

---

**ANEJO Nº 12: DISEÑO Y CÁLCULO DE LA Balsa de Regulación. OBRAS DE  
TOMA Y REGULACIÓN**

---

## ÍNDICE GENERAL

1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA Balsa .....	1
1.1	CONSIDERACIONES GENERALES .....	1
1.2	DESCRIPCIÓN .....	2
1.3	MATERIALES EMPLEADOS .....	6
1.3.1	GENERALIDADES DATOS GEOTÉCNICOS .....	6
1.3.2	MATERIALES EMPLEADOS. DESCRIPCIÓN PARTICULAR .....	7
1.4	MOVIMIENTOS DE TIERRA .....	12
1.5	SECCIONES TIPO .....	13
1.6	COMPROBACIÓN DE SECCIONES TIPO .....	14
1.6.1	DIQUES Y TALUDES. ESTABILIDAD DE TALUDES .....	14
1.6.2	ESTABILIDAD TALUD PROYECTADO .....	16
1.7	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD TOTAL Y ÚTIL DE LA Balsa .....	17
1.8	FICHA TÉCNICA DE LA Balsa .....	18
2	CÁLCULOS HIDRÁULICOS .....	20
2.1	ENTRADA DE AGUA .....	20
2.1.1	CONSIDERACIONES SOBRE VERTIDO DIRECTO SOBRE LÁMINA .....	20
2.2	SALIDA DE AGUA A RIEGO .....	23
2.2.1	SALIDA A RIEGO .....	23
2.2.2	ESTRUCTURAS QUE ATRAVIESAN EL DIQUE .....	24
2.3	DESAGÜE DE EMERGENCIA .....	25
2.3.1	DIÁMETRO DEL DESAGÜE Y TIEMPO DE VACIADO .....	25
2.3.2	VERTIDO DESAGÜE EMERGENCIA: CUENCO AMORTIGUADOR .....	30
2.4	ALIVIADERO DE LA Balsa .....	32
2.5	ALIVIADERO DEL CANAL .....	36
2.5.1	GENERALIDADES DE LA OBRA TIPO .....	36
2.5.2	SOLUCIÓN PROPUESTA PARA ALIVIO .....	38
2.5.3	TIPOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD: ALIVIO DE CANAL .....	38
2.5.4	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL CANAL .....	39
2.5.5	CÁLCULO DEL CAUDAL CIRCULANTE POR EL CANAL. VERTIDO. ....	40
2.5.6	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS A REALIZAR .....	41
2.6	DRENAJES .....	43
2.6.1	GENERALIDADES .....	43
2.6.2	DREN ESTRUCTURAL: DREN DE ENVUELTA .....	45
2.6.3	DRENES NO ESTRUCTURALES .....	46
2.6.4	DRENES UTILIZADOS .....	50
2.7	ANCHURA DE CORONACIÓN .....	52
2.8	RESGUARDO .....	52

2.9	VÁLVULAS Y OTROS ELEMENTOS: COMPUERTA .....	54
2.10	OTROS ELEMENTOS: CAUDALÍMETROS .....	55
2.11	OTROS ELEMENTOS: VENTOSAS .....	56
2.12	OTROS ELEMENTOS: LASTRES.....	56
2.12.1	ANCLAJE PERIMETRAL .....	56
2.12.2	ANCLAJES TRANSVERSALES .....	57
2.12.3	SUCCIÓN .....	57
2.13	VALLA PERIMETRAL Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD.....	58
2.13.1	VALLA PERIMETRAL .....	58
2.13.2	ELEMENTOS DE SALVAMENTO .....	59
2.14	HIDROSIEMBRA DE TALUD.....	59
2.15	CASETA DE VÁLVULAS.....	59
2.16	CUNETA PERIMETRAL .....	59
2.17	CANAL DE ENTRADA .....	60
2.18	LIMPIARREJAS Y REJA DE DESBASTE.....	61
2.19	SANEAMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN DEL TRAMO DE CANAL PARALELO A LA Balsa.....	62
3	IMPERMEABILIZACIÓN .....	62
3.1	GEOTEXTIL .....	63
3.2	GEOMEMBRANA: PEAD 2 MM .....	64
3.2.1	ENLACE CON OBRAS DE HORMIGÓN Y METÁLICAS.....	65
4	SEGURIDAD. AUSCULTACIÓN.....	67
5	PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE LA Balsa .....	69

## ÍNDICE TABLAS

TABLA 1. PARCELAS AFECTADAS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA Balsa .....	2
TABLA 2. COEFICIENTE DE SEGURIDAD ESTABILIDAD TALUDES .....	15
TABLA 3. HIPÓTESIS DE CARGA A CONSIDERAR PARA LA ESTABILIDAD TALUDES .....	15
TABLA 4. VOLUMEN ACUMULADO (M <sup>3</sup> ).....	17
TABLA 5. VOLUMEN NO ÚTIL (M <sup>3</sup> ) .....	17
TABLA 6. FICHA TÉCNICA DE LA Balsa PROYECTADA.....	19
TABLA 7. DATOS CÁLCULO DESAGÜE Balsa .....	29
TABLA 8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL DESAGÜE.....	30
TABLA 9 . RESUMEN SISTEMA IMPERMEABILIZACIÓN PROPUESTO.....	64

## ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN 1. SÍNTESIS DE TALUDES RECOGIDA EN EL ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	7
IMAGEN 2A. SÍNTESIS DE LÍMITES DE ATTERBERG Y OTROS PARÁMETROS EN NIVEL II. ARENAS CON GRAVAS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	8
IMAGEN 2B. SÍNTESIS DE LÍMITES DE ATTERBERG Y OTROS PARÁMETROS EN NIVEL II. GRAVAS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	8
IMAGEN 3. VALORES DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO. NIVEL II. GRAVAS, ARENAS CON GRAVAS Y ARCILLAS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	8
IMAGEN 4A. SÍNTESIS DE LÍMITES DE ATTERBERG Y OTROS PARÁMETROS EN NIVEL IV. GRAVAS Y BOLOS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	9
IMAGEN 4B. SÍNTESIS DE LÍMITES DE ATTERBERG Y OTROS PARÁMETROS EN NIVEL IV. GRAVAS Y BOLOS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	10
IMAGEN 5. VALORES DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO. NIVEL IV. GRAVAS Y BOLOS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	10
IMAGEN 6. VALORES DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO. NIVEL V. ARCILLAS LIMO-ARENOSAS. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO LEV-21225. ....	11
IMAGEN 7. CURVADO DE LA Balsa. ....	12
IMAGEN 8. ZONAS DE DESMONTE (ROJO) Y ZONAS DE TERRAPLÉN (VERDE). ....	12
IMAGEN 9. COMPENSACIÓN DE VOLÚMENES. ....	13
IMAGEN 10. SECCIÓN TIPO. ÚNICA PARA TODA LA OBRA DE TIERRA. ....	13
IMAGEN 11. SECCIÓN TIPO. ÚNICA PARA TODA LA OBRA DE TIERRA. ....	13
IMAGEN 12. RESUMEN DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO. ....	16
IMAGEN 13. ELEMENTOS DE PERFIL DE UN VERTEDERO ESTRICTO FIGURA 9.21 DISEÑO DE PEQUEÑAS PRESAS – BUREAU OF RECLAMATION) 22	
IMAGEN 14 . ESQUEMA DE DESAGÜE DE FONDO DE LA Balsa. ....	26
IMAGEN 15. TIEMPOS MÁXIMOS DE VACIADO EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA Balsa. ....	27
IMAGEN 16. DATOS DE DIÁMETROS MÍNIMOS EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD. ....	27
IMAGEN 17. CUENCO AMORTIGUADOR. ESQUEMA. ....	31
IMAGEN 18. COEFICIENTE DE VARIACIÓN Cv (LÍNEAS ROJAS) Y VALOR MEDIO PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA ANUAL (LÍNEAS MORADAS). ....	34
IMAGEN 19. ISOLÍNEAS DEL VALOR REGIONAL DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN Cv (FIG. 3.2). FUENTE: MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA ESPAÑA PENINSULAR (DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS – MINISTERIO FOMENTO). ....	34
IMAGEN 20. COTAS DE LA OBRA DE TOMA. FUENTE: PLANO Nº 4.2. ....	36
IMAGEN 21. PLANTA GENERAL DE LA Balsa DISEÑADA. FUENTE: PLANO Nº 21.1 Balsa DE REGULACIÓN. PLANTA GENERAL. ....	38
IMAGEN 22. SECCIÓN TIPO DEL CANAL DE VELLILLA EN EL PUNTO DE DERIVACIÓN, TOMADA IN SITU. ....	39
IMAGEN 23. COMPROBACIÓN HIDRÁULICA DE LA SECCIÓN TIPO EN ZONA DE ACTUACIÓN. ....	41
IMAGEN 24. PLANTA DE LA Balsa. ZONIFICACIÓN DRENAJES. ....	44
IMAGEN 25. SECCIÓN TIPO DE DRENAJE DE FONDO Y DREN ENVUELTA. ....	46
IMAGEN 26. DISPOSICIÓN CLÁSICA EN ESPINA DE PEZ. ....	47
IMAGEN 27 . DISPOSICIÓN CLÁSICA MEDIANTE ZANJA DRENANTE. ....	48

---

IMAGEN 28. CAUDALES EVACUADOS PARA UNA PENDIENTE DEL CINCO POR MIL A SECCIÓN LLENA CON $N=0,01$ . FUENTE: GUÍA PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE BALSAS DE TIERRA. OBRAS COMPLEMENTARIAS. ....	49
IMAGEN 29A. DETALLE DE ANCLAJE EN CORONACIÓN DE LA LÁMINA Y GEOTEXTIL. ....	53
IMAGEN 29B. DETALLE DE ROMPEOLAS CONSIDERADO. ....	54
IMAGEN 30. TABLA CURVAS LÍMITE DE VELOCIDAD VÁLVULAS DE MARIPOSA. ....	55
IMAGEN 31. DETALLE DE ANCLAJE LÁMINA PEAD EN CORONACIÓN. ....	57
IMAGEN 32. TABLA DE DIMENSIONES DE ZANJA Y ENTREGA DE LA GEOMEMBRANA, Y PROFUNDIDAD MÍNIMA PARA ANCLAJES. ....	57
IMAGEN 33. CUNETAS PERIMETRALES TIPO EJECUTADAS EN TIERRA PROPUESTA. ....	60
IMAGEN 34. DISPOSICIÓN DE CAPA DE MATERIAL FINO, PREVIO AL APOYO DEL GEOTEXTIL SOBRE EL TERRENO REFINADO. FUENTE: GUÍA PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE BALSAS DE TIERRA. ....	65
IMAGEN 35. SISTEMA DE ANCLAJE EN CONTACTO CON ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. FUENTE: GUÍA PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE BALSAS DE TIERRA. ....	66

## ÍNDICE FOTOS

FOTO 2. DISPOSICIÓN DE REJILLAS EN TOMA DE FONDO PARA RIEGO Y DESAGÜE DE EMERGENCIA. ....	24
FOTO 3. DRENAJE DE FONDO. SECCIÓN TIPO .....	48
FOTO 4. DRENAJE PERIMETRAL OBRA DE HORMIGÓN DE LA TOMA DE FONDO.....	49
FOTO 5. DISPOSICIÓN DE ROMPEOLAS EN CAMINO DE CORONACIÓN DE BALSA.....	53
FOTO 6. TIPO DE ANCLAJE PROPUESTO, TANTO PARA TALUDES COMO PARA FONDO DE BALSA. ....	58
FOTO 7. CUNETAS PERIMETRALES TIPO, QUE PROTEGEN LA OBRA DE TIERRA DE ENTRADAS ACCIDENTALES.....	60
FOTO 8. ANCLAJE DE LÁMINA A OBRA DE HORMIGÓN.....	66

## ÍNDICE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CURVA DE EMBALSE. COTA (M) – SUPERFICIE LÁMINA DE AGUA (M <sup>2</sup> ) .....	18
GRÁFICO 2. CURVA DE EMBALSE. COTA (M) – VOLUMEN DE AGUA (M <sup>3</sup> ) .....	18
GRÁFICO 3. CURVA DE CAUDAL EN EL PUNTO DE VERTIDO (ALTURA DE LÁMINA DE AGUA EN Balsa FRENTE A CAUDAL EN PUNTO DE VERTIDO).28	

# 1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BALSA

## 1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Considerando que las balsas se construyen, en general, con el material excavado para crear el vaso, procurando compensar los volúmenes de tierra “desmonte-terraplén” por un criterio meramente económico.

Dado que las balsas se ejecutan en aquellos lugares donde son necesarias, y con el criterio antes expuesto, debe de aprovecharse todo aquel material cuyos parámetros geotécnicos permitan construir terraplenes, debiendo garantizar la impermeabilización de la obra de tierra con geomembranas que eviten que, en los terraplenes heterogéneos y no impermeables, debidamente compactados, se generen caminos preferentes al agua y se produzcan fenómenos de erosión que arruinen la obra.

Los diques pueden estar provistos de una doble protección consistente en un dren estructural (dren chimenea y dren pantalla granular) y una impermeabilización secundaria. La decisión de instalar un dren estructural atiende, salvo excepciones, a la entidad de la obra y a los efectos de un potencial accidente.

Además, la ejecución de estructuras que atraviesan el dique forma a lo largo de la superficie exterior de contacto entre la estructura y el dique, caminos preferentes para el agua, si no se disponen de elementos como dren de envuelta, que eviten que las posibles filtraciones puedan encauzarse por estas vías francas y originar graves desperfectos a la balsa. Se proyectará en este caso el dren de envuelta de las estructuras que atraviesan el dique, que impidan el arrastre de material y conduzcan las filtraciones sin originar daño a la balsa.

El agua exterior, ya sea procedente de escorrentía superficial o filtraciones, también puede afectar a la balsa y, por lo tanto, éstas se deberán desviar lo suficiente para minimizar su efecto sobre la balsa.

Aunque los caudales de entrada a las balsas son perfectamente conocidos, se deben de disponer de elementos que garanticen que niveles superiores de agua al Nivel Máximo Normal (N.M.N.) sean desalojados y que no puedan llegar a afectar a la integridad de la balsa. En este sentido el diseño adecuado de aliviaderos, tanto desde el punto de vista del caudal de diseño, como en su concepción estructural propiamente dicha deben garantizar la seguridad de la balsa.

La capacidad de almacenamiento de estas obras es, en general, relativamente pequeña, permitiendo la ejecución de determinados elementos que habiliten un vaciado rápido y controlado, con el fin de disminuir los posibles daños ante una hipotética rotura.

El buen comportamiento de las balsas frente a la estabilidad de los taludes viene condicionado principalmente por la no saturación del talud, al estar el vaso totalmente impermeabilizado.

La estabilidad de taludes, la compactación, el diseño de elementos de drenaje, elementos de revestimiento e impermeabilización, etc., dependen en gran medida del tipo de material con el que se va a construir la balsa.

## 1.2 DESCRIPCIÓN

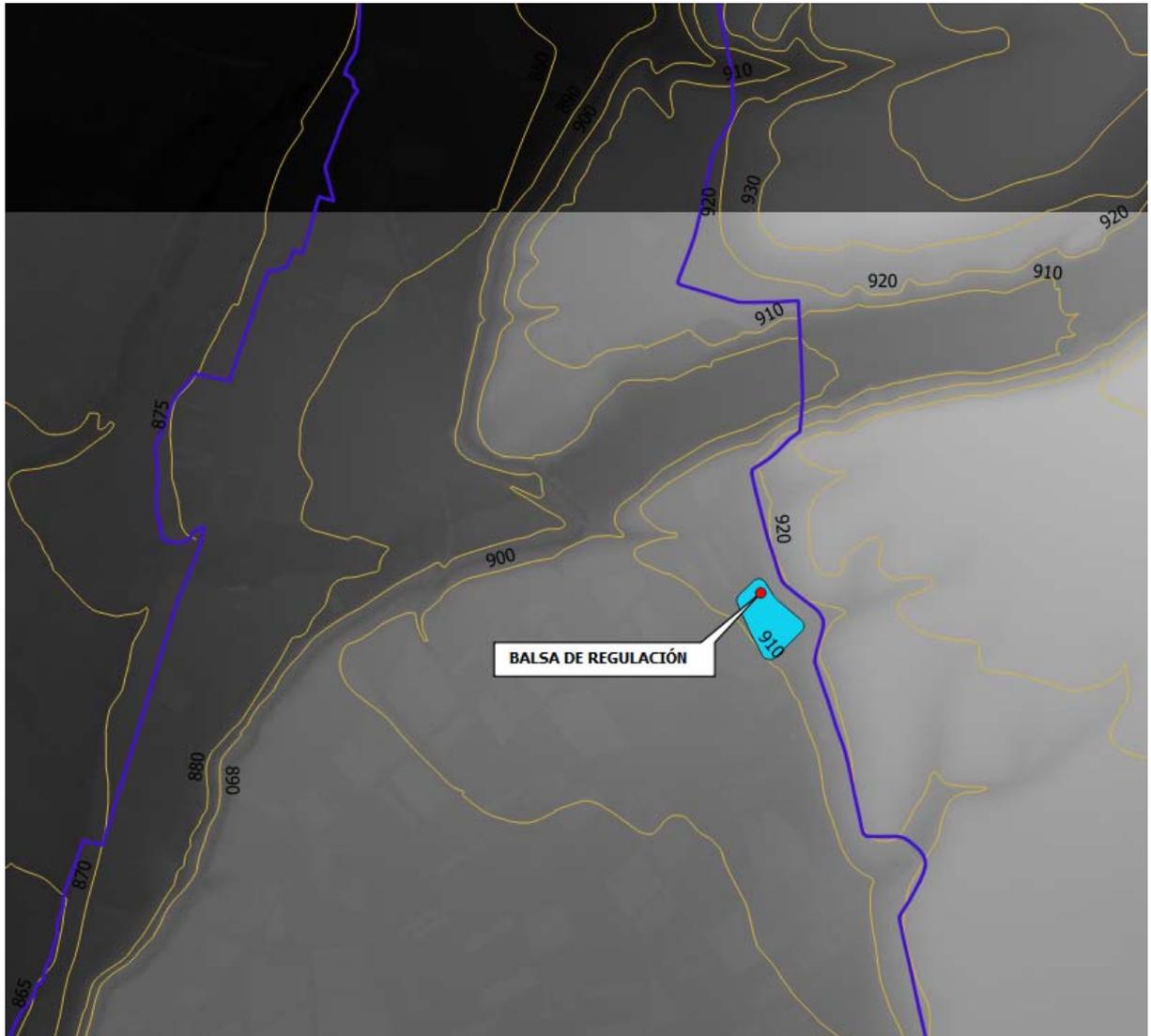
La balsa se encuentra situada en el término municipal de Cimanes del Tejar (León), en las parcelas que se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 1. Parcelas afectadas por la construcción de la balsa

