ANEJO 11: CÁLCULO DE BALSAS

INDICE:

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO. 3
2. CAPACIDAD DE LAS BALSAS. 3
3. CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS DE LLENADO. 4
3.1. CAUDAL DE LLENADO DE LAS BALSAS. 4
3.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS DE LLENADO. 4
4. CÁLCULO DEL ALIVIADERO LATERAL. 5
5. BALSA ELEVADA. 6
5.1. COTA SOLERA DE LA BALSA 6
5.2. ANCHO DE CORONACIÓN 6
5.3. ALTURA DE RESGUARDO 6
5.4. CÁLCULO DEL ALIVIADERO DE LA BALSA ELEVADA. 7
5.5. RESUMEN CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES 8
6. BALSA DE REGULACIÓN. 9
6.1. COTA MÁXIMA DEL AGUA DE LA BALSA 9
6.2. ANCHO DE CORONACIÓN 10
6.3. ALTURA DE RESGUARDO 10
6.4. RESUMEN CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES 11
7. BALSA SIEMPRE LLENA. 12
8. OTRAS CARACTERÍSTICAS COMUNES A LAS BALSAS 12
8.1. PENDIENTES DE LOS TALUDES DE LAS BALSAS. 12
8.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS 13
8.3. IMPERMEABILIZACIÓN Y GEOTEXTIL 13
8.3.1. DESCRIPCIÓN 13
8.3.2. CÁLCULO DE LOS ANCLAJES DE LA LÁMINA DE PEAD 14
8.4. SISTEMA DE DRENAJE 15
8.4.1. DRENAJE LÁMINA IMPERMEABILIZANTE. 15
8.4.2. DRENAJE PROFUNDO 16
8.5. OTROS ELEMENTOS DE LA BALSA 16
8.5.1. VALLADO PERIMETRAL 16

8.5.2. CAMINO DE CORONACIÓN 16
8.5.3. ELEMENTOS DE SEGURIDAD 17

ANEXO 11: CÁLCULO DE BALSAS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PRESENTE ANEJO.

En el presente anejo se pretende realizar el estudio y diseño de las balsas que se consideran en este proyecto. Se proyectan un total de 3 balsas:

- Balsa de regulación que es la que almacenará preferentemente las aguas derivadas de Canal del Cinca. De esta balsa parte la red de presión natural C.
- Balsa elevada, que se llena por bombeo desde la Balsa de regulación y que domina por cota la red A.
- Balsa siempre llena, que se llena de la tubería de salida del Canal del Cinca y se proyecta de manera que su aliviadero derive aguas a la Balsa de regulación. Por ello, en situación normal, estará siempre llena. De dicha balsa parte la red de presión natural B.

2. CAPACIDAD DE LAS BALSAS.

Según la experiencia de que se dispone, para una adecuada gestión de la oferta y demanda de agua por parte de una comunidad de regantes, en el Sistema de los Riegos del Alto Aragón, conviene disponer de una reserva de agua de al menos 3 días. Hay que tener en cuenta que el riego en este caso es a la demanda, y los pedidos de agua a la Confederación se cursan con 48 h. de antelación. Finalmente, cuando se producen episodios de viento, los regantes cortan el riego. Existen numerosas CC. RR. que, por no disponer de capacidad de reserva suficiente, tienen que tirar mucha agua por los aliviaderos y desagües.

Por ello, las capacidades de las balsas proyectadas son las siguientes:

CAPACIDAD BALSAS REGULACIÓN			
RED	SUP. (ha)	VOL. BALSA (m3)	DÍAS REGULACIÓN
A	785	165.240	3,48
B	1.241	34.836	0,46
C	1.512	464.312	5,08
TOTALES	**3.538**	**664.388**	**3,10**

En el caso de la red B, ésta se suministra de la denominada balsa “siempre llena”, por lo que ésta tiene una cota constante, que es la 397,00.

