f_f$

Sección por vertedero:

$e_1 = 3.600 \text{ kg.m}^{-1}.\text{ml}^{-1}$

$e_2 = 14.400 \text{ kg.m}^{-1}.\text{ml}^{-1}$

$E_1 = 48.600 \text{ kg.ml}^{-1}$

$E_2 = 32.400 \text{ kg.ml}^{-1}$

$P_a = 10.800 \text{ kg.ml}^{-1}$

$P_1 = 62.100 \text{ kg.ml}^{-1}$

$P_2 = 54.855 \text{ kg.ml}^{-1}$

$sp_1 = 3.000 \text{ kg.m}^{-1}.\text{ml}^{-1}$

$S_p = 12.450 \text{ kg.ml}^{-1}$

$F_h = 81.000 \text{ kg.ml}^{-1}$

$F_v = 115.305 \text{ kg.ml}^{-1}$

$F_h / F_v = 0,70 < 0,75$ cumple a deslizamiento

PREGUNTA 4 Número de Froude

$F_1 = 3,49$

$F_1 < 1,7$ No es necesario emplear disipadores de energía, siendo suficiente un zampeado de longitud $4 \cdot h_2$ para la protección de las obras.

$1,7 < F_1 < 2,5$ Puede emplearse un disipador de energía, pero no es absolutamente necesario.

$2,5 < F_1 < 4,5$ Es una zona de transición difícil, no resultarían los zampeados, pero tampoco los cuencos amortiguadores, pues si se fuerza la formación de un resalto hidráulico, éste no se estabiliza, sino que fluctúa intermitentemente, y las ondas superficiales pueden prolongarse más allá del cuenco.

$F_1 > 4,5$ Es el nivel óptimo para el uso de los disipadores de energía.