Provincia	T.M.	Polígono	Parcela	Referencia Catastral	Superficie catastral (m <sup>2</sup> )
León	Cimanes del Tejar	207	186	24057A20700186	1.796,0
León	Cimanes del Tejar	207	187	24057A20700187	1.143,0
León	Cimanes del Tejar	207	188	24057A20700188	254,0
León	Cimanes del Tejar	207	189	24057A20700189	118,0
León	Cimanes del Tejar	207	190	24057A20700190	1.436,0
León	Cimanes del Tejar	207	191	24057A20700191	2.940,0
León	Cimanes del Tejar	207	192	24057A20700192	702,0
León	Cimanes del Tejar	207	193	24057A20700193	3.274,0
León	Cimanes del Tejar	207	194	24057A20700194	499,0
León	Cimanes del Tejar	207	195	24057A20700195	475,0
León	Cimanes del Tejar	207	196	24057A20700196	1.260,0
León	Cimanes del Tejar	207	197	24057A20700197	5.189,0
León	Cimanes del Tejar	207	198	24057A20700198	1.487,0
León	Cimanes del Tejar	207	199	24057A20700199	1.762,0
León	Cimanes del Tejar	207	200	24057A20700200	725,0
León	Cimanes del Tejar	207	201	24057A20700201	1.617,0
León	Cimanes del Tejar	207	202	24057A20700202	1.283,0

Provincia	T.M.	Polígono	Parcela	Referencia Catastral	Superficie catastral (m <sup>2</sup> )
León	Cimanes del Tejar	207	203	24057A20700203	741,0
León	Cimanes del Tejar	207	204	24057A20700204	1.017,0
León	Cimanes del Tejar	207	205	24057A20700205	1.600,0
León	Cimanes del Tejar	207	206	24057A20700206	280,0
León	Cimanes del Tejar	207	207	24057A20700207	603,0
León	Cimanes del Tejar	207	208	24057A20700208	3.035,0
León	Cimanes del Tejar	207	209	24057A20700209	4.027,0
León	Cimanes del Tejar	207	210	24057A20700210	2.192,0
León	Cimanes del Tejar	207	211	24057A20700211	5.187,0
León	Cimanes del Tejar	207	212	24057A20700212	5.720,0
León	Cimanes del Tejar	207	213	24057A20700213	2.263,0
León	Cimanes del Tejar	207	5300	24057A20705300	2.157,0
León	Cimanes del Tejar	207	5302	24057A20705302	1.084,0

El emplazamiento es una zona de pendiente suave, con puntos que van desde la cota 914 a 905 (ubicación arqueta de filtrado), en una longitud de máxima pendiente aproximada de 250 metros, pero que permite la compensación de tierras y en la cual la calidad del terreno es adecuada para resistir los esfuerzos introducidos con la construcción, según se recoge en el estudio geotécnico que forma parte de este proyecto.



La capacidad útil para la que se diseña es de **92.587,0 m<sup>3</sup>**. Se dispondrá un geotextil de **400 g/m<sup>2</sup>** de propileno, no tejido y de filamento continuo en la base, sobre el que apoyará la lámina impermeable de polietileno de alta densidad de **2 mm**.

La balsa presenta una forma que permite adaptarse al terreno y cumplir con los requisitos de diseño (punto de llenado, desagüe, compensación de volúmenes, etc.).

Los taludes, tal y como recoge el estudio geotécnico y las comprobaciones de estabilidad realizadas serán, para el talud interior serán **3H:1V**. Para los taludes exteriores, **2H:1V**.

Se contempla una rampa de acceso al fondo, tras el análisis exhaustivo de los pros y contras de este tipo de elemento, pero ante la incertidumbre existente sobre la sedimentación de lodos en el fondo de balsa que se producirá, se opta por disponer una rampa de acceso a fondo, con pendiente inferior al 10 %.

Las tuberías de salida de desagüe y salida a red de riego atraviesan el dique, estando embebidas en hormigón para garantizar su correcto funcionamiento y la durabilidad en el tiempo, con el correspondiente dren de envuelta.

Se proyecta la construcción de una cuneta triangular perimetral al pie de talud, en todo el perímetro de la balsa, así como en la zona de ubicación de la caseta/arqueta de valvulería.

La valvulería necesaria son cuatro, dos para la salida a riego y dos para el desagüe de la balsa en caso de emergencia, y para hacer las funciones de válvula de sobrevelocidad y dotar al sistema de seguridad, se automatiza la válvula de diámetro 1.300 mm para dichas funciones.

Se construye un by-pass, que une el desagüe de emergencia, con el desagüe de la estación de bombeo que vierte en el desagüe de concentración parcelaria proyectado.

El acceso a la balsa se impedirá físicamente mediante la colocación de una valla, que evitará la introducción de personas o animales incontrolados. Además, se instalarán cuerdas y flotadores, como medida de seguridad adicional.

## 1.3 MATERIALES EMPLEADOS

### 1.3.1 GENERALIDADES DATOS GEOTÉCNICOS

Con el estudio geotécnico se ha determinado:

- Espesores de los estratos, con especial atención al espesor del suelo vegetal. Se identificaron los terrenos presentes en el área afectada para analizar su comportamiento, su aptitud para ser empleados como material de construcción y la eventual eliminación de alguno si no cumple los parámetros
- Excavabilidad de los materiales
- Posición del nivel freático

Las propiedades geotécnicas de los suelos a utilizar son:

- Material del dique: peso específico, cohesión efectiva y ángulo de rozamiento efectivo con la humedad del Proctor elegido y saturados
- Cimiento: cohesión efectiva y ángulo de rozamiento efectivo
- Curvas granulométricas completas, tanto por arriba como por debajo del tamiz nº 200
- Límites de Atterberg
- Resistencia a compresión simple
- Dispersividad de las arcillas
- Peso específico de las partículas
- Contenidos en sulfatos
- Contenidos en materia orgánica

Aunque es evidente que la información aportada por los estudios geotécnicos es esencial para el correcto proyecto y ejecución de este tipo de obras, existen una serie de consideraciones importantes que es preciso destacar:

- La ejecución de este tipo de obras, en la que la composición de los suelos no es uniforme a lo largo de toda la obra y en donde es difícil proceder a la selección implica que la Dirección de los trabajos sean llevados a cabo por personal con la suficiente formación y experiencia para garantizar la correcta ejecución de las mismas, con un seguimiento minucioso de la evolución de la construcción desde la fase previa al inicio de los trabajos hasta la puesta en marcha y explotación de la misma.

### 1.3.2 MATERIALES EMPLEADOS. DESCRIPCIÓN PARTICULAR

Los materiales empleados, tal y como recoge el estudio geotécnico son los siguientes:

SÍNTESIS DE TALUDES Y NIVELES DE APOYO DE TERRAPLÉN Y CIMENTACIONES DE ESTRUCTURAS RECOMENDADOS PARA LA EJECUCIÓN DE LA Balsa DE RIEGON								
Nivel	Materiales	Parámetros geotécnicos de cálculo			Nivel freático	Tipología y taludes recomendados		Niveles de apoyo de terraplén y cimentación de estructuras recomendados (ver Apartado 4.6.)
		Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Cohesión (t/m <sup>2</sup> )	Ángulo de rozamiento interno (°)		Talud en Desmote	Talud en terraplén	
--	Relleno estructural	2,20	1,00	34	Entre las cotas 904,33 y 909,78 m	--	3H:2V (34°)	--
Nivel II	Coluvión	2,20	1,00	34		Nivel II (Coluvión)		
Nivel IV	Gravas y bolos	2,20	1,00	36		3H:2V (34°)	--	Nivel IV (Gravas y bolos)
Nivel V	Arcillas	2,10	2,55	25		Nivel V (Arcillas)		

Imagen 1. Síntesis de taludes recogida en el Estudio Geotécnico LEV-21225.

#### Nivel I: Tierra vegetal y rellenos

Superficialmente, en casi todas las prospecciones aparece un nivel de tierra vegetal con una potencia reconocida que varía entre 0,20 y 1,00 metros, siendo el **valor medio de 0,49 m** (desviación estándar 0,19).

Así mismo, también se han reconocido puntualmente rellenos de origen antrópico con una potencia reconocida en las prospecciones en las parcelas donde se ubicará la balsa con una potencia que varía entre 0,20 y 1,0 metros, siendo el valor medio de 0,47 m (desviación estándar 0,21). Teniendo en cuenta la naturaleza de estos materiales y el carácter puntual de las prospecciones, no se puede descartar la existencia de variaciones de potencia en algún otro punto.

#### Nivel II: Depósitos coluviales: Gravas, Arenas con gravas y Arcillas

Se reconoce bajo el Nivel I, a partir de 0,50 - 1,20 m y hasta 0,60 - 3,50 m, con una potencia de 0,60 a 2,90 (cotas 905,05 a 911,50 m).

Las características de los materiales granulares de este nivel se muestran a continuación.

<b>NIVEL II. Depósitos coluviales: Arenas con gravas (1 muestra)</b>									
<i>H (%)</i>	<i>Límites de Atterberg</i>			<i>Granulometría</i>				<i>Sulfatos (%)</i>	<i>Acidez B-G (ml/kg)</i>
	<i>L.L.</i>	<i>L.P.</i>	<i>I.P.</i>	<i>Bolos (%)</i>	<i>Gravas (%)</i>	<i>Arenas (%)</i>	<i>Finos (%)</i>		
5,3	34,8	19,7	15,2	0,0	46,9	20,0	33,1	0	22

**Plasticidad:** baja

**Clasificación de Casagrande (S.U.C.S.):** SC

**Clasificación de AASHTO:** A-2-6 (1)

Imagen 2a. Síntesis de Límites de Atterberg y otros parámetros en Nivel II. Arenas con gravas. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.

<b>NIVEL II. Depósitos coluviales: Gravas (1 muestra)</b>									
<i>H (%)</i>	<i>Límites de Atterberg</i>			<i>Granulometría</i>				<i>Sulfatos (%)</i>	<i>Acidez B-G (ml/kg)</i>
	<i>L.L.</i>	<i>L.P.</i>	<i>I.P.</i>	<i>Bolos (%)</i>	<i>Gravas (%)</i>	<i>Arenas (%)</i>	<i>Finos (%)</i>		
5,4	31,1	19,1	12,1	0,0	48,8	24,4	26,8	0	48

**Plasticidad:** baja

**Clasificación de Casagrande (S.U.C.S.):** SC

**Clasificación de AASHTO:** A-2-6 (0)

Imagen 2b. Síntesis de Límites de Atterberg y otros parámetros en Nivel II. Gravas. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.

Se asumen los siguientes valores característicos de los parámetros geotécnicos de cálculo siguientes:

<i>Parámetros geotécnicos de cálculo</i>	<i>Nivel II: Depósitos coluviales: Gravas, Arenas con gravas y Arcillas</i>
Densidad aparente ( $\gamma$ )	$\cong 2,20 \text{ t/m}^3$
Cohesión ( $c'$ )	$\cong 1,00 \text{ t/m}^2$
Ángulo de rozamiento interno ( $\phi'$ )	$\cong 34^\circ$
Módulo de deformación (E)	$\cong 3.850 \text{ t/m}^2$
Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	$\cong 0,30$
Coefficiente de permeabilidad (k)	$> 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

Imagen 3. Valores de los parámetros geotécnicos de cálculo. Nivel II. Gravas, arenas con gravas y arcillas. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.

En conjunto, este Nivel II puede calificarse como un terreno de compacidad/consistencia media/muy firme y adecuado, desde el punto de vista geotécnico, por su naturaleza y capacidad portante, como nivel de apoyo de cimentaciones y rellenos.

**Nivel IV: Depósitos aluviales de terrazas medias: gravas y bolos y arenas con gravas**

Se reconoce bajo los Niveles I y II en toda la zona por encima del Canal de Villadangos. En las parcelas donde se ubicará la balsa de riego aparece a partir de 0,20-1,20 m (cotas 905,05 a 911,53 m, cota media 908,95 m) y hasta 3,00 -11,30 m profundidad (cotas 896,02 a 910,10 m).

Las características medias de los materiales granulares se muestran a continuación.

<b>NIVEL IV: Depósitos aluviales de Terrazas Medias: Gravas y bolos (6 muestras)</b>										
	H (%)	Límites de Atterberg			Granulometría				Sulfatos (%)	Acidez B-G (ml/kg)
		L.L.	L.P.	I.P.	Bolos (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)		
Máximo	36,0	31,3	19,8	11,5	17,7	65,8	35,5	31,5	0,0	15,0
Mínimo	4,7	--	--	No ptco	0,0	25,0	17,7	10,3	0,0	10,0
<b>Media</b>	<b>16,8</b>	<b>27,4</b>	<b>17,1</b>	<b>10,3</b>	<b>8,6</b>	<b>46,5</b>	<b>27,5</b>	<b>17,4</b>	<b>0,0</b>	<b>12,5</b>
Desviación	14,8	3,7	2,5	1,2	6,5	15,5	7,4	8,2	--	--

**Plasticidad:** no plástico y baja

**Clasificación de Casagrande (S.U.C.S.):** GC-GP-GC, GM, SC y SM

**Clasificación de AASHTO:** A-1-b (0), A-2-4 (0) y A-2-6 (0)

*Imagen 4a. Síntesis de Límites de Atterberg y otros parámetros en Nivel IV. Gravas y bolos. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.*

<b>NIVEL IV: Depósitos aluviales de Terrazas Medias: Arenas con gravas (5 muestras)</b>										
	H (%)	Límites de Atterberg			Granulometría				Sulfatos (%)	Acidez B-G (ml/kg)
		L.L.	L.P.	I.P.	Bolos (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)		
Máximo	36,0	31,3	19,8	11,5	17,7	65,8	35,5	31,5	0,0	15,0
Mínimo	4,7	--	--	No ptco	0,0	25,0	17,7	10,3	0,0	10,0
<b>Media</b>	<b>16,8</b>	<b>27,4</b>	<b>17,1</b>	<b>10,3</b>	<b>8,6</b>	<b>46,5</b>	<b>27,5</b>	<b>17,4</b>	<b>0,0</b>	<b>12,5</b>
Desviación	14,8	3,7	2,5	1,2	6,5	15,5	7,4	8,2	--	--

**Plasticidad:** no plástico y baja

**Clasificación de Casagrande (S.U.C.S.):** SC y SM

**Clasificación de AASHTO:** A-2-6 (1), A-4 (0) y A-6 (2)

Imagen 4b. Síntesis de Límites de Atterber y otros parámetros en Nivel IV. Gravas y bolos. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.

Se asumen los siguientes valores característicos de los parámetros geotécnicos de cálculo siguientes:

<b>Parámetros geotécnicos de cálculo</b>	<b>NIVEL IV: Depósitos aluviales de Terrazas Medias: Gravas y bolos</b>
Densidad aparente ( $\gamma$ )	$\cong 2,20 \text{ t/m}^3$
Cohesión ( $c'$ )	$\cong 1,00 \text{ t/m}^2$
Ángulo de rozamiento interno ( $\phi'$ )	$\cong 36^\circ$
Módulo de deformación (E)	$\cong 4.500 \text{ t/m}^2$
Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	$\cong 0,30$
Coefficiente de permeabilidad (k)	$> 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

Imagen 5. Valores de los parámetros geotécnicos de cálculo. Nivel IV. Gravas y bolos. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.

### **Nivel V. Sustrato mioceno: Arcillas limo-arenosas**

Se reconoce bajo cualquiera de los niveles anteriormente descritos y su potencia es superior al alcance de las prospecciones realizadas.

En la zona de ubicación de la balsa de riego se reconoce bajo el Nivel IV, a partir de 3,00 – 11,30 m de profundidad (cotas 896,02 a 910,10 m)

<i>Parámetros geotécnicos de cálculo</i>	<i>Nivel V. Sustrato mioceno: Arcillas limo-arenosas</i>
Densidad aparente ( $\gamma$ )	$\cong 2,10 \text{ t/m}^3$
Cohesión ( $c$ )	$\cong 10,00 \text{ t/m}^2$
Cohesión efectiva ( $c'$ )	$\cong 2,55 \text{ t/m}^2$
Ángulo de rozamiento interno ( $\phi'$ )	$\cong 25^\circ$
Módulo de deformación (E)	$\cong 3.000 \text{ t/m}^2$
Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	$\cong 0,30$
Coefficiente de permeabilidad (k)	$> 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$

Imagen 6. Valores de los parámetros geotécnicos de cálculo. Nivel V. Arcillas limo-arenosas. Fuente: Estudio Geotécnico LEV-21225.

## 1.4 MOVIMIENTOS DE TIERRA

Siguiendo las prácticas habituales de diseño de obras de tierra, y siempre que los materiales presentes en la zona lo permiten, como es este caso, se realiza de tal forma que los volúmenes de desmote y de terraplén sean similares, minimizando los sobrantes o los aportes.

Se apoya en el curvado del MDT generado a partir de los trabajos de campo realizados.

Considerando las secciones tipo diseñadas para la balsa, se define el MDT de la balsa para posteriormente solapar los dos modelos digitales: el terreno y la balsa.