Se establece una reserva de agua de 0,46 días = 11 h., para que, caso de que se corte el suministro del Canal del Cinca, se disponga de 11 h. para reaccionar evitando la descarga de la red. Además, se dispone de una cierta reserva de agua fuera de campaña de riego.

3. CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS DE LLENADO.

3.1. CAUDAL DE LLENADO DE LAS BALSAS.

Como caudales de llenado de las balsas se establecen los caudales-punta de diseño de las redes, que son los siguientes, de acuerdo con el anejo 14 de cálculos hidráulicos de la red de riego:

- Caudales-punta de la red A: 1.077 l/s.
- Caudal punta de la red B: 1168 l/s.
- Caudal punta de la red C: 1.493 l/s.

Dado que la balsa de regulación suministra tanto a la red A como la C, el caudal de entrada debería ser de 1.077 + 1.493 = 2.570 l/s. Este caudal se mayora a 3.000 l/s que es el caudal máximo de la toma del Canal del Cinca.

3.2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS DE LLENADO.

Las tuberías de llenado se proyectan de acero helicosoldado de 1524 * 112,5 mm. Las velocidades máximas de estas tuberías serán las siguientes:

TUBERÍA TOMA Y LLENADO BALSAS						
TUBERÍA	CAUDAL (l/s)	TUBERÍA	DIAM. INT. (mm.)	VELOC. (m/s)	C Hazen Williams	P.CARGA UNITARIA (mca)
Toma canal, aliviadero y llenado balsa regulación	3.000	Acero 1524*12,5	1499,0	1,70	130	0,0014
Llenado balsa siempre llena	1.077	Acero 1524*12,5	1499,0	0,61	130	0,0002

4. CÁLCULO DEL ALIVIADERO LATERAL.

El aliviadero lateral diseñado permite por un lado garantizar que la balsa siempre llena esté siempre llena ya que el caudal preferentemente va a dicha balsa y cuando se llena pasa a la balsa de regulación. Caso de que esta última se llene, los caudales sobrantes se evacuarán a un desagüe muy próximo al aliviadero.

El aliviadero lateral se calcula como un vertedero rectangular libre en pared delgada sin contracción lateral y sin velocidad inicial. La fórmula de cálculo del caudal es la siguiente:

$$Q = m * b\sqrt{2 * g} * h^{3/2}$$

Donde:

- m. Coeficiente experimental. m=0,40.
- b. Anchura del vertedero. b=32 m.
- h. Carga o altura del agua vertida sobre la coronación del aliviadero. h = 0,10 m.

CÁLCULO ALIVIADERO LATERAL			
Coeficiente m	Anchura vertedero b (m.)	Carga h (m.)	Caudal Q (m3/s)
0,4	32	0,10	1,792
0,4	32	0,11	2,067
0,4	32	0,12	2,356
0,4	32	0,13	2,656
0,4	32	0,14	2,968
0,4	32	0,15	3,292
0,4	32	0,16	3,627
0,4	32	0,17	3,972
0,4	32	0,18	4,328
0,4	32	0,19	4,693
0,4	32	0,2	5,069

Se aprecia que, con una carga de 15 cm, el aliviadero es capaz de evacuar un caudal superior al máximo de la toma, que es de 3 m3/s.

5. BALSA ELEVADA.

5.1. COTA SOLERA DE LA BALSA

Se proyecta como cota de solera la cota 430,50 que es la cota mínima que garantiza el riego de los hidrantes más desfavorables de la red A, según se justifica en el anejo nº 13 de cálculos hidráulicos de la red de riego.

5.2. ANCHO DE CORONACIÓN

La coronación es la parte libre superior del dique, limitada por los taludes y que forma la base menor de su sección transversal trapezoidal.

$$C \geq \frac{H}{5} + 3$$

donde:

H es la altura del dique desde coronación hasta base de cimentación (10,00 m.).

C es el ancho de coronación en m.

Se obtiene un valor de C de 5,00 m, que es el que se adopta finalmente.