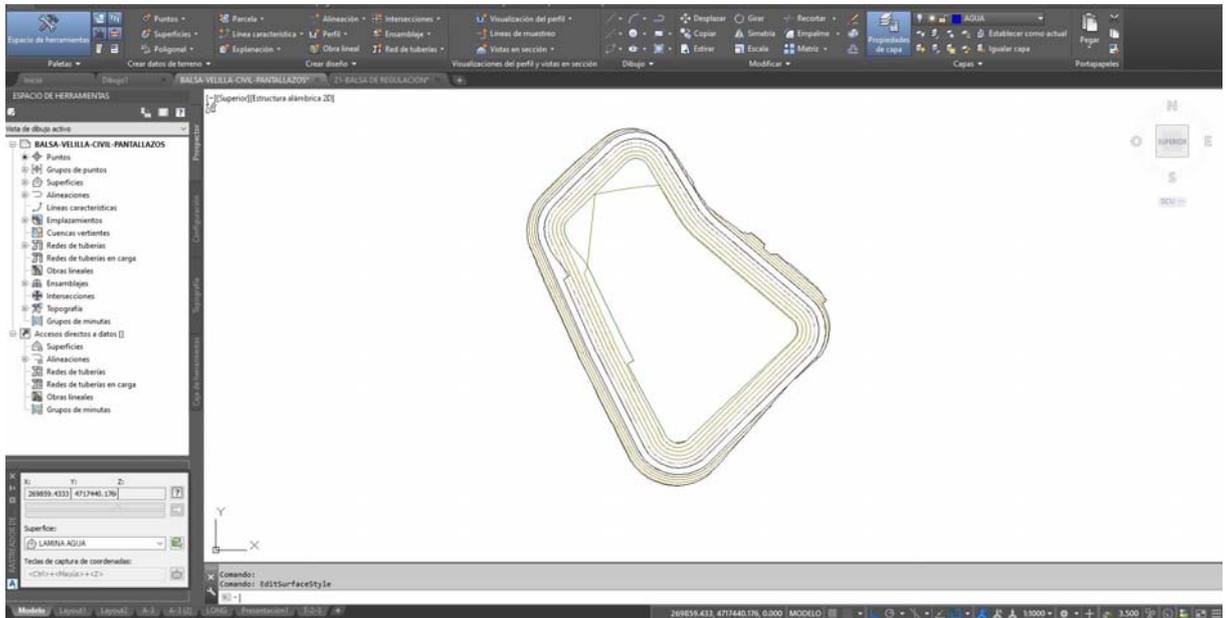


Imagen 7. Curvado de la balsa.

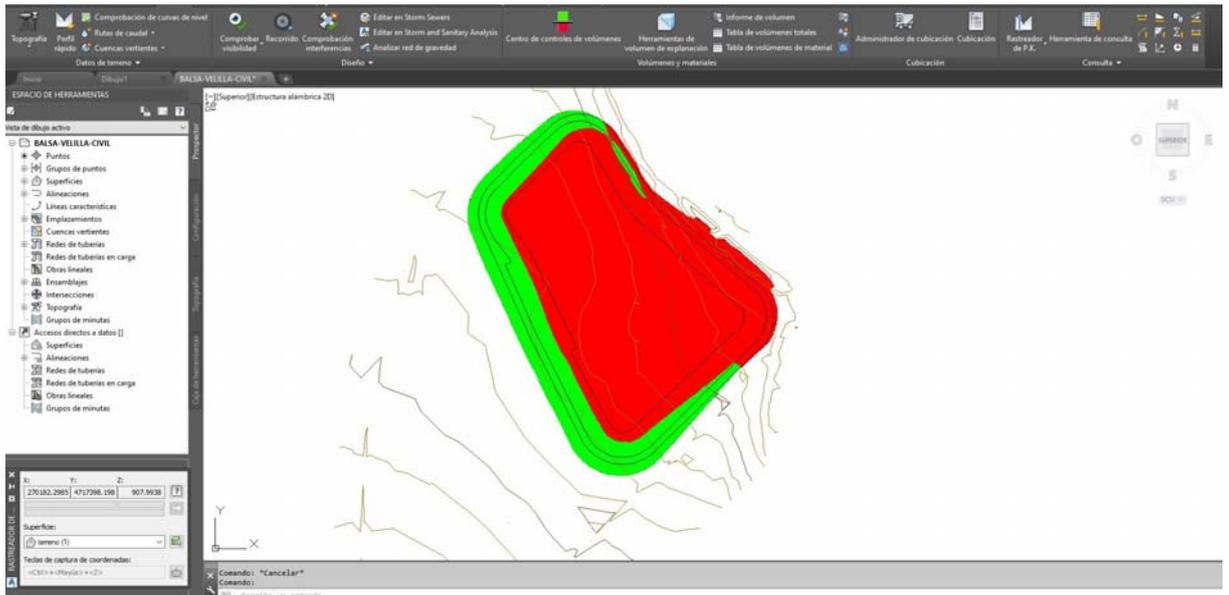


Imagen 8. Zonas de desmote (rojo) y zonas de terraplén (verde).

Nombre	C	Dista...	Fact...	Fa...	Estilo	Área 2D(metro...	Desmontar (a...	Rellenar (aj...	Red (ajustado)(me...	Gráfico neto
<input type="checkbox"/> VOLUMEN AGUA			1.000	1.000	Triá...	25139.41	0.00	92587.14	92587.14<Terraplén>	
<input checked="" type="checkbox"/> MOVIMIENTO TIERRAS			1.000	1.000	Triá...	34353.95	69860.89	18824.50	51036.38<Desmont...	

Imagen 9. Compensación de volúmenes.

## 1.5 SECCIONES TIPO

El detalle de la sección tipo única queda reflejada en la documentación gráfica del proyecto.



Imagen 10. Sección tipo. Única para toda la obra de tierra.

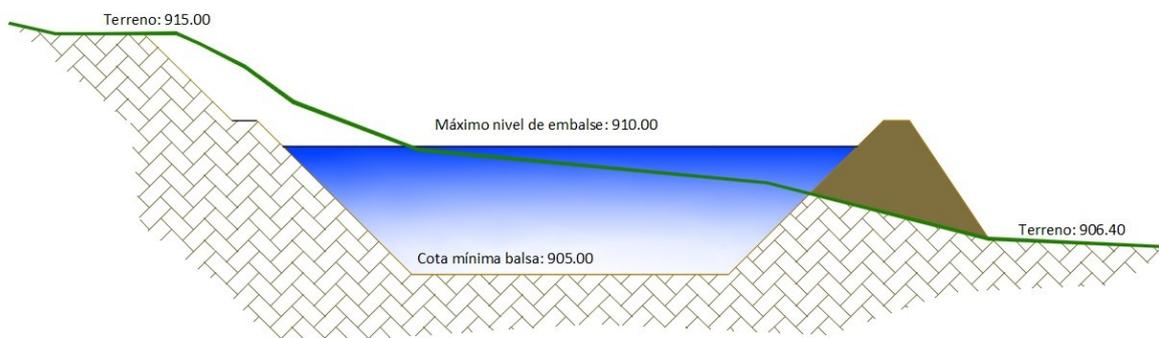


Imagen 11. Sección tipo. Única para toda la obra de tierra.

Los **planos nº 21 y 22** recogen toda la documentación gráfica correspondiente al diseño de la balsa de regulación y sus obras complementarias.

## 1.6 COMPROBACIÓN DE SECCIONES TIPO

### 1.6.1 DIQUES Y TALUDES. ESTABILIDAD DE TALUDES

Existen multitud de métodos para la estimación del coeficiente de seguridad al deslizamiento de los taludes. Entre los métodos de análisis de estabilidad más extendidos y contrastados destacan los métodos de Bishop y Janbu y método de Fellenius, como precedente de ambos y al ábaco de Taylor.

Las balsas presentan una serie de particularidades a considerar:

- Para balsas impermeabilizadas con geomembranas, se ha demostrado que ésta mantiene el dique seco, es decir, no saturado, observándose que, si se ha producido una fuga importante por pérdida de estanqueidad por la causa que fuera, el talud antes de alcanzar la saturación, se rompe por erosión interna. Por lo tanto, las hipótesis razonables de cálculo serán las de dique seco (no saturado), tanto para el talud exterior como para el interior, con y sin sismo.
- En cuanto a la estabilidad al final de la construcción, teniendo en cuenta la reducida altura de estos diques, difícilmente se alcanzarán presiones intersticiales importantes.
- Para gran parte de las balsas impermeabilizadas con geomembranas, los taludes obtenidos en la propia construcción de la balsa, y para la fijación del material de apoyo del conjunto geotextil-geomembrana, han sido elegidos más por criterios constructivos que por criterios estructurales.
- Para los taludes interiores en desmonte en el interior del vaso, las propiedades geotécnicas serán en general mejores que las obtenidas en la formación artificial del terraplén, por lo que las consideraciones efectuadas para el talud interior del terraplén se pueden generalizar a la zona de desmonte.

#### **Criterios recomendables para balsas de tierra.**

Se consideran dos tipos de acciones:

- Situaciones Normales: corresponden al peso propio, al empuje hidrostático y las presiones intersticiales cuando existan, con el embalse vacío y con el embalse en el límite del Nivel Máximo de Embalse (N.M.E.)

- **Situaciones accidentales:** se adiciona el sismo a las situaciones normales.

Los coeficientes de seguridad frente a la estabilidad a adoptar serán los reflejados en la tabla adjunta:

Tabla 2. Coeficiente de seguridad estabilidad taludes

<i>Tipo de situación</i>	<i>Coefficiente de seguridad</i>
Normal	1,4
Accidental	1,3

La no distinción entre las categorías de clasificación garantiza el nivel de seguridad requerido, aunque se produzcan cambios en la clasificación, durante la vida útil de la balsa, por lo tanto, las hipótesis de carga a comprobar serán recogidas en la tabla siguiente.

Tabla 3. Hipótesis de carga a considerar para la estabilidad taludes

<b>Balsas impermeabilizadas con geomembranas</b>	
Balsa vacía	Talud exterior con y sin sismo
Balsa llena	Talud exterior con y sin sismo

Otro aspecto a tener es la estabilidad de taludes ejecutados con terraplenes y escolleras. Cuando exista la posibilidad de que el cimiento se encuentre saturado como consecuencia de un ascenso del nivel freático o un encharcamiento debido a la acumulación de escorrentía superficial, deberá comprobarse el coeficiente de seguridad de acuerdo con las nuevas propiedades geotécnicas del suelo y el estado de presiones intersticiales correspondiente.

Tal y como se recoge en el Estudio Geotécnico, en su apartado 2.1.5. Nivel freático, en los sondeos S-2, S-4 y S-6 realizados, una vez finalizada la perforación, se ha procedido a la colocación de tubería piezométrica de PVC ranurado, con el fin de realizar un seguimiento y control del nivel freático. Para ello además de la instalación de la tubería se ha procedido a instalar arquetas metálicas de cierre, fijadas al terreno mediante mortero de cemento.

### 1.6.2 ESTABILIDAD TALUD PROYECTADO

Se exponen los datos obtenidos y validados para el proyecto, según el análisis realizado en el estudio geotécnico:

<i>Situación de cálculo</i>	<i>Sección</i>	<i>Factor de seguridad obtenido (Fs)</i>	<i>Factor de seguridad mínimo (Fs<sub>min</sub>)</i>
Final de construcción con la balsa vacía.	Terraplén y desmonte en Nivel IV	2,035 ≈ 2,03	1,30
	Desmonte en Niveles II y IV	2,158 ≈ 2,16	
	Desmonte en Niveles IV y V	1,950 ≈ 1,95	
Balsa llena con elemento de impermeabilización externo.	Terraplén y desmonte en Nivel IV	2,311 ≈ 2,31	1,50
Rotura del elemento de impermeabilización externo.	Terraplén y desmonte en Nivel IV	1,914 ≈ 1,91	1,30
Desembalse rápido después de la rotura del elemento de impermeabilización externo.	Terraplén y desmonte en Nivel IV	1,335 ≈ 1,33	1,10
	Desmonte en Niveles II y IV	1,517 ≈ 1,52	
	Desmonte en Niveles IV y V	1,816 ≈ 1,81	

Imagen 12. Resumen de análisis de estabilidad. Fuente: Estudio Geotécnico

El proyecto recoge las cuatro hipótesis básicas para el análisis de estabilidad. Como recoge el Estudio geotécnico, en su **apartado 4.5. Análisis de la estabilidad de la balsa de riego**, se puede concluir que con las secciones analizadas con pendientes 3H:2V (34 °) o con pendientes menores, la estructura permanecerá estable a lo largo de su vida útil.

El presupuesto del proyecto, en su capítulo CR CAV FS3 Balsa de Regulación / Subcapítulo Elementos de Auscultación, recoge una partida presupuestaria para, previo al comienzo de las obras y bajo la supervisión de la Dirección de la Obra, realizar la comprobación, por técnico especialista en geotecnia, de estabilidad del talud contemplando la situación a corto plazo, a partir del parámetro de cohesión sin drenado estimado a partir de los valores disponibles de compresión, en suelo sin drenaje, que figuran en el estudio geotécnico de este proyecto (Anejo nº 4 Estudio Geotécnico).

## 1.7 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD TOTAL Y ÚTIL DE LA Balsa

A continuación, se exponen dos tablas que recogen el volumen total y el volumen útil de la balsa, en función de las curvas de nivel:

Tabla 4. Volumen acumulado (m<sup>3</sup>)

Cota	Altura lámina (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen acumulado (m <sup>3</sup> )
910,00	5,00	25.187	92.587,0
909,50	4,50	24.243	83.585,75
909,00	4,00	23.313	71.696,75
908,50	3,50	22.397	60.269,25
908,00	3,00	21.495	49.296,25
907,50	2,50	20.607	38.770,75
907,00	2,00	19.734	28.685,50
906,50	1,50	18.875	19.033,25
906,00	1,00	18.029	9.807,25

Tabla 5. Volumen no útil (m<sup>3</sup>)

Volumen No Aprovechable salvo por desagüe (m <sup>3</sup> )	0,00
Cota salida de agua fondo (m)	905/906,17
Cota NME (Nivel máximo normal) (m)	910

Objetivo: garantizar la autonomía total del sistema fuera de campaña oficial de riego, apoyándose en la reserva de agua almacenada en la balsa (además, la balsa nunca debe de estar vacía, según las buenas prácticas de explotación de este tipo de infraestructuras hidráulicas). Según se recoge en el punto 7.2.3. Funcionamiento de los canales, en el Anejo 6. Asignación y Reserva de Recursos del Plan Hidrológico de la parte española de la D.H. Duero (2015-2021): *“Los canales de las zonas regables, y por ende las asociadas, tienen un funcionamiento ordinario de abril a septiembre”*.

- **Total de necesidad de capacidad de agua en la balsa para riegos de nascencia y recolección de remolacha: 92.587,0 m<sup>3</sup>**

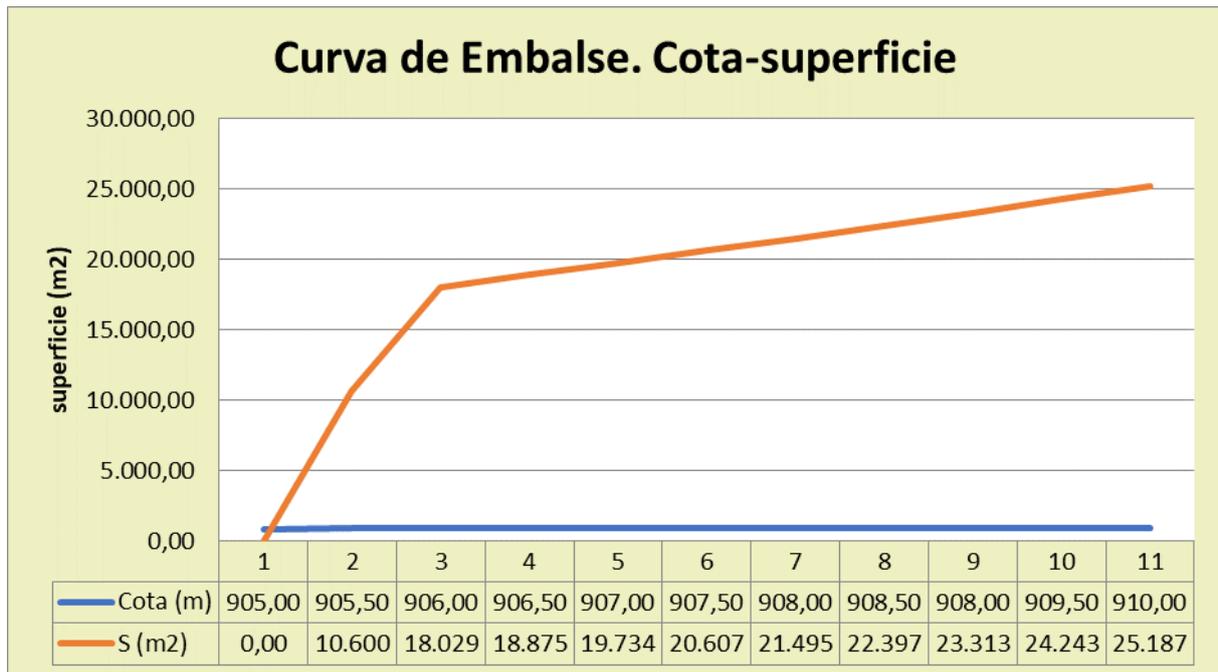


Gráfico 1. Curva de embalse. Cota (m) – Superficie lámina de agua (m<sup>2</sup>)