5.3. ALTURA DE RESGUARDO

Al chocar las olas con el talud del embalse se producen “rociones” que pueden alcanzar la coronación, sobrepasándola, afectar al talud aguas abajo con su consiguiente deterioro, incluso poniendo en peligro la estabilidad del dique. Este peligro se evita poniendo un resguardo de seguridad, siendo este la distancia vertical entre la cota del N.A.M.O. y la coronación de la presa.

Para el cálculo de la altura de los “rociones” se parte de la fórmula de IRRIBARREN que establece el resguardo de seguridad:

$$h_r = 0{,}9\sqrt[4]{L}$$

donde:

L= Longitud máxima del embalse (Km) de la lámina de agua para el embalse lleno.
En este caso L= 0,2 km
hr = Altura máxima de los rociones de oleaje.

Aplicando la fórmula se obtiene una altura máxima de los rociones de oleaje de 0,60 metros. Para estar del lado de la seguridad, se proyecta un resguardo de 1,00 metro.

5.4. CÁLCULO DEL ALIVIADERO DE LA BALSA ELEVADA.

Se diseña un aliviadero para el supuesto caso de que las medidas de protección fallen, se llene la balsa y ésta se rebose. Por lo tanto, se diseña el aliviadero para que sea capaz de evacuar el total del caudal de bombeo. Este caudal es de , 0,817 m3/s.

- Caudal de diseño: 0,817 m^3/s

Se diseña un aliviadero tipo “vertedero de cresta ancha“. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = Cd' \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot B \cdot h_o^{3/2}$$

donde:

- b: longitud del aliviadero en metros. b=4,00 m.
- Cd: coeficiente experimental. b= 0,385
- h: carga del aliviadero (m.)
- Q: caudal (m^3/s).

Se adjunta cuadro donde se indica el caudal evacuado en función de la carga del aliviadero:

CÁLCULO ALIVIADERO BALSA ELEVADA			
Coeficiente m	Anchura vertedero b (m.)	Carga h (m.)	Caudal Q (m3/s)
0,385	4	0,10	0,216
0,385	4	0,11	0,249
0,385	4	0,12	0,283
0,385	4	0,13	0,320
0,385	4	0,14	0,357
0,385	4	0,15	0,396
0,385	4	0,16	0,436
0,385	4	0,17	0,478
0,385	4	0,18	0,521
0,385	4	0,19	0,565
0,385	4	0,2	0,610
0,385	4	0,21	0,656
0,385	4	0,22	0,704
0,385	4	0,23	0,752
0,385	4	0,24	0,802
0,385	4	0,25	0,852
0,385	4	0,26	0,904
0,385	4	0,27	0,957
0,385	4	0,28	1,010
0,385	4	0,29	1,065
0,385	4	0,30	1,120

Se aprecia que el aliviadero con 25 cm de carga es capaz de evacuar el caudal máximo de bombeo.

5.5. RESUMEN CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

En la tabla presentada a continuación se definen las características fundamentales que definen la balsa propuesta:

Superficie ocupada por la balsa (m^2)	38.304
Cota coronación (m)	440,00
Cota aliviadero (m)	439,00
Anchura coronación (m)	5,00
Cota fondo (m)	430,50
Cota de agua (N.A.M.O) (m)	439,00
Altura de agua (N.A.M.O) (m)	8,50
Cota de agua (N.A.M.E) (m)	439,25
Volumen de agua (N.A.M.O) (m^3)	167.794
Resguardo sobre (N.A.M.O (m)	1,00
Superficie de fondo de balsa (m^2)	10.637
Perímetro fondo de balsa (m)	417
Superficie lámina de agua (N.A.M.O) (m^2)	23.024
Longitud coronación (vallado)	622
Talud aguas arriba (interior)	2,5H:1V
Talud aguas abajo (exterior)	2H:1V
Volumen desmonte (m)	69.325
Volumen terraplén (m^3)	64.735
Superficie desbroce (m^2)	38.304

6. BALSA DE REGULACIÓN.

6.1. COTA MÁXIMA DEL AGUA DE LA BALSA

Se toma como cota máxima la cota de solera del Canal del Cinca de donde se toma, es decir, la cota 397,00. A partir de esta cota se diseña toda la balsa.