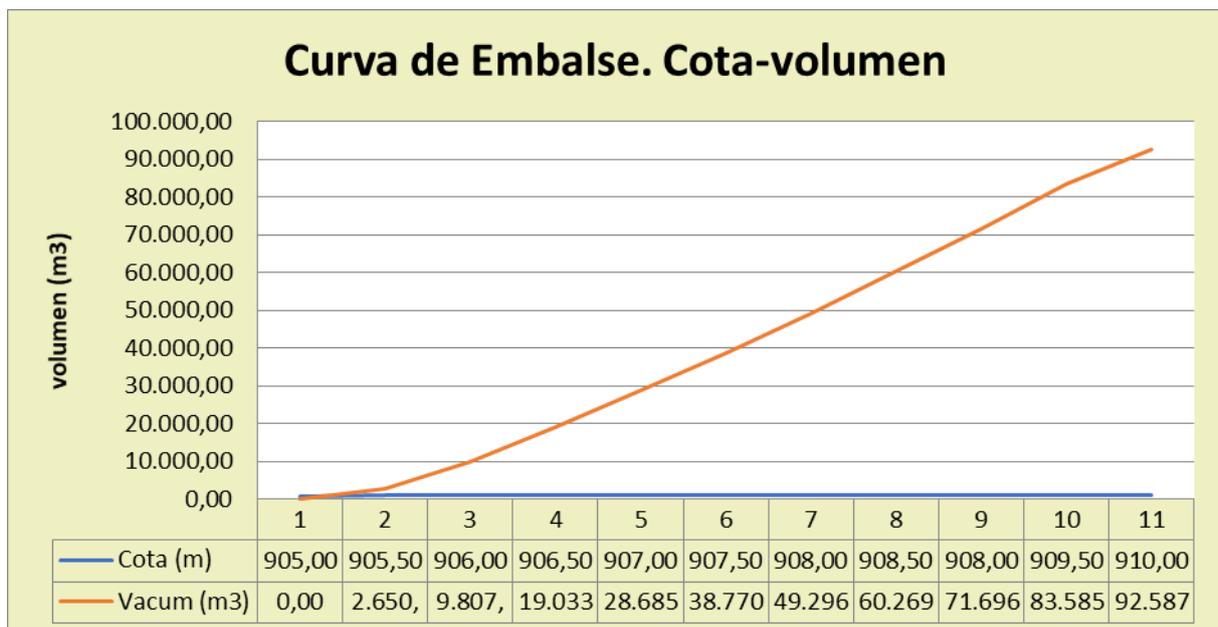


Gráfico 2. Curva de embalse. Cota (m) – Volumen de agua (m<sup>3</sup>)

## 1.8 FICHA TÉCNICA DE LA Balsa

A continuación, se adjunta la tabla que recoge los datos de la balsa de regulación proyectada:

Tabla 6. Ficha técnica de la balsa proyectada

Nº	Concepto	
1	Superficie total ocupada por la balsa (m <sup>2</sup> )	34.354,0
2	Cota de coronación (m.s.n.m.)	911,0
3	Cota del alivio (m.s.n.m.)	910,0
4	Anchura de coronación (m)	5,0
5	Cota de fondo (m.s.n.m.)	905,0/906,17 (0,5 %)
6	Cota lámina de agua (N.M.O.) (m.s.n.m.)	910,0
7	Altura de agua (N.M.O.) (m)	4,76
8	Volumen total de agua almacenado (m <sup>3</sup> )	92.587,0
9	Volumen de agua útil (N.M.O.) (m <sup>3</sup> )	92.587,0
10	Volumen de agua no útil (m <sup>3</sup> )	0,0
11	Resguardo sobre N.M.O. (m)	1,0
12	Superficie de fondo de balsa (m <sup>2</sup> )	17.489,0
13	Superficie taludes interiores (m <sup>2</sup> )	11.520,0
14	Perímetro fondo de balsa (m)	553,0
15	Superficie lámina de agua (N.M.O.) (m <sup>2</sup> )	25.026,0
16	Superficie Camino coronación(m <sup>2</sup> )	3.397,0
17	Perímetro arista de coronación (m)	653,0
18	Talud interior desmonte (H:V)	3:1
19	Talud interior terraplén (H:V)	3:1
20	Talud exterior (H:V)	2:1
21	Volumen desmonte total(m <sup>3</sup> )	69.861,0
22	Volumen terraplén (m <sup>3</sup> )	18.824,0
24	Volumen tierra natural necesario para formación terraplén	20.706,40
25	Volumen tierra sobrante (m <sup>3</sup> )	28.542,20
26	Volumen tierra vegetal (m <sup>3</sup> )	20.612,40
27	Espesor supuesto tierra vegetal (m), según E. Geotécnico	0,6
28	Coeficiente de paso de banco a vertedero	1,2
29	Coeficiente de paso de banco a relleno 95% PM	1,1
30	Cota Fondo Canal en punto obra toma (m.s.n.m.)	911,63
31	Cota Nivel Máximo Canal en punto obra toma (m.s.n.m.)	913,0
32	Superficie total a impermeabilizar: Fondo / Taludes (m <sup>2</sup> )	29.009,0
33	Longitud coronación con murete rompeolas (m)	653,0
34	Rampa de acceso a fondo de balsa	SI

## 2 CÁLCULOS HIDRÁULICOS

### 2.1 ENTRADA DE AGUA

Se proyecta una entrada de agua a la balsa por coronación, mediante un vertido directo sobre la lámina de impermeabilización mediante arqueta de laminación con vertedero enrasado con la cota de fondo de canal en el punto de derivación (911,60 m.s.n.m).

Se ejecutará una arqueta de planta rectangular en hormigón armado, con uno de sus paramentos alineados con el talud de la balsa en la cota de intersección, que además le permita funcionar como vertedero (se describir en el apartado correspondiente).

Se ubicará en terreno natural y en zona de desmonte, y fuera de la zona de afección de las esquinas, donde se concentran gran parte de las arrugas inherentes al PEAD.

Se dispondrá de una arqueta de rotura que garantice la disipación de energía antes de que el agua se entregue a la balsa, con un sistema de regulación que permita controlar (compuertas), si es necesario, el llenado de la balsa.

Para el dimensionamiento de esta obra de entrada se considerará el caudal máximo que puede circular por el canal, en el punto derivado a la balsa.

El calado de vertido directo sobre la lámina impermeabilizante no debe superar los 15 centímetros.

#### 2.1.1 CONSIDERACIONES SOBRE VERTIDO DIRECTO SOBRE LÁMINA

En este sistema, como su nombre indica, el agua se vierte sobre el propio talud interior y discurre sobre la lámina hasta llegar al fondo, en caso de que la balsa esté vacía, o hasta encontrar la superficie de lámina de agua interior.

Dentro del vertido directo, se pueden distinguir dos tipos en función de cómo se realice dicho vertido:

- Vertido mediante arqueta de laminación con vertedero de labio fijo enrasado con la coronación interior de la balsa.

Presenta las siguientes características:

- Buen comportamiento hidráulico
- Ausencia total de uniones de geomembrana a la fábrica en la obra sumergida
- Sencillez de ejecución
- Coste

- Vertido mediante tubería con salida en “pico de flauta” enrasada con el talud interior y próximo a la altura de coronación.

En este caso, como ya se ha expuesto se proyecta vertido mediante arqueta de laminación con vertedero de labio fijo se resuelve con una arqueta de planta rectangular, en hormigón armado con una de sus paramentos alineado con la coronación, y rebajado en su altura para funcionar como vertedero. Las secciones presentan perfiles rectos y sin acuerdos apreciables con el plano del talud.

Se dispone de una arqueta de rotura, que garantice la disipación de energía de la corriente de agua que llega a la balsa. En los casos de vertido mediante arqueta de laminación, junta al talud interior, dicha arqueta ya realiza esta función. Deberá disponerse de sistemas de regulación (mecánicos, hidráulicos, electrónicos).

El vertido directo sobre geomembrana, mediante arqueta de laminación, funciona correctamente para cualquier caudal siempre que la lámina vertiente tenga un calado inferior a 10 cm.

#### **Caudal evacuado sobre un vertedero ajustado a la lámina vertiente**

El caudal vertido sobre un vertedero de este tipo es:

$$Q = C \cdot L \cdot H_e^{2/3}$$

donde

Q = caudal de entrada (m<sup>3</sup>/s)

C = coeficiente de desagüe variable

L = longitud efectiva de la coronación (m)

H<sub>e</sub> = altura de la lámina vertiente sobre la coronación, más la altura debida a la velocidad de aproximación, ha

$$H_e = h_0 + h_a$$

Siendo h<sub>0</sub> altura de energía cinética (m)

$$H_a = v_a^2 / 2 \cdot g \text{ siendo } v_a \text{ velocidad de llegada del agua al aliviadero (m/s)}$$

El coeficiente de desagüe C es función de muchas variables, tales como el calado de aproximación, la relación entre la forma real de la coronación y la forma ideal, la inclinación del paramento aguas arriba, la interferencia del zampeado de aguas abajo y el calado de aguas abajo.

En la altura sobre la coronación,  $H_e$ , no se incluyen ni las pérdidas por rozamiento en el canal de aproximación o por curvatura del canal aguas arriba, ni las pérdidas en la sección de entrada o las debidas a la transición.



(A) ELEMENTOS DE PERFIL DE UN VERTEDERO ESTRICTO

Imagen 13. Elementos de perfil de un vertedero estricto Figura 9.21 Diseño de Pequeñas Presas – Bureau of Reclamation)

En el caso que nos ocupa se considera un valor  $C = 1,70$ , un calado  $y_c = 0,10$  m y  $h = 0,15$  m ( $h = (3/2)y_c$ ).

Para estos valores, y se dimensiona un labio **de 15 metros de longitud (plano nº 4.2 “Obra de toma del canal. Detalles constructivos”).**

En condiciones normales de vertederos pequeños y cuando la altura  $P$  sea igual o mayor que la mitad de la altura de carga, este perfil es suficientemente aproximado para evitar presiones de coronación muy reducidas y que varía sustancialmente la eficacia hidráulica del vertedero.

## 2.2 SALIDA DE AGUA A RIEGO

### 2.2.1 SALIDA A RIEGO

Se proyecta una salida situada en la parte inferior del nivel de la balsa (en el fondo de la misma).

Este sistema se corresponde con una tubería que discurre a menor cota que el plano del fondo de la balsa. El final de la tubería entronca con uno de los paramentos de una arqueta de hormigón armado, cuya solera está a menor cota que la del fondo de la balsa y la coronación de los paramentos puede estar a la misma cota que el fondo.

Para este caso el anclaje de la lámina se efectúa con un doble anclaje en la coronación de la arqueta.

La **cota de cimentación** de estas obras de fábrica se proyectarán de manera que garantice la competencia suficiente para absorber las cargas que le sean transmitidas.

La unión de la geomembrana al hormigón presenta la posibilidad de un corte de la geomembrana, consecuencia de los posibles asentamientos diferenciales. En este sentido, unas buenas prácticas constructivas y diseño que se siguen son:

- Realizar las uniones de la geomembrana al hormigón por el sistema de doble lámina (especialmente con la lámina de PEAD).
- Evitar los paramentos verticales, perpendiculares a la geomembrana, biselar o redondear los bordes de los paramentos sobre los que pasa la geomembrana y taluzar los paramentos en sentido decreciente hacia la coronación para conseguir una transición “suave” desde el hormigón al terreno natural. La disposición de varias capas de geotextiles en esta zona también protege a la geomembrana del posible corte.

Esta zona es una de las más delicadas de la balsa, ya que las posibles filtraciones que se puedan producir, pueden progresar fácilmente junto a las estructuras que atraviesan el dique. Para evitar que esto no ocurra, en estas obras sumergidas, se debe de disponer de un dren alrededor de la obra sumergida que recoja estas filtraciones y las transporte hasta el exterior de la balsa. Este dren de la obra sumergida se debe unir al dren de envuelta de la estructura que atraviesa el dique, dándole continuidad hidráulica. Además, debe ser independiente del resto de drenajes de la balsa.

Los paramentos de hormigón armado en contacto con el agua dispondrán de la cuantía de acero necesaria para evitar la fisuración del hormigón, siendo recomendable una armadura de piel, que no sustituirá a la armadura requerida.

Como recoge D. Francisco Javier Sánchez Romero en diferente bibliografía sobre la materia, es aconsejable que los paramentos verticales en las obras sumergidas o enterradas en el dique que entren en contacto con el material granular, tengan un desplome con un talud 1H:3V – 1H:5V, para favorecer la compactación del material y evitar que el terreno se desprenda del hormigón al consolidar en el tiempo.

Se aconseja la disposición de rejillas o rejas de protección de la toma frente a cuerpos o elementos gruesos que puedan obturar la tubería y/o bloquear las válvulas.



Foto 2. Disposición de rejillas en toma de fondo para riego y desagüe de emergencia.

Se instalarán abocinamientos o transiciones suaves en las piezas de toma y desagüe, al inicio de la tubería de salida.

### 2.2.2 ESTRUCTURAS QUE ATRAVIESAN EL DIQUE

Ante las posibles soluciones a adoptar para atravesar el dique, se opta por la solución más adecuada considerando la entidad de la obra, la altura del terraplén y la seguridad de la obra. En este caso, se atravesará el dique con la siguiente solución: Tuberías macizadas mediante hormigonado “in situ” alrededor del tubo.

Este tipo de instalación consiste en la colocación de una tubería que queda completamente envuelta en hormigón, a modo de macizado y refuerzo de la propia tubería. En la mayoría de las ocasiones, la tubería que se emplea es de acero, formando un conducto continuo, unidos los diversos tramos mediante soldadura.

Esta disposición, si se ha ejecutado adecuadamente (espesor del tubo de acero de 8-10 mm y recubrimientos uniformes superiores a 30 cm alrededor del tubo y dimensionado correcto de la armadura, si lleva), y cimentadas sobre terrenos uniformes ha funcionado correctamente.

Se deben de impedir o minimizar los fenómenos debidos a la corrosión. La reparación de estos problemas en muchos casos se ha realizado con la colocación de otra tubería de menor diámetro en el interior de la tubería, lo que implica una disminución del diámetro interior, que puede originar problemas de explotación.

Una rotura por cualquier causa de la tubería originaría el colapso del dique, por el fenómeno de erosión interna.

En caso de ejecutarse, se debería cambiar la filosofía tradicional, y ejecutar paramentos laterales no verticales, hormigonados contra un cimiento competente, minimizando las vías preferentes de posibles fugas.

Se descarta la ejecución de una tubería alojada en el interior de otra tubería de protección porque las características de ésta no permitirían trabajos interiores, presentando la dificultad de ejecución del anclaje interior de la tubería. La falta de anclaje puede provocar problemas de vibraciones y ciertos movimientos de la tubería asociados a maniobras de apertura o cierre de válvulas.

El diámetro de la tubería de salida determinado en el cálculo es de **1.300 mm**, y permite satisfacer las necesidades del colector de aspiración de la estación de bombeo. Se ejecutará con material **acero helicosoldado, de espesor 10 mm**.

Dicha tubería atravesará, envuelta en hormigón y con su correspondiente dren envuelta (ver apartado drenes).

## 2.3 DESAGÜE DE EMERGENCIA

### 2.3.1 DIÁMETRO DEL DESAGÜE Y TIEMPO DE VACIADO

La función de desagüe de emergencia suele ser el factor principal que determina las dimensiones para las conducciones de entrada y salida, condicionando el diseño de las estructuras que atraviesan el dique.

Tiempos de vaciado cortos, proporcionan más seguridad ante los fallos detectados, al permitir respuestas muy rápidas en los descensos de niveles de agua en la balsa, manteniendo menos tiempo la situación comprometida.

Tiempos de vaciado mayores supondrán un menor coste económico, pero los tiempos de respuesta serán más largos, y la balsa se mantendrá más tiempo en situaciones comprometidas frente a posibles incidencias.

La conducción de salida, por su funcionamiento hidráulico es una conducción en carga, que puede alcanzar velocidades medias de circulación de agua muy altas (superiores a 7 m/s), en función de la lámina de agua, la diferencia de cotas entre la lámina de agua en cada momento y el punto de vertido, etc.

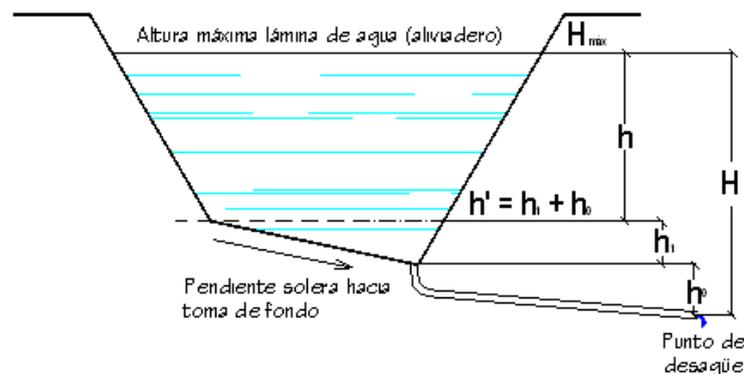


Imagen 14 . Esquema de desagüe de fondo de la balsa.

Este factor, junto con otras limitaciones derivadas de su funcionamiento, hacen que el principal material para su empleo en estas conducciones sea el acero, que conjuga la necesaria resistencia mecánica y la posibilidad de disponer de tubería continua, sin juntas, mediante la soldadura de los distintos tramos.

Asociado a altas velocidades, se pueden provocar vibraciones (esfuerzos en piezas especiales y válvulas), buscándose trazados rectilíneos y verificándose el anclaje de todas las piezas.

Para romper la carga es necesario disponer de sistemas de amortiguamiento y disipación de la energía en estos puntos finales. Se empleará arqueta de rotura de carga, fundamentada en la disipación de energía sobre el propio volumen de agua contenido en la arqueta.

Se siguen las recomendaciones tanto de tiempos máximos de vaciado como en los diámetros mínimos a disponer, en función de la capacidad de la balsa recogidos en el Apéndice C “Contribución al comportamiento de los desagües de emergencia” elaborados por D. Francisco Javier Sánchez Romero, fruto de sus trabajos de investigación.

Rango de volumen	Tiempo máximo de vaciado
$V < 250\,000\text{ m}^3$	48 horas (2 días)
$250\,000\text{ m}^3 \leq V < 1\,000\,000\text{ m}^3$	96 horas (4 días)
$1\,000\,000\text{ m}^3 \leq V < 3\,000\,000\text{ m}^3$	120 horas (5 días)

Imagen 15. Tiempos máximos de vaciado en función de la capacidad de la balsa.

Volumen (m <sup>3</sup> )	Diámetro mínimo (mm)
10 000	200
20 000	300
50 000	300
100 000	400
200 000	500
300 000	500
500 000	600
750 000	700
1 000 000	800
1 500 000	800
2 000 000	900
2 500 000	1 000

Imagen16. Datos de diámetros mínimos en función de la capacidad.

En este caso, se opta por instalar una conducción que cumpla con los requisitos de las dos tablas anteriores. El tiempo máximo de evacuación para la situación de balsa llena es de **36,52 horas (valor próximo a 1,5 días)**, que permite estar del lado de la seguridad ante una situación de emergencia.

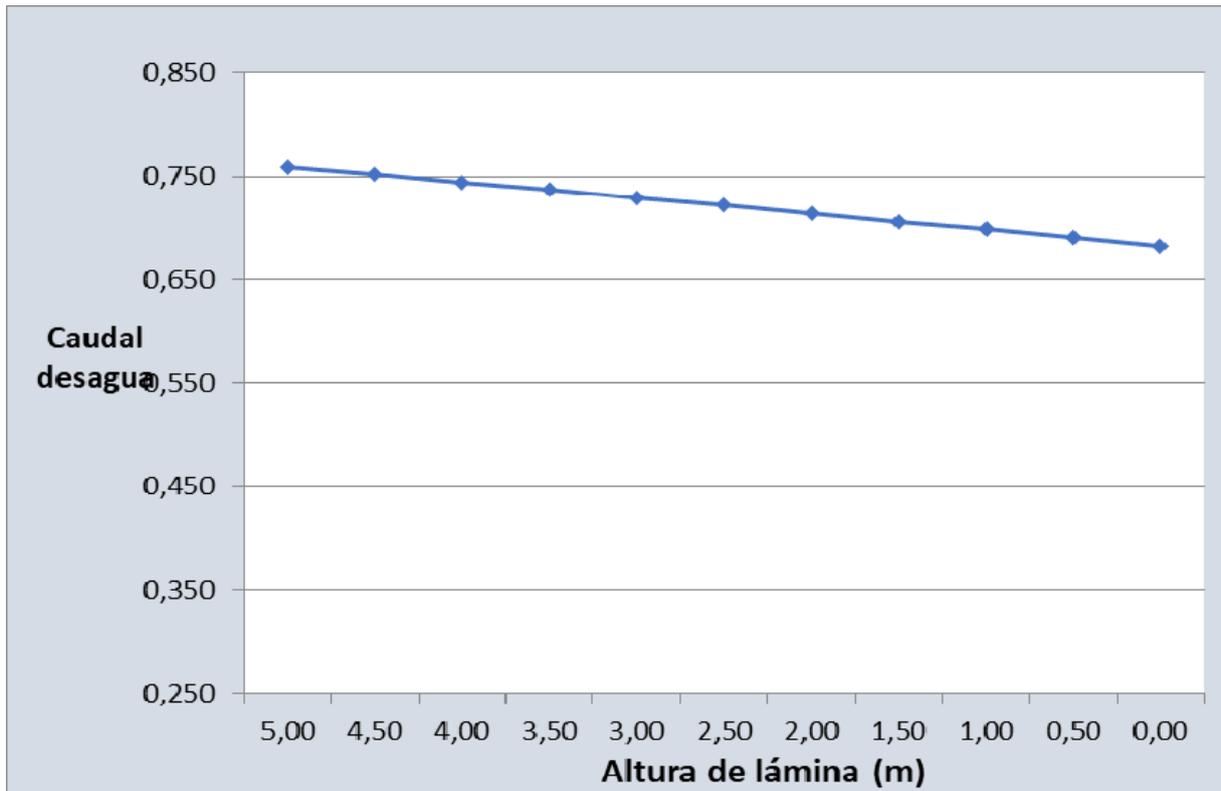


Gráfico 3. Curva de caudal en el punto de vertido (Altura de lámina de agua en balsa frente a Caudal en punto de vertido).

### Cálculo

De forma que el cálculo del diámetro necesario se resuelve mediante la aplicación del teorema de *Bernoulli*, entre dos puntos:

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{T_{1-2}}$$

Además, se tiene:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + h'; \text{ donde } h' \text{ es el nivel de agua en el depósito y } H = Z_1 - Z_2$$

$$H - h' = \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{T_{1-2}}$$

Según la ecuación de continuidad que:

$$v_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{4 \cdot Q_2}{\pi \cdot D_2^2}$$

Y que las pérdidas de carga totales se diferencian entre singulares y por rozamiento mediante las siguientes expresiones:

$$\Delta H_{T_{1-2}} = h_r + h_s$$

$$h_r = \frac{10,3 \cdot n^2}{D_2^{5,33}} \cdot L \cdot Q_2^2$$

$$h_s = K \cdot \frac{v_2^2}{2g}$$

De forma que:

$$H - h' = \frac{v_2^2}{2g} + \left( \frac{10,3 \cdot n^2}{D_2^{5,33}} \cdot L \cdot Q_2^2 + K \cdot \frac{v_2^2}{2g} \right) = + \frac{v_2^2}{2g} \cdot (1 + K) + \frac{10,3 \cdot n^2}{D_2^{5,33}} \cdot L \cdot Q_2^2$$

$$H - h' = \frac{16Q_2^2}{2g \cdot \pi \cdot D_2^4} \cdot (1 + K) + \frac{10,3 \cdot n^2}{D_2^{5,33}} \cdot L \cdot Q_2^2 = \left( \frac{16}{2g \cdot \pi^2 \cdot D_2^4} \cdot (1 + K) + \frac{10,3 \cdot n^2}{D_2^{5,33}} \cdot L \right) \cdot Q_2^2$$

$$H - h' = \left( \frac{0,0826 \cdot (1 + K)}{D_2^4} + \frac{10,3 \cdot n^2}{D_2^{5,33}} \cdot L \right) \cdot Q_2^2 = \left( \frac{0,0826 \cdot (1 + K) \cdot D_2^{1,33} + 10,3 \cdot n^2 \cdot L}{D_2^{5,33}} \right) \cdot Q_2^2$$

Que despejando el caudal y dejándolo en función del diámetro y de los otros parámetros, nos queda:

$$Q_2^2 = \frac{(H - h') \cdot D_2^{5,33}}{0,0826 \cdot (1 + K) \cdot D_2^{1,33} + 10,3 \cdot n^2 \cdot L}$$

siendo

Ha = (H - h')	Diferencia de cota entre la lámina de agua en cada punto de la balsa y la cota del desagüe en el punto de vertido
D	Diámetro de la tubería
n	Coficiente de Manning ( $n_{HPCC} = 0,016$ )
L	Longitud de la conducción de desagüe
K	Coficiente de pérdidas de carga

Los datos de partida y comprobación empleados son:

Tabla 7. Datos cálculo desagüe balsa

Cota desagüe (m.s.n.m.)	884,0
Diámetro tubería (m)	0,60
Longitud tubería (m)	1.319,62
k (coeficiente pérdidas)	1,35

Tabla 8. Resultados del análisis del desagüe

Cota	Altura desagüe (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Incremento de Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen acumulado (m <sup>3</sup> )	Q (Caudal desaguado m <sup>3</sup> /h)	Tiempo de vaciado segmento (segundos)	Tiempo vaciado (segundos)	Tiempo de vaciado (horas)	Velocidad (m/s)
910,00	5,00	26,00	25187	12357,5	95943,250	0,759	16276,973	131399,489	36,500
909,50	4,50	25,50	24243	11889	83585,750	0,752	15812,660	115122,516	31,978
909,00	4,00	25,00	23313	11427,5	71696,750	0,744	15350,090	99309,856	27,586
908,50	3,50	24,50	22397	10973	60269,250	0,737	14889,223	83959,766	23,322
908,00	3,00	24,00	21495	10525,5	49296,250	0,729	14430,016	69070,543	19,186
907,50	2,50	23,50	20607	10085,25	38770,750	0,722	13972,767	54640,527	15,178
907,00	2,00	23,00	19734	9652,25	28685,500	0,714	13517,437	40667,760	11,297
906,50	1,50	22,50	18875	9226	19033,250	0,706	13063,269	27150,323	7,542
906,00	1,00	22,00	18029	7157,25	9807,250	0,698	10248,600	14087,054	3,913
905,50	0,50	21,50	10600	2650	2650,000	0,690	3838,454	3838,454	1,066
905,00	0,00	21,00	0	0	0	0,682	0	0	0,000

El tiempo máximo de evacuación para la situación de balsa llena es de **36,52 horas (valor próximo a 1,5 días)**, que permite estar del lado de la seguridad ante una situación de emergencia. Para ello, la tubería requiere un **diámetro de 600 mm**, de **acero helicosoldado** y **espesor 10 mm en la zona del dique, y posteriormente desde toma de fondo hasta punto de vertido tubería de PVC-0  $\phi$  630 mm 1,6 MPa.**

### 2.3.2 VERTIDO DESAGÜE EMERGENCIA: CUENCO AMORTIGUADOR

Se siguen los criterios generales recogidos, para dimensionar un cuenco amortiguador de tipo impacto, en el "Proyecto de Presas Pequeñas"/ "Design of Small Dams", del Bureau of Reclamation, según el siguiente esquema:

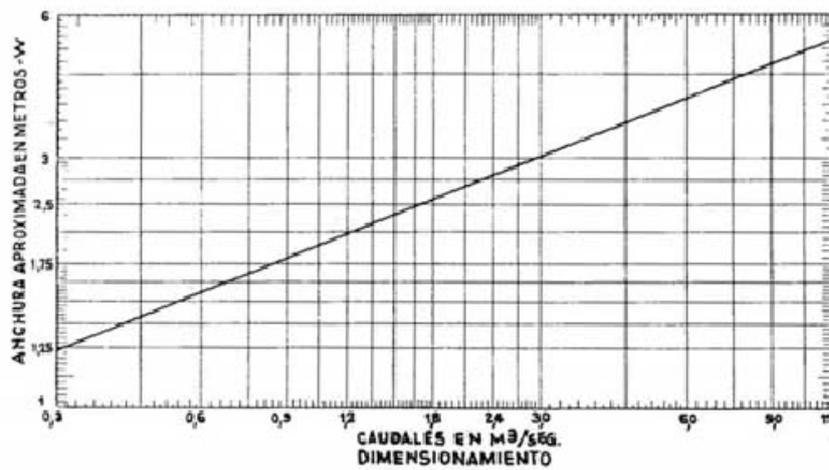
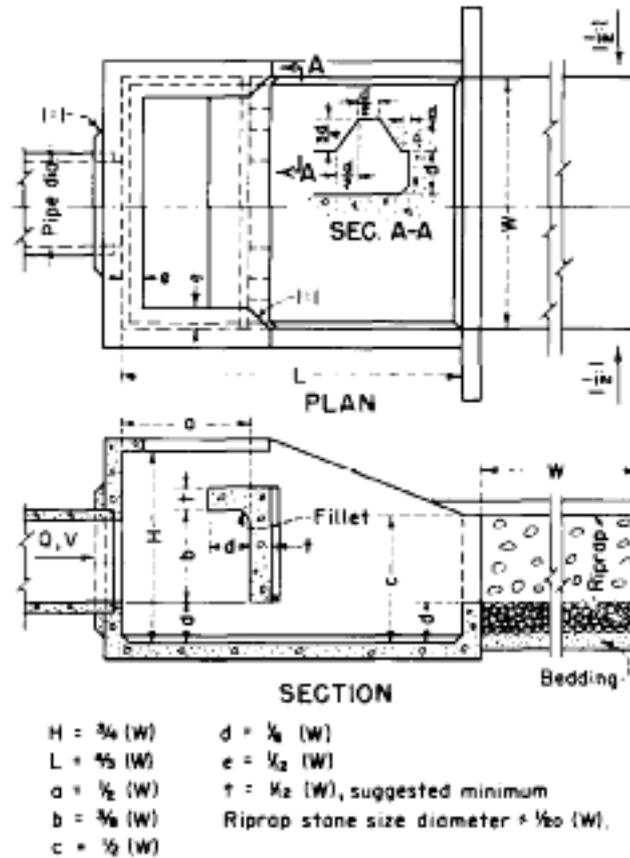


Imagen 17. Cuenco amortiguador. Esquema.

Y el caudal evacuado será transportado por el canal actualmente existente, y empleando para ello los desagües a su vez tiene dicho canal (según recoge la documentación gráfica del proyecto).

## 2.4 ALIVIADERO DE LA BALSA

Este elemento permite evacuar los caudales de agua que entran a la balsa, por encima del nivel máximo de agua establecido.

El aliviadero cumple una importante función de seguridad: evita que, en ningún caso, el agua pueda desbordar por la coronación de la balsa.

Para este tipo de obras de tierra, un desbordamiento por coronación “overtopping” supondría la rotura de la misma inevitablemente.

En el caso de las balsas, donde los caudales de entrada están perfectamente definidos, el riesgo de vertido por coronación es prácticamente inexistente. Este hecho no debe de hacer pensar que el aliviadero sea una obra de menor importancia frente a la seguridad.

En condiciones normales las entradas y salidas de agua estarán controladas y se mantendrá el nivel de agua en el embalse y en el depósito dentro de unos límites, pero puede ocurrir que los aportes superen durante un cierto periodo a las salidas y se produzca un aumento en el nivel de las aguas dentro de estos que, de no atajarse, desencadenaría en un desbordamiento incontrolado de los mismos. Surge entonces la necesidad de, en caso de anomalía, poder evitar este extremo. Para ello, la forma tradicionalmente habitual ha sido la ejecución de un aliviadero, que nos permita encauzar las posibles aguas excedentes; y así se ha resuelto también en este proyecto.

Se diseña un aliviadero consistente en una arqueta rectangular de 6 m de longitud con un labio vertiente cuya cota está enrasada con el nivel máximo de balsa. El agua recogida en esta arqueta se conduce a través de una tubería de acero de  $\varnothing 711$  mm que atraviesa el dique de contención de la balsa, y vierte en una arqueta en el exterior de esta, desde la que parte otra tubería de PVC-O de  $\varnothing 600$  mm que posteriormente conecta con la de desagüe de fondo de balsa.

El caudal de diseño del aliviadero se analiza según las siguientes hipótesis:

- Se supone la balsa a su Nivel Máximo Normal (N.M.N.), es decir, la cota de la superficie libre de agua en el vaso de la balsa coincidirá con la cota de vertido del aliviadero
- Se supone que sobre la balsa está entrando el caudal máximo de funcionamiento
- Se supone una lluvia directa sobre la balsa. El período de retorno mínimo para determinar la intensidad de la lluvia de una hora de duración será de 500 años.
- El caudal de diseño del aliviadero se obtendrá como suma de los dos caudales anteriores, aplicando la precipitación horaria máxima a la superficie interior en coronación de la balsa.

Se estudia la necesidad de alivio para el caudal máximo que se podría producir en el caso de coincidencia de la precipitación máxima previsible para **un período de retorno de 500 años**, balsa llena y caudal de entrada máximo.

Para la determinación de la precipitación máxima en 24 horas  $P_{24}(T)$  se ha consultado la publicación “*Máximas llluvias diarias en la España Peninsular*” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El procedimiento propuesto se basa en el empleo de un mapa nacional donde se recogen isolíneas del valor medio de la precipitación máxima diaria anual  $P_{24}$  y del coeficiente de variación  $C_v$  de dicha variable.

El proceso operativo es seguido es el siguiente:

- Localizar en el mapa el punto geográfico deseado
- Estimar mediante isolíneas presentadas en coeficiente de variación  $C_v$  y el valor medio de la precipitación máxima diaria anual  $P_{24}$ .
- Para el periodo de retorno deseado  $T$  y el valor  $C_v$ , obtener el valor  $K_T$
- Realizar el producto del factor de amplificación  $K_T$  por el valor medio de la precipitación máxima diaria anual  $P_{24}$ , obteniéndose la precipitación máxima diaria para el período de retorno deseado.

*Valores de partida:*

$$C_v = 0,34$$

$$P_{24} = 36 \text{ mm}$$

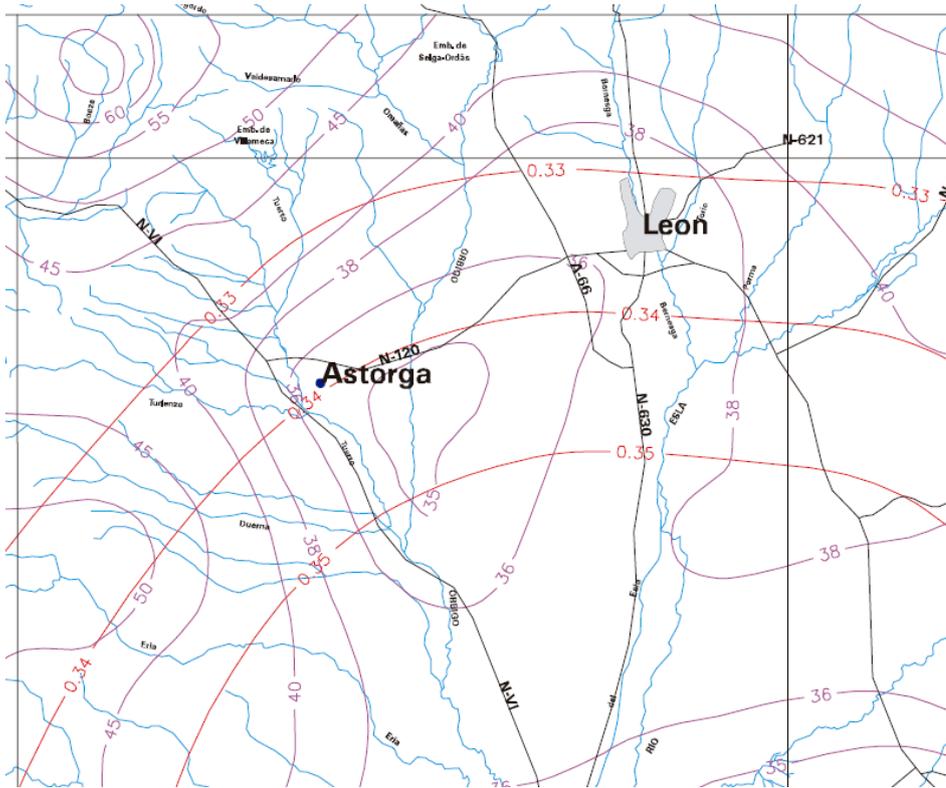


Imagen 18. Coeficiente de variación  $C_v$  (líneas rojas) y valor medio precipitación máxima diaria anual (líneas moradas).