6.2. ANCHO DE CORONACIÓN

La coronación es la parte libre superior del dique, limitada por los taludes y que forma la base menor de su sección transversal trapezoidal.

$$C \geq \frac{H}{5} + 3$$

donde:

H es la altura del dique desde coronación hasta base de cimentación (10,00 m.).

C es el ancho de coronación en m.

Se obtiene un valor de C de 5,00 m, que es el que se adopta finalmente.

6.3. ALTURA DE RESGUARDO

Al chocar las olas con el talud del embalse se producen “rociones” que pueden alcanzar la coronación, sobrepasándola, afectar al talud aguas abajo con su consiguiente deterioro, incluso poniendo en peligro la estabilidad del dique. Este peligro se evita poniendo un resguardo de seguridad, siendo este la distancia vertical entre la cota del N.A.M.O. y la coronación de la presa.

Para el cálculo de la altura de los “rociones” se parte de la fórmula de IRRIBARREN que establece el resguardo de seguridad:

$$h_r = 0{,}9\sqrt[4]{L}$$

donde:

L= Longitud máxima del embalse (Km) de la lámina de agua para el embalse lleno.

En este caso L= 0,45 km

hr = Altura máxima de los rociones de oleaje.

Aplicando la fórmula se obtiene una altura máxima de los rociones de oleaje de 0,74 metros. Para estar del lado de la seguridad, se proyecta un resguardo de 1,200 m.

6.4. RESUMEN CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

En la tabla presentada a continuación se definen las características fundamentales que definen la balsa propuesta.

Superficie ocupada por la balsa (m^2)	40.544
Cota coronación (m)	398,20
Cota aliviadero (m)	397,00
Anchura coronación (m)	5,00
Cota fondo (m)	389,00
Cota de agua (N.A.M.O) (m)	397,00
Altura de agua (N.A.M.O) (m)	9,00
Cota de agua (N.A.M.E) (m)	397,15
Volumen de agua (N.A.M.O) (m^3)	464.312
Resguardo sobre (N.A.M.O (m)	1,20
Superficie de fondo de balsa (m^2)	10.637
Perímetro fondo de balsa (m)	417
Superficie lámina de agua (N.A.M.O) (m^2)	23.024
Longitud coronación (vallado)	622
Talud aguas arriba (interior)	2,5H:1V
Talud aguas abajo (exterior)	2H:1V
Volumen desmonte (m)	312.411
Volumen terraplén (m^3)	310.222
Superficie desbroce (m^2)	40.544

7. BALSA SIEMPRE LLENA.

Los movimientos de tierras, así como las ocupaciones de esta balsa se consideran englobados en la balsa de regulación. El resto de sus características son:

Cota coronación (m)	398,20
Cota aliviadero (m)	397,00
Anchura coronación (m)	5,00
Cota fondo (m)	394,00
Cota de agua (N.A.M.O) (m)	397,00
Altura de agua (N.A.M.O) (m)	9,00
Cota de agua (N.A.M.E) (m)	397,15
Volumen de agua (N.A.M.O) (m^3)	34.836
Resguardo sobre (N.A.M.O (m)	1,20
Superficie de fondo de balsa (m^2)	10.637
Perímetro fondo de balsa (m)	417
Superficie lámina de agua (N.A.M.O) (m^2)	23.024
Longitud coronación (vallado)	622
Talud aguas arriba (interior)	2,5H:1V
Talud aguas abajo (exterior)	2H:1V

8. OTRAS CARACTERÍSTICAS COMUNES A LAS BALSAS

8.1. PENDIENTES DE LOS TALUDES DE LAS BALSAS.

Dado que no se dispone de datos de geotecnia, se consideran los siguientes taludes habituales en balsas de esta índole:

- Talud aguas arriba (interior): 2,5H:1V.
- Talud aguas abajo (exterior): 2H:1V

8.2. MOVIMIENTO DE TIERRAS

Para el cálculo del movimiento de tierras de la balsa propuesta se ha calculado un Modelo Digital de Terreno a partir de la topografía realizada. El cálculo se ha hecho con el programa MDT V.5 mediante diferencia de mallas entre el terreno actual y el modificado tras la ejecución de la balsa.