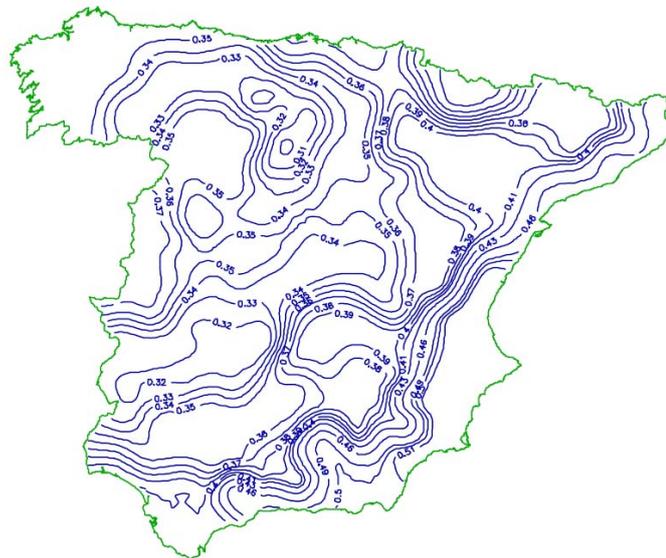


Fig. 3.2 – Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación  $C_v$

Imagen 19. Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación  $C_v$  (Fig. 3.2). Fuente: Máximas luvias diarias en la España Peninsular (Dirección General de Carreteras – Ministerio Fomento).

Para el período de retorno  $T=500$ , y el valor  $C_v$  arriba indicado, se obtiene el valor de ampliación  $K_T$  mediante el uso de tablas  $K_T (500) = 2,785$ .

Con ello:

$$P_{24} (500) = K_{500} \cdot P_{24} = 2,785 \cdot 36 = 100,26 \text{ mm}$$

$$I_h = 0,34 \cdot P_{24} (500) = 0,34 \cdot 100,26 = \mathbf{34,09 \text{ mm/h}}$$

Las mayores intensidades de lluvias se producen en lapsos muy cortos y cuanto más se alarga la duración considerada, menor es la intensidad relativa.

Tomando el valor de precipitación máxima en 24 horas ( $P_{24}$ ), se determina la intensidad máxima de lluvia correspondiente a una duración de dos horas.

Superficie lámina de agua: **25.187** m<sup>2</sup>, correspondiente a la cota N.M.N. de la balsa, con lo que se tiene un caudal:

$$Q_{AS} = \mathbf{0,24 \text{ m}^3/\text{s}}$$

## 2.5 ALIVIADERO DEL CANAL

### 2.5.1 GENERALIDADES DE LA OBRA TIPO

Esta infraestructura servirá tanto para aliviar el canal como para generar la retención necesaria para derivar el agua transportada por el canal a la balsa. Es una infraestructura que permite garantizar el nivel de la lámina de agua, alcanzar el nivel máximo de embalse proyectado, y a su vez aliviar el canal y la balsa en caso de avenida o fallo en los dispositivos de corte de agua por el canal o de entrada a la balsa.

Los datos obtenidos en el levantamiento topográfico de campo, en la zona donde se realiza esta actuación, la sección del canal tiene las siguientes características:

- Cota de solera de canal: 911,60 m.s.n.m
- Cota de coronación: 912,30 m.s.n.m
- Cota lámina libre de agua (CN): 910,00 m.s.n.m.
- Pendiente: 0,005
- Sistema de impermeabilización: no existe



Imagen 20. Cotas de la obra de toma. Fuente: plano nº 4.2.

Estos datos han sido tomados mediante el levantamiento topográfico realizado en la zona.

De los datos expuestos, la cota de lámina libre del canal en condiciones normales de funcionamiento (considerando como condiciones normales de funcionamiento las de máxima capacidad de transporte según los datos facilitados por la Comunidad de Regantes del Canal de Velilla) se encuentra en la cota 912,6,0 m.s.n.m., y la cota de la lámina NME balsa se establece en la cota 910,0 m.s.n.m.

Se proyecta un canal de derivación, ejecutado in situ, con dos compuertas automatizadas para controlar y medir la entrada/derivación de agua a la balsa (dos compuertas autorregulantes tipo Slipmeter SM-1050 o similar). Además, sirven de elemento de seguridad para en situación de cierre evitar la entrada de agua a la balsa.

Aguas debajo de dicha infraestructura, en el tramo recto existente se ubicará un caudalímetro para medición y control de agua de abastecimiento derivado hacia la ciudad de León, y que siempre debe de estar garantizado mediante la compuerta automática que este proyecto contempla instalar (compuerta autoregulantes tipo Flumegate FGB 1370 o similar).

Las características reseñables, desde el punto de vista de diseño de las infraestructuras aquí mencionadas son:

- Cota de fondo de balsa: 905,00 m.s.n.m.
- Cota depresión fondo de balsa: 903,00 m.s.n.m.
- Cota de lámina de agua NMN: 910,00 m.s.n.m.
- Cota de camino de coronación: 911,00 m.s.n.m.
- Resguardo: 1,00 m

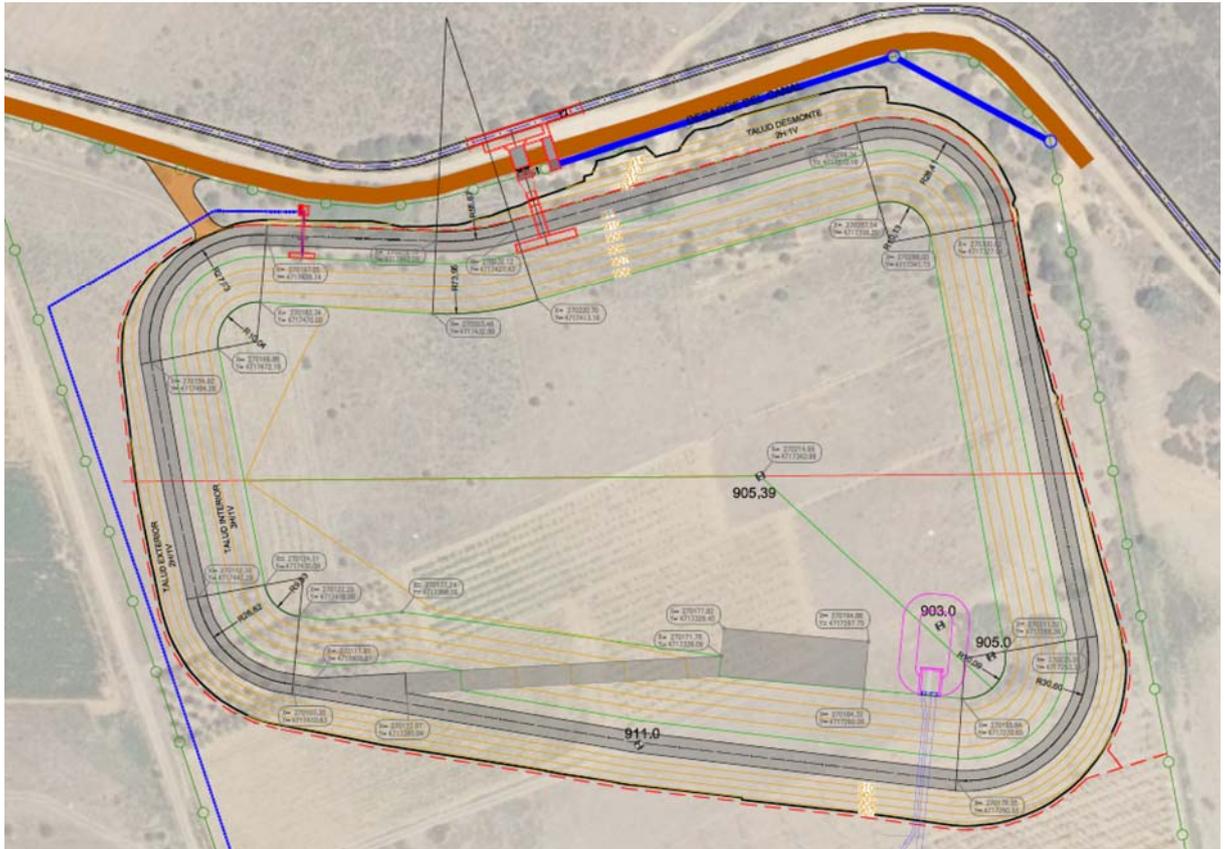


Imagen 21. Planta general de la balsa diseñada. Fuente: plano nº 21.1 Balsa de regulación. Planta general

## 2.5.2 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA ALIVIO

Se deriva un caudal variable, según el régimen de explotación del canal variable en función de la época de la campaña de riego, pero máximo de 1.500 l/s.

Por la configuración actual del canal y de la balsa, se proyecta un aliviadero lateral, en el cuenco, con la misma capacidad de vertido que el vertedero lateral del canal al canal de llenado de la balsa.

El vertedero es una infraestructura fiable en la operación, de manipulación accidental improbable, y permite garantizar la seguridad de la infraestructura.

## 2.5.3 TIPOLOGÍA Y FUNCIONALIDAD: ALIVIO DE CANAL

En condiciones normales, no se derivará caudal aguas abajo de dicho vertedero, dirigiéndose siempre a través del canal de llenado hacia la balsa, salvo en situaciones de mala regulación del canal/gestión de la acumulación en la balsa (compuertas de entrada a balsa cerradas o balsa llena).

Dada esta configuración, será capaz de verter la capacidad total de transporte del canal en dicho tramo (comprobación de sección y caudal, datos históricos facilitados por la Comunidad de Regantes).

#### 2.5.4 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL CANAL

Las medidas ya indicadas anteriormente se emplean como cálculo del caudal que circula en régimen normal, así como para conocer el nivel máximo de lámina de agua que se puede alcanzar sin producir desbordamiento.

Reseñar que, una vez abastecida la balsa, el canal de Velilla no suministra agua a ninguna zona regable más, quedando la infraestructura actual aguas abajo del punto de derivación a balsa como canal para conducción de agua de abastecimiento (máximo 500 l/s) para la ciudad de León.

- Revestimiento: Hormigón
- Espesor cajero: 0,30
- Talud del canal: 1H:1V

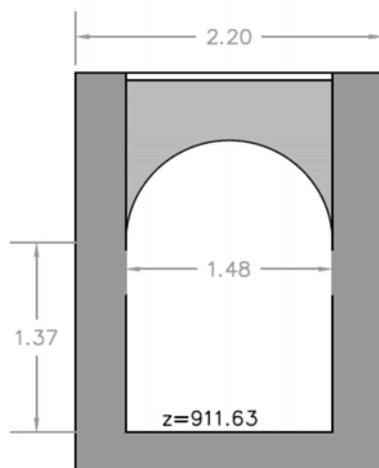


Imagen 22. Sección tipo del canal de Velilla en el punto de derivación, tomada in situ.

- Revestimiento: Hormigón
- Espesor cajero (m): 0,30
- Talud del canal: Vertical
- Calado en condiciones normales: 1,50
- Profundidad total del canal (m): 1,40
- Anchura coronación (interior) (m): 1,48
- Anchura fondo canal (m): 1,48

### 2.5.5 CÁLCULO DEL CAUDAL CIRCULANTE POR EL CANAL. VERTIDO.

El caudal máximo que transporta el canal en el punto de toma oscila entre los 1.000 y 1.500 l/s, según la información aportada por la Comunidad de Regantes del Canal de Velilla, para los caudales punta de explotación en el sistema actual.

Se comprueba que los datos de partida son correctos (la sección tipo y para el calado normal en época de máxima necesidad, en la situación actual de funcionamiento del canal).

Se considera la ecuación de Manning para canales.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I}$$

siendo:

- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- S: Área transversal mojada
- R: Radio hidráulico:  $R=S/P$
- P: Perímetro mojado
- I: Pendiente del canal

Para la sección trapezoidal definida con anterioridad, se tiene:

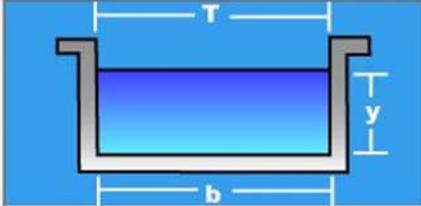
$$Q = 1,74 \text{ m}^3/\text{s}$$

Además, como medida de comprobación se realiza la comprobación mediante el programa HCANALES V3.0, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica y ampliamente utilizado para este tipo de infraestructura hidráulica. De este modo se obtiene una comprobación del caudal que circula por el canal según la geometría de éste y el tirante de la marca de agua.

Lugar:	CANAL DE VELILLA	Proyecto:	MODERNIZACIÓN REGADÍO
Tramo:	DERIVACIÓN A Balsa	Revestimiento:	HORMIGÓN

<b>Datos:</b>	
Tirante (y):	1.3 m
Ancho de solera (b):	1.48 m
Talud (Z):	0
Coefficiente de rugosidad (n):	0.016
Pendiente (S):	0.0005 m/m

<b>Resultados:</b>			
Caudal (Q):	1.6290 m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v):	0.8467 m/s
Área hidráulica (A):	1.9240 m <sup>2</sup>	Perímetro (p):	4.0800 m
Radio hidráulico (R):	0.4716 m	Espejo de agua (T):	1.4800 m
Número de Froude (F):	0.2371	Energía específica (E):	1.3365 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Imagen 23. Comprobación hidráulica de la sección tipo en zona de actuación.

Se comprueba que los datos son correctos, coincidiendo los datos facilitados por la Comunidad de Regantes y los desprendidos de la aplicación de las ecuaciones clásicas de la hidráulica de canales abiertos.

Se considera un coeficiente de rugosidad de Manning para el hormigón de 0,016.

El tipo de flujo en este tramo de canal, atendiendo al parámetro adimensional Número de Froude (F), se corresponde con un régimen subcrítico (también llamado “lento” o “tranquilo”), con un valor de 0,3707.

## 2.5.6 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS A REALIZAR

Las obras a realizar y la ejecución de las mismas se harán de la siguiente forma:

- Apertura y corte de los paños y solera correspondientes en el canal de Velilla y demolición del mismo con compresor hasta una longitud mínima de 25 metros.
- Retirada de escombros, aglomerados y hormigones a vertedero controlado.
- Excavación de los taludes y movimientos de tierras necesarios para la ejecución de paredes y taludes.
- Ejecución de las cimentaciones de los muros verticales laterales del canal.
- Ejecución de los muros verticales del canal.

- Ejecución de soleras en la ocupación.
- Ejecución de taludes de canal.
- Ejecución de acuerdos entre taludes de canal y muros verticales del canal de transición.
- Retirada de encofrados y material auxiliar.
- Sellado de Juntas de hormigonado utilizando masilla adhesiva monocomponente a base de poliuretano.
- Relleno compactado 98% PM de zahorra 2" en todos los lugares donde se haya retirado tierras de apoyo del canal para que no se produzcan asientos diferenciales.
- Limpieza final y puesta en servicio del Canal de Vellilla en el tramo afectado, tras la instalación de la compuerta que regula y garantiza el paso de agua hacia León.

El hormigón a emplear, tanto en los muros como en los cajeros y solera del canal será HA-25 N/mm<sup>2</sup>, con malla electrosoldada 15x15x6 B500T.

Durante la ejecución de las obras no habrá circulación de agua.

Esta actuación será solicitada por escrito al a Confederación Hidrográfica del Duero, dada que la titularidad del canal es suya.

## 2.6 DRENAJES

### 2.6.1 GENERALIDADES

El drenaje interno de la balsa es un aspecto fundamental a tener en cuenta a la hora del diseño de la balsa y éste debe cumplir un doble objetivo. En primer lugar, tiene el efecto de llamada y posterior conducción de las aguas que puedan infiltrarse por el terreno para evitar efectos perniciosos sobre la lámina y/o cualquier obra diseñada. En segundo lugar, el drenaje interno debe detectar y localizar en la medida de lo posible los posibles focos de problemas en relación con el drenaje.

Se ha optado por un sistema de zanjas drenantes tanto en lo que es el talud de la balsa como en el fondo de la misma, con un esquema de espina de pez, así como zanjas perimetrales a pie de talud.

Las zanjas propuestas, de dimensiones aproximadas de 0,5 x 0,5 metros se rellenan de material drenante protegiendo éste del terreno con geotextil envolviendo la zanja por completo.

La red drenante se diseña con tubos perforados, hasta llegar hasta los tubos colectores, de mayor diámetro que conducen las aguas drenadas hasta la arqueta dispuesta a tal efecto en la caseta de válvulas.

Se sectoriza la balsa en **SIETE SECTORES** (CUATRO DE TALUD + TRES DE FONDO) + UN SECTOR UNICO PARA LA OBRA DE TOMA DE FONDO QUE ATRAVIESA EL DIQUE.

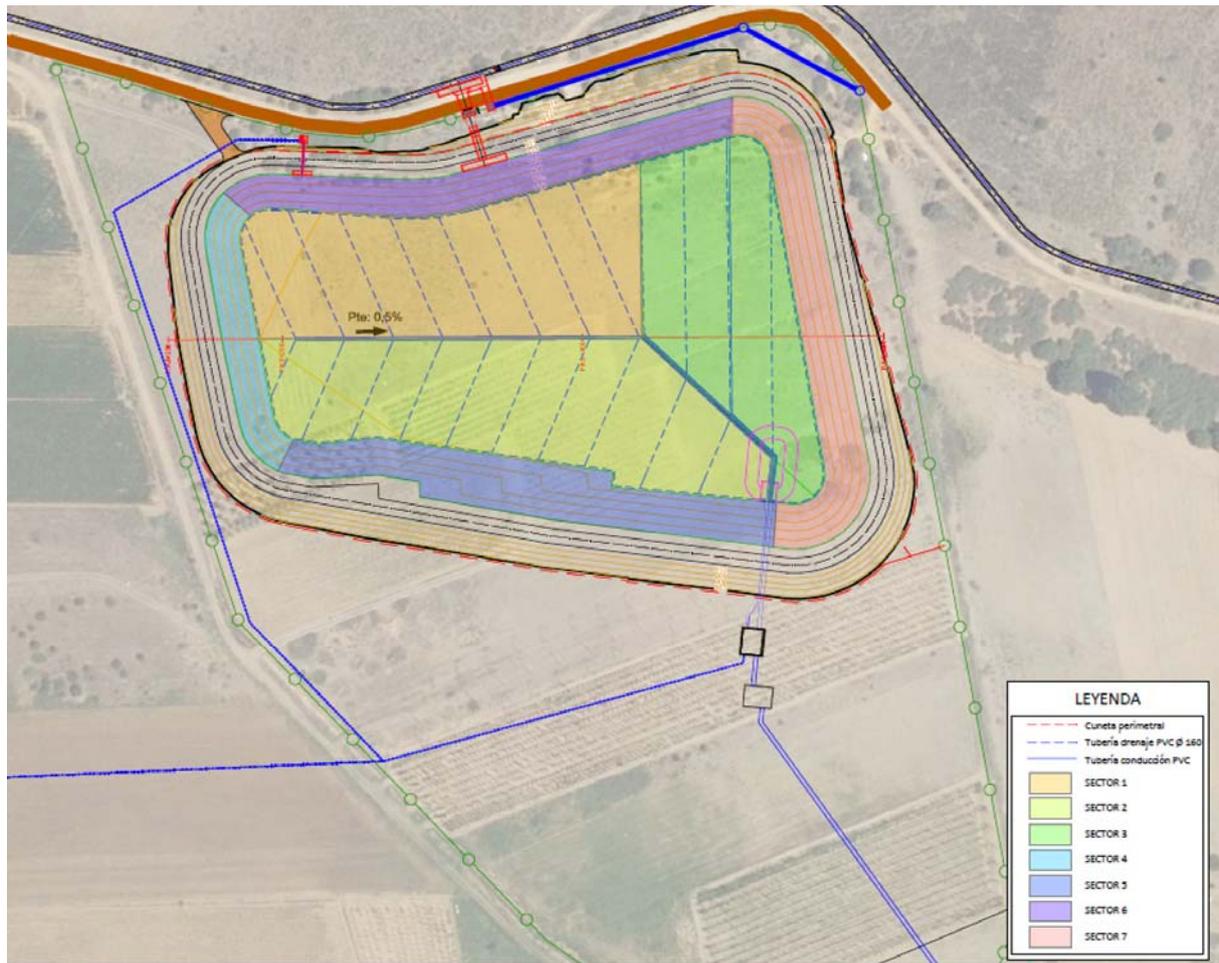


Imagen 24. Planta de la balsa. Zonificación drenajes.