8.3. IMPERMEABILIZACIÓN Y GEOTEXTIL

8.3.1. DESCRIPCIÓN

Se prevé impermeabilizar el vaso de la balsa de regulación mediante lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor. Se elige este material frente al PVC debido a que su duración es mayor que la de éste último, y no se opta por una lámina de EPDM, ya que aunque las características técnicas son similares el precio de este último es superior. Para proteger esta membrana contra el punzonamiento y la abrasión, tanto durante la instalación como después de completada, se sitúa un geotextil de 300 g/m2 de forma adyacente a la geomembrana.

Se prevén anclajes de la lámina tanto en la parte superior como en la parte inferior de los taludes de la balsa. En la parte inferior se sujetará mediante mangas de PEAD rellenas de material drenante 6/12mm de forma permite a la lámina cierto movimiento debido a las dilataciones del material, a la vez que ejerce una carga suficiente para que la lámina no se vuele estando la balsa vacía. Se ha proyectado la instalación de mangas un peso mínimo de 420 kg/m2.

En la parte superior se dispone un anclaje mediante una zanja perimetral en la que irá adosada la lámina. Esta zanja se situará a 50 cm del talud del terraplén interior de la balsa y se rellenará con hormigón en masa HM-30.

8.3.2. CÁLCULO DE LOS ANCLAJES DE LA LÁMINA DE PEAD

Se ha procedido a realizar el cálculo de los anclajes para la situación más desfavorable para el despeje de la lámina, la cual se corresponde con las balsas vacías. En la situación de balsa llena, la propia presión del agua impide el despeje de la lámina.

El caso de más desfavorable se corresponde con la incidencia del viento sobre la lámina, el cual genera una fuerza de succión que pude levantar y mover la lámina de impermeabilización. El cálculo se ha realizado mediante la aplicación de un equilibrio de fuerzas y momentos que actúan sobre la lámina. Para estar del lado de la seguridad se han despreciado las fuerzas generadas por el rozamiento tanto de la lámina como de los elementos de anclaje en coronación y fondo.

Se indican a continuación las comprobaciones efectuadas:

CÁLCULO DE ANCLAJES DE LÁMINA DE PEAD - BALSA DE REGULACIÓN	
DATOS	
Peso lámina PEAD (kg/m2)	1,8
Presión del viento [succión] (kg/m2)	40
Ancho de coronación (m)	0,5
Ancho de zanja anclaje superior (m)	0,5
Profundidad zanja anclaje superior (m)	0,5
Densidad relleno zanja anclaje superior (kg/m3)	2.000
Talud del dique (xH:1V)	2,5
Altura del dique (m)	8
Peso lastres de fondo proyectados (kg/m2)	**420**
RESULTADOS	
Longitud talud (m)	20,50
Peso total de la lamina de PEAD (kg/m)	36,90
Fuerza total succión del viento (kg/m)	820,00
Fuerza mínima anclaje de coronación(kg/m)	391,55
Fuerza mínima anclaje fondo balsa (kg/m)	391,55
COMPROBACIÓN	
Fuerza anclaje de coronación proyectado (kg/m)	500
Fuerza lastre de fondo proyectado (kg/m)	420
¿Cumple anclaje de coronación superior?	**SI**
¿Cumple lastre de fondo?	**SI**

CÁLCULO DE ANCLAJES DE LÁMINA DE PEAD - BALSA ELEVADA	
DATOS	
Peso lámina PEAD (kg/m2)	1,8
Presión del viento [succión] (kg/m2)	40
Ancho de coronación (m)	0,5
Ancho de zanja anclaje superior (m)	0,5
Profundidad zanja anclaje superior (m)	0,5
Densidad relleno zanja anclaje superior (kg/m3)	2.000
Talud del dique (xH:1V)	2,5
Altura del dique (m)	8,5
Peso lastres de fondo proyectados (kg/m2)	**420**
RESULTADOS	
Longitud talud (m)	21,75
Peso total de la lamina de PEAD (kg/m)	39,15
Fuerza total succión del viento (kg/m)	870,00
Fuerza mínima anclaje de coronación(kg/m)	415,43
Fuerza mínima anclaje fondo balsa (kg/m)	415,43
COMPROBACIÓN	
Fuerza anclaje de coronación proyectado (kg/m)	500
Fuerza lastre de fondo proyectado (kg/m)	420
¿Cumple anclaje de coronación superior?	**SI**
¿Cumple lastre de fondo?	**SI**

Se comprueba, por tanto, la idoneidad de los anclajes y lastres proyectados y descritos en el apartado anterior.

8.4. SISTEMA DE DRENAJE.

8.4.1. DRENAJE LÁMINA IMPERMEABILIZANTE.

Se dispone una red de drenaje con el fin de asegurar un correcto funcionamiento de la lámina plástica de impermeabilización. El sistema de drenaje propuesto está constituido por zanjas drenantes en la solera, que recogen y conducen el agua hasta el exterior de la balsa.

Características de las zanjas drenantes:

- Sección mínima 0,25m x 0,40m y máxima de 0,80m x 0,40m.
- Geotextil de polipropileno de 110 g/m2 que se emplaza entre el suelo y la capa drenante. Su función es evitar la saturación por materiales finos del dren.
- Tubos drenantes. Se utilizan tuberías PVC corrugado ranurado ϕ140
- Material granular. Envuelve la tubería drenante y conforma el cuerpo del dren. Se utiliza material granular 6/20 mm.

La salida al exterior se realiza mediante tuberías independientes de PVC ϕ200 corrugado. Los drenes de la balsa se conducen hasta la arqueta de válvulas de la balsa.

8.4.2. DRENAJE PROFUNDO.

Se proyecta la instalación de una tubería de drenaje profundo por debajo de solera de la balsa de regulación de PVC 160 mm corrugado e interiormente liso.

8.5. OTROS ELEMENTOS DE LA BALSA

8.5.1. VALLADO PERIMETRAL

Se propone la instalación de un vallado perimetral formado por malla de simple torsión con postes de acero galvanizado cada 3 metros. Los postes irán embebidos en un dado de hormigón de 0,4 x 0, 4 metros. Servirá para que no pueda entrar ningún tipo de animal al recinto de la balsa.

Se proyecta una puerta de 4 metros de anchura ejecutadas en dos hojas de 2,0 metros, también de malla de simple torsión con estructura de cuadradillos de hierro de 5 x 5 cm y e=2,7mm.

8.5.2. CAMINO DE CORONACIÓN

Se proyecta un camino perimetral en la coronación de 4,70 metros útiles de anchura (descontando la zona de vallado) con pendiente transversal del 1% hacia el exterior de la balsa para la evacuación de las aguas pluviales.

Este camino estará conformado por una base de 20 cm de zahorras naturales compactadas al 98 % del proctor normal; no existiendo ningún tipo de firme.

8.5.3. ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Circunstancialmente se puede producir la caída de personas al interior del vaso de la balsa. Por ello se propone la instalación de elementos de seguridad tales como:

- 16 flotadores en lugares visibles. 10 en la balsa de regulación, 4 en la elevada y 2 en la siempre llena.
- 14 cuerdas anudadas de longitud 25 metros cada una que faciliten la escapatoria en caso de caída accidental: 10 en la balsa de regulación y 4 en la elevada.
- 2 cuerdas anudadas de longitud 11,5 metros cada una que faciliten la escapatoria en caso de caída accidental en la balsa siempre llena.