Las funciones básicas de un drenaje son captar el agua, conducirla de modo que no dé lugar a arrastres y disminuir la presión intersticial. Dentro de los drenes es importante distinguirlos según su función [Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge (2009) Guías para el proyecto, construcción, explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad]:

- Drenes estructurales: son los drenes esenciales para la estabilidad de la obra
- Drenes no estructurales. Son drenes complementarios, que sirven básicamente para localizar, y en su caso medir, las eventuales filtraciones.

Tanto drenes estructurales como no estructurales van asociados a un filtro. La función de los filtros es estabilizar la circulación del agua sin que haya arrastres y el de los drenes es el de evacuar el agua contenida en esos medios para disminuir su presión intersticial.

La constitución del filtro y del dren propiamente dicho depende de distintos factores, entre los que destacan:

- Granulometría del material en contacto con el filtro
- Granulometría del material del dren
- Permeabilidad de ambos
- Caudales previsibles a evacuar
- Presión intersticial residual admisible
- Estabilidad interna de los materiales, tanto del filtro como del dren

Habitualmente, para balsas la función de filtro y dren se consigue mediante una combinación de geotextil + gravilla.

### **2.6.2 DREN ESTRUCTURAL: DREN DE ENVUELTA.**

La superficie exterior de cualquier estructura que atraviese el dique se puede considerar como una vía preferente para el agua y consiguientemente, para la erosión interna.

El dren de envuelta rodea y drena todas aquellas estructuras que atraviesan el dique (en este caso, conducciones), permitiendo detectar las fugas y su evacuación hacia el exterior sin erosionar el dique.

Este dren potencia las vías preferentes perimetrales de las estructuras que atraviesan el dique, pero cumpliendo las funciones de filtro-dren, de tal manera que permite la evacuación de la fuga, pero sin arrastre de material, evitando, por tanto, la problemática de la erosión interna asociada a las estructuras que atraviesan el dique.

Este dren estará formado por material granular envolviendo totalmente a la estructura que atraviesa el dique, así como a la obra de toma. El material granular irá envuelto por un geotextil. Este geotextil cumplirá la condición de filtro respecto al terreno adyacente, además presentará un buen comportamiento frente al punzonamiento.

Se establece un espesor mínimo de 50 cm en la cama de apoyo de la estructura de fábrica, en los laterales y en la clave de la misma. Se debe de garantizar la continuidad del dren de envuelta de la obra de toma y de la estructura que atraviesa el dique, así como una salida libre en el exterior, con

continuidad hidráulica hasta un punto de desagüe que no afecte a la balsa ni a sus instalaciones.

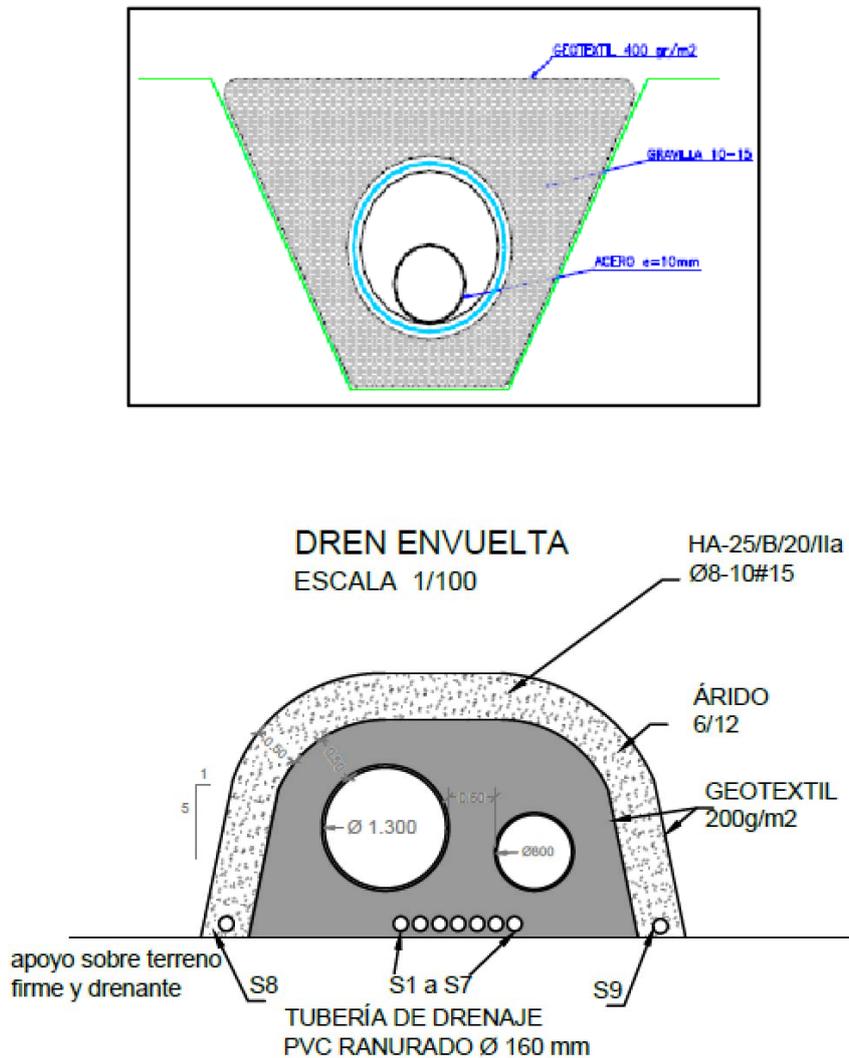


Imagen 25. Sección tipo de drenaje de fondo y dren envuelta

### 2.6.3 DRENES NO ESTRUCTURALES

Los drenes de vaso se consideran drenes de este tipo. El sistema de drenaje interior de la balsa sigue para detectar y evacuar las posibles fugas del sistema impermeabilizante y, en ocasiones, las filtraciones del terreno originadas por el nivel freático o flujo subsuperficial.

En el diseño de este tipo de elementos se establecen las siguientes consideraciones para alcanzar una máxima eficacia en su función de detección:

- Es necesario sectorizar la balsa, a efectos de drenaje. Los sectores establecidos separarán el fondo y los taludes.

Los sectores deben ser claramente independientes desde un punto de vista hidráulico, evitando en la medida de lo posible, que puedan plantearse dudas sobre el origen de alguna fuga.

Para balsas entre 100.000 m<sup>3</sup> y 250.000 m<sup>3</sup>, se establecerá como mínimo tres sectores: uno de fondo y dos de talud.

- Se debe garantizar la correcta comprobación visual y cuantitativa de las posibles fugas para cada sector, asegurándose sin lugar a generación de confusiones sobre la procedencia de las fugas. Para ello se considerará:
  - La arqueta de vertido donde se recogen los colectores de drenaje de los diferentes sectores debe ser perfectamente accesible y visitable
  - El vertido de los diferentes colectores en la arqueta, debe estar claramente separado y debe permitir con claridad conocer de que lugar proviene la fuga, permitiendo además realizar un aforo in situ del caudal filtrado
  - Se dispondrá un plano de la sectorización de la balsa

Se adoptará una solución clásica para el drenaje del vaso de la balsa, mediante zanjas drenantes.

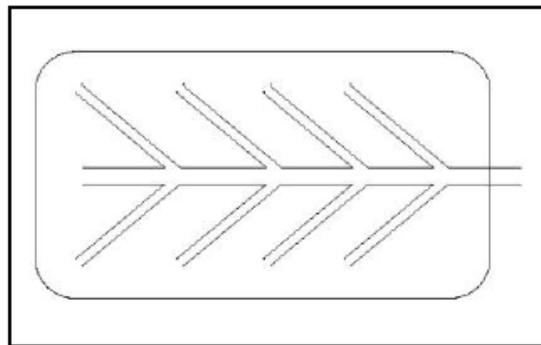
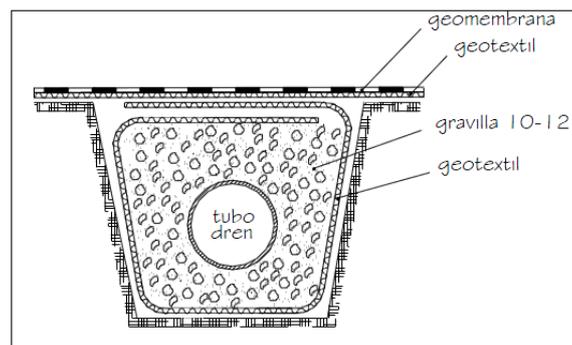


Imagen 26. Disposición clásica en espina de pez.



*Imagen 27 . Disposición clásica mediante zanja drenante.*



*Foto 3. Drenaje de fondo. Sección tipo*



Foto 4. Drenaje perimetral obra de hormigón de la toma de fondo

Diámetro (mm)	Q(litros/segundo)
80	2,6
125	8,6
150	14,0
200	30,1
250	54,7
300	88,9

Imagen 28. Caudales evacuados para una pendiente del cinco por mil a sección llena con  $n=0,01$ .

Fuente: Guía para el Proyecto y Construcción de Balsas de Tierra. Obras complementarias.

Se proyecta un drenaje perimetral que separe las posibles filtraciones de los taludes del fondo de la balsa.

Las pendientes mínimas serán:

- Zanja drenante 0,15 %
- Colectores principales y perimetrales 0,3 %

No obstante, se debe de tener en cuenta que la pendiente de las zanjas drenantes sea similar a la del fondo, para evitar que la salida de los drenajes sea muy profunda y dificulte su salida al exterior de la conducción a través de la conducción de protección que atraviesa el terraplén.

La granulometría empleada será 12-20 mm.

Las conducciones deberán tener garantizado su correcto comportamiento mecánico en función de las cargas de altura de agua y/o tierra a que se verán sometidas.

Se disponen de zanjas y conducciones de drenaje sancionadas por la práctica.

Cuando sean de esperar posibles ascensos temporales del **nivel freático**, que pueda interferir con la red de drenaje a instalar, o niveles freáticos colgados o zonas donde se puedan recoger filtraciones exteriores, se deberán disponer tanto en el talud y/o en el fondo drenajes independientes del resto de los demás para la evacuación de estas aguas naturales. Estos sistemas drenantes independientes deberán tener la suficiente entidad para que puedan captar y evacuar dichos volúmenes.

Parece necesario realizar una prueba de la red de drenaje una vez instalado el sistema, para garantizar la funcionalidad de la misma y la no existencia de fallos derivados de la ejecución de la

obra. Si se realiza la prueba de drenaje se debe tener en cuenta que una vez puesta en carga la balsa, debido a la presión del agua del vaso y a que parte del agua de prueba del drenaje se ha quedado en las zanjas, ésta tiende a salir por los colectores y por lo tanto, en la fase de primera puesta en carga se debe analizar cuidadosamente este hecho.

#### 2.6.4 DRENES UTILIZADOS

Se establece una separación uniforme de 15 m, y se dimensiona el diámetro del tubo dren, teniendo en cuenta que la pendiente de los tubos será:

- Espinas laterales: según la pendiente transversal del fondo de la balsa, establecida en 0,50 %
- Espina principal: según la pendiente longitudinal del fondo de balsa, con pendiente uniforme única: 0,50 %

La conductividad hidráulica del terreno en este caso se considera, del lado de la seguridad  $10^{-3}$  cm/s. Para este valor de conductividad, la percolación puede establecerse en 27,81 mm/día.

Con estos parámetros, la longitud máxima del dren y la separación entre drenes, se obtiene el caudal máximo a transportar por la conducción. Este caudal viene determinado por la expresión:

$$Q = R \cdot l \cdot L$$

siendo

- Q: Caudal máximo a transportar ( $m^3/día$ )
- l: Longitud máxima del tubo dren (m)
- L: Separación entre drenes (m)
- R: Percolación (m/día)

Aplicando los parámetros de proyecto a la expresión anterior (valores medios, separación entre drenes de 15-20 m), se obtiene el caudal máximo de transporte:

$$Q = 0,278 \text{ m/día} \cdot 120 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} = 667 \text{ m}^3/día$$

Establecido el caudal máximo a desaguar por el tubo dren, se emplea la fórmula de Blasius para determinar el diámetro del mismo, y comprobar si el predimensionado realizado con suposición de tubo de diámetro 150 mm es correcto.

En la utilización de la fórmula se ha tenido en cuenta el factor de Christiansen, al tratarse de una conducción de distribución continua. Suponiendo la existencia de infinitos emisores, el valor de este factor es 0,364 cuando se emplea la fórmula de Blasius ( $m=1,75$ ).

Además del coeficiente de Christiansen se han mayorado las pérdidas por rozamiento en un 5 %, para tener en cuenta las pérdidas de carga localizadas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente comentado, y el empleo de la fórmula de Blasius, la expresión que determina la pérdida de carga es la siguiente:

$$J = K_L \cdot F \cdot 0,0083 \cdot \varnothing^{-4,75} \cdot Q^{1,75}$$

siendo

- J: Pérdidas de carga (gradiente hidráulico en este caso) (m)
- $K_L$ : Coeficiente de mayoración de pérdidas de carga localizadas
- F: Factor de Christiansen
- $\varnothing$ : Diámetro interior del tubo dren (m)
- Q: Caudal a evacuar por el dren ( $m^3/s$ )

Con ello,

$$J = 1,05 \cdot 0,384 \cdot 0,0083 \cdot \varnothing^{-4,75} \cdot Q^{1,75}$$

Con ello,

$$\varnothing = 0,1185 \text{ m}$$

El diámetro obtenido se mayor a un 10 %, que supone aproximadamente un aumento de la capacidad de transporte del 30 %, con el objeto de tener seguridad frente a defectos de alineación de los drenes y disminución del diámetro efectivo por colmatación del dren.

Por tanto, el diámetro mínimo será de 0,131 m, adoptándose un diámetro de dren de **150 mm**.

A continuación, se dimensiona el **colector de drenes**. El cálculo se determinará a partir de la misma expresión que anteriormente. En este caso se consideran que las entradas de caudal son finitas e iguales al número de tubos dren que recoge cada colector.

Para  $n=8$  (valor medio), el factor de Christiansen toma el valor de 0,428. Con ello,  $\varnothing = 0,230$  m.

Si al igual que anteriormente se mayor el diámetro teórico, se obtiene un diámetro de 0,253 m. Por tanto, el diámetro de los colectores de drenaje será de 300 mm.

## 2.7 ANCHURA DE CORONACIÓN

Se considera la anchura para la circulación de vehículos y estabilidad del talud, así como esta anchura también permite realizar las tareas de ejecución y mantenimiento mediante el empleo de maquinaria pesada trabajando desde coronación.

Respecto a la determinación del ancho de coronación, existen varias expresiones y recomendaciones, seleccionándose la propuesta por Bureau of Reclamation, donde w: Anchura de coronación en metros, H: Altura o profundidad –el mayor de los dos-en metros):

$$W = (H/5) + 3$$

Se adopta una **anchura de 5 metros**.

El camino de coronación tendrá una anchura de 5 metros, con una pendiente del 2 % hacia el exterior de la balsa. La construcción se realizará con base de material granular, compactado hasta una densidad el 100 % PM. Se rematará con una capa de rodadura de zahorra, con un espesor de 0,20 m.

## 2.8 RESGUARDO

Para balsas, donde no existe incertidumbre de los caudales de entrada, se tiende a que estos resguardos sean lo mínimo posible, y con el criterio habitual de evitar que posibles salpicaduras puedan afectar a la coronación.

Se considera resguardo habitual de diseño para este tipo de obras el que se encuentra en el rango entre 0,5 y 1,0 metros.

Acorde a estas infraestructuras, se reseña en este anejo lo siguiente:

- Resguardo de vertido ( $R_{vert}$ ): Diferencia de cotas entre el Nivel Máximo de Embalse (N.M.E.) y la cota de coronación, siendo el N.M.E. la cota de la lámina de agua vertiendo por el aliviadero con un caudal igual al máximo de entrada más el caudal generado por la lluvia.
- Resguardo de oleaje ( $R_{oleaje}$ ): Diferencia de cota entre el Nivel Máximo Normal (N.M.N.) y la mitad de la altura del bordillo de coronación, siendo N.M.N. la cota de la lámina de agua en las condiciones ordinarias de explotación, y a partir de la cual entra en funcionamiento el aliviadero.

Se sigue el siguiente criterio:

1. El resguardo de vertido será superior a medio metro
2. El resguardo de oleaje será mayor o igual que la altura máxima de ola obtenida con la siguiente expresión (Bureau of Reclamation)

$$h_{oleaje} = \sqrt[4]{F}$$

Siendo F: Fetch (km) – Distancia en la cual el viento puede actuar sobre una masa de agua. Generalmente, se define como la distancia normal desde la orilla opuesta en la dirección del viento hasta la estructura que se quiere diseñar.

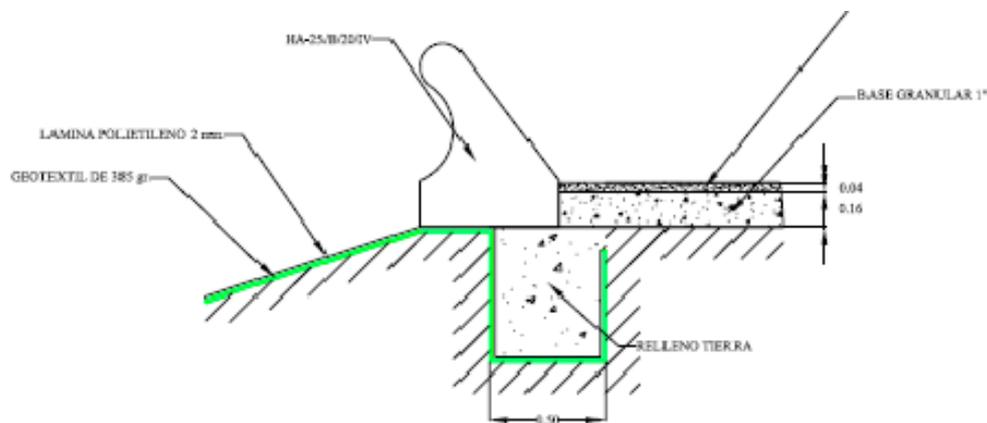


Imagen 29a. Detalle de anclaje en coronación de la lámina y geotextil.



Foto 5. Disposición de rompeolas en camino de coronación de balsa.

Considerando el artículo 55.6 de la Instrucción de Grandes Presas “El resguardo de una presa es la diferencia de cota entre el máximo nivel de embalse en avenidas y el de coronación”. El resguardo será, como mínimo, de vez y media la altura de ola posible originada por el viento. No se considera la altura de la ola sísmica, por las características de la zona donde se ubica.

$L_{\text{principal}} \approx 217,50$  m (valor que se adopta para el cálculo de comprobación)

$$h \text{ (m)} = 0,6 * (F \text{ (km)})^{1/4}$$

$$h \text{ (m)} = 0,6 * (0.217)^{0,25}$$

$$h \text{ (m)} = 0,41 \text{ m}$$

$$h_r \text{ (m)} = 1,5 h = 1,5 \times 0,41 = 0,61 \text{ m} < 1,0 \text{ m adoptado}$$

Considerando para esta tipología de obra, como ya se mencionó en párrafos precedentes que un valor normal oscila entre 0,80 y **1,0 metros**, el diseño cumple.

En este caso se adoptan los siguientes:

- **Nivel Máximo de Embalse (N.M.E.):** 910,0 m.s.n.m.
- Cota de coronación: 911,0 m.s.n.m.

Se proyecta un rompeolas, con la definición geométrica adjunta, con una superficie de 0,3762 m<sup>2</sup> por metro lineal, y con una cuantía de 8,95 kg de acero B500S por cada metro lineal de rompeolas.

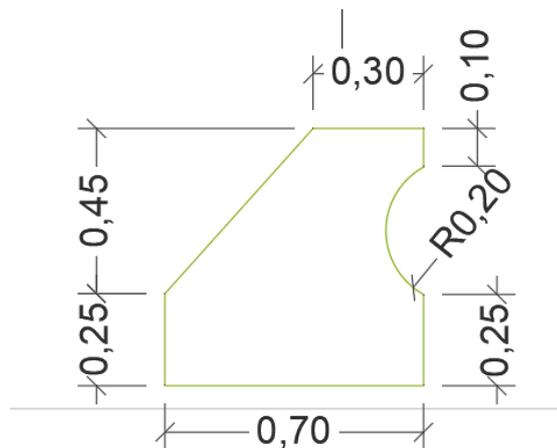


Imagen 29b. Detalle de rompeolas considerado.

## 2.9 VÁLVULAS Y OTROS ELEMENTOS: COMPUERTA

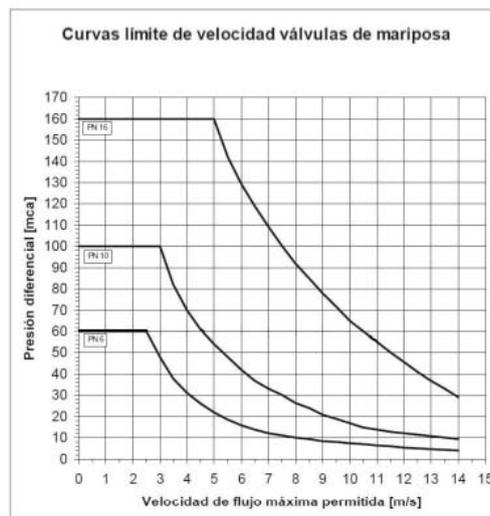
La valvulería como elemento regulador de los caudales tiene gran responsabilidad tanto en la seguridad de la balsa como en la garantía del agua embalsada.

Se debe de considerar el vaciado accidental de la balsa debido a roturas o fallos de las infraestructuras que dependen de él aguas abajo. Esta cuestión se puede resolver con la instalación de válvulas de sobrevelocidad (válvulas anti-inundación) que eviten el vaciado accidental.

Estas válvulas cierran cuando detectan alguna variación sobre alguna variable hidráulica (generalmente de velocidad) o de forma telemática si existe telecontrol sobre el elemento.

En las conducciones de entra de fondo se recomienda la colocación de válvulas antirretorno, que ante un fallo de la conducción evite el vaciado de la balsa.

Otro aspecto a tener en cuenta, tanto en la valvulería de corte como en las válvulas especiales, es además de la presión máxima de funcionamiento, la velocidad del flujo. La tabla adjunta recoge un criterio de elección del timbraje en función de la velocidad de flujo y de la presión máxima de trabajo.



Gráfica 6.17. Timbraje en función de la velocidad máxima y presión diferencial (presión máxima de trabajo) [92]. Por ejemplo para una balsa con 15 metros de altura de agua (Presión diferencial= 15 mca) y una velocidad máxima de 10 m/s, estaríamos en el límite entre el timbraje PN-10 y PN-16.

### Imagen 30. Tabla curvas límite de velocidad válvulas de mariposa

En este caso se proyecta:

- Para la conducción de desagüe rápido: válvula de corte y válvula de maniobra.
- Para la conducción de salida a riego: válvula de corte y válvula de sobrevelocidad.
- Como elemento de seguridad de entrada a la balsa: se propone dos **compuertas**, accionadas mediante unidad motriz (actuador eléctrico) de 400 V/3/50 Hz, telecontrolada.

## 2.10 OTROS ELEMENTOS: CAUDALÍMETROS

Se instalará un sistema de medición de entrada y salida de caudales, que ayudará tanto a la gestión del propio sistema como a la planificación futura (en las compuertas de regulación).

Además se instalará un caudal, aguas abajo del punto de vertido del desagüe de emergencia, para poder medir los retornos de agua.

## 2.11 OTROS ELEMENTOS: VENTOSAS

Su instalación debe de ser cuidadosa ya que generalmente existe poca presión y puede producirse un goteo. Es eficaz la utilización de tuberías de pequeño diámetro que se llevan hasta la coronación de la balsa.

Este sistema de aireación será trifuncional, permitiendo la salida de aire durante el llenado de las tuberías, la entrada de aire durante el vaciado y la eliminación de burbujas de aire creadas durante la explotación.

Se disponen tanto en la tubería de desagüe de emergencia como de tubería de salida a riego, condicionadas por la disposición de las válvulas, según recogen los planos de planta.

## 2.12 OTROS ELEMENTOS: LASTRES

### 2.12.1 ANCLAJE PERIMETRAL

Hace referencia al anclaje de la lámina en coronación y fondo, a lo largo de todo el perímetro de la balsa.

Las solicitaciones más importantes, en lo referente al anclaje, son las debidas a la acción del viento cuando la balsa no está llena.

El anclaje de la lámina en coronación será mediante zanja, y posterior tapado de la misma.

Se adjunta detalle, según normas de buena práctica que se recogen en distinta normativa.

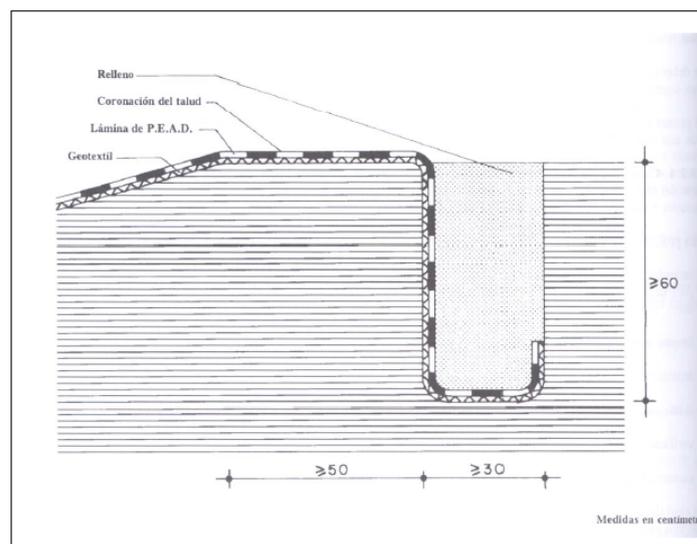


Imagen 31. Detalle de anclaje lámina PEAD en coronación.

PROFUNDIDAD (m)	PENDIENTE V1/H	ZANJA CORONACION		ZANJA FONDO		LASTRE FONDO hormigón		LASTRE FONDO agua
		ANCHO (cm)	PROFUNDIDAD (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PROFUNDIDAD (cm)
6	2	30	60	30	60	30	30	75
6	2,5	30	60	30	60	30	30	65
6	3	30	60	30	60	30	30	60
6	3,5	30	60	30	60	30	30	60
8	2	30	60	50	60	30	30	85
8	2,5	30	60	50	60	30	30	75
8	3	30	60	50	60	30	30	70
8	3,5	30	60	60	70	30	30	65
10	2	30	60	50	60	30	30	90
10	2,5	30	60	50	70	30	30	85
10	3	40	60	50	70	30	30	75
10	3,5	50	60	70	80	30	30	70
15	2	30	60	70	80	30	30	105
15	2,5	50	60	70	80	40	40	95
15	3	60	60	80	90	40	40	90
15	3,5	70	70	80	90	40	40	85
20	2	50	60	70	80	40	40	120
20	2,5	60	70	80	90	40	40	110
20	3	60	80	90	100	40	40	100
20	3,5	60	80	100	110	40	40	95

Tabla 3.6.3—1 Dimensiones de zanja y entrega de la geomembrana, y profundidad mínima para anclaje de fondo para geomembrana de PEAD de 2mm

Imagen 32. Tabla de dimensiones de zanja y entrega de la geomembrana, y profundidad mínima para anclajes.

Fuente: Guía para el Proyecto y Construcción de Balsas de Tierra. Generalitat Valenciana.

Los anclajes en el sentido de la pendiente, y para el fondo de balsa en este proyecto se proponen como fundas de geomembrana, rellenas de bolsas de grava. No presenta borde cortante, con gran flexibilidad.

### 2.12.2 ANCLAJES TRANSVERSALES

Bajo este término se hace referencia a los lastres colocados sobre la geomembrana, realizados sobre el talud. En este proyecto, y dado que la altura del talud es pequeña, no se proyectan.

### 2.12.3 SUCCIÓN

El viento, análogamente a lo que ocurre en las cubiertas de las edificaciones, puede dar lugar a succiones que despeguen e incluso arranquen la lámina. Se analizan las zonas de la balsa más expuestas a este efecto, según los vientos de la zona.

Otras balsas de la zona (condicoines locales) se están comportando bien con el viento, y no disponen de estos lastres transversales sobre talud.

Si en algún momento fuese necesario su instalación, post-proyecto, resulta aconsejable disponer lastres de 120 kg/ml separados vez y media la longitud libre del talud. En los taludes, según se observe el comportamiento, se puede ajustar y ejecutar el lastrado sin dificultad (mediante los sacos/fundas descritas con anterioridad).

Debe de resaltarse que si se mantiene un calado del orden de un metro, la experiencia confirma que no que produce levantamiento del fondo.



*Foto 6. Tipo de anclaje propuesto, tanto para taludes como para fondo de balsa.*

## **2.13 VALLA PERIMETRAL Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD**

Es un aspecto muy importante, con el objetivo de evitar la pérdida de vidas humanas y animales (cuyo acceso además puede generar daños en el sistema de impermeabilización con todos los peligros que implica para la seguridad de la obra de tierra).

### **2.13.1 VALLA PERIMETRAL**

La balsa dispondrá de una valla de cerramiento perimetral (vallado de la parcela), para evitar la entrada de animales y personas. La valla se coloca en el límite de la parcela, y siempre al pie del talud exterior en las zonas que éste coincide con el límite de la parcela. Tendrá una altura de 2,0

metros, y será malla de simple torsión galvanizada 40/14, con apoyos cada tres metros mediante poste  $\varnothing 48$  mm y espesor 2 mm, embebidos en dado de hormigón HM-35 de 50x50x50.

### **2.13.2 ELEMENTOS DE SALVAMENTO**

Se dispondrán maromas con nudos que permitan salir de la balsa a las personas.

Se instalarán flotadores, durante la explotación y el personal encargado del control de la balsa realizará las labores de mantenimiento y correcta disposición de estos elementos.

Los animales podrán salir a través de la rampa de acceso al fondo de la balsa diseñado.

## **2.14 HIDROSIEMBRA DE TALUD**

Una vez aportada la tierra vegetal al talud exterior, se procederá a la hidrosiembra del mismo con especies autóctonas para evitar la erosión y arrastres derivados de la lluvia.

## **2.15 CASETA DE VÁLVULAS**

Se sitúa al pie del talud exterior. A partir de ella, se inician las conducciones de servicio (riego, desagüe, etc.).

Se dimensionará de tal forma que puedan albergar la totalidad de los elementos instalados, con un acceso fácil y rápido, y espacio suficiente para las labores de mantenimiento, reparación y sustitución si fuese requerido.

No se instalarán mecanismos que permitan el alzado y traslado de válvulas, bridas, etc., razón por la que se dejará suficiente altura útil, para que una grúa móvil pueda realizar estas labores.

La caseta/arqueta contará con suficiente ventilación para evitar condensaciones y ambientes viciados (rejas de ventilación).

## **2.16 CUNETA PERIMETRAL**

Tiene la finalidad de que las posibles escorrentías superficiales, tanto de las zonas de desmonte como otras que pudieran entrar en el vaso de la balsa, sean canalizadas hacia el exterior y evitar de esta forma su entrada.



Foto 7. Cuneta perimetral tipo, que protege la obra de tierra de entradas accidentales.

Además, la cuneta perimetral en la zona de terraplén permitirá evacuar las potenciales filtraciones derivadas del nivel freático, y facilitar su evacuación para preservar la integridad del dique.

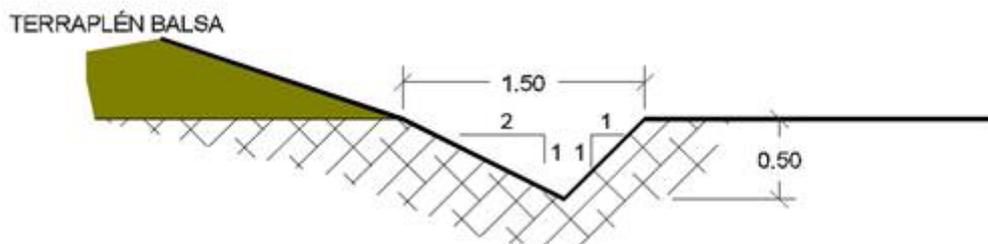


Imagen 33. Cuneta perimetral tipo ejecutada en tierra propuesta

## 2.17 CANAL DE ENTRADA

Se proyecta la ejecución de un canal de derivación, desde el canal principal según recoge la documentación gráfica.

Ambos ejes formarán un ángulo de 45°, para favorecer la transición. Es conveniente recordar que cualquier obstáculo interpuesto a la corriente genera ondas de choque transmitidas lateralmente aguas abajo del punto en que se localiza el obstáculo. Si la curva se sitúa en una zona en que el régimen de la corriente es subcrítico, los cajeros de la curva guían la corriente dando lugar a

un cambio de dirección continuo y únicamente se aprecia como perturbación el peralte superficial ocasionado por efecto de la fuerza centrífuga. Esta es la situación definida para este proyecto.

Se ejecutará en HA-30 armado con acero B500S, con muros de espesor 0,40 metros e irá cubierto con losas alveolares apoyadas en los muros, previsto para soportar carga de tráfico pesado.

Dicho canal llevará un muro intermedio que permite reconducir las líneas de corriente de forma ordenada hasta la arqueta de vertido (entrada a balsa).

Los paramentos exteriores irán impermeabilizados, con su correspondiente drenaje de pie para evitar filtraciones que puedan afectar al dique de la balsa.

## **2.18 LIMPIARREJAS Y REJA DE DESBASTE**

No se proyectan, dado que existe uno en el nacimiento del canal, y desde dicho punto hasta el punto de toma, es canal cerrado con varios sifones muy importantes en su trayecto, con lo cual no es previsible la llegada de ningún elemento (animales, ramas, etc.)

## 2.19 SANEAMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN DEL TRAMO DE CANAL PARALELO A LA Balsa

El proyecto contempla el saneamiento del canal mediante su demolición y reconstrucción, previa ejecución de los drenes de fondo y laterales, en el tramo comprendido entre la retención actualmente existente y el punto de ubicación del aliviadero del canal, con la finalidad de evitar las filtraciones posibles del mismo hacia la parcela que albergará la balsa.

Se construirán análogamente a como se ha descrito para los drenes del fondo de balsa, y a así lo recogen las partidas presupuestarias del presupuesto destinadas a tal finalidad.

## 3 IMPERMEABILIZACIÓN

La pantalla de impermeabilización tiene la función básica de impermeabilizar el vaso. Además, debe de resistir los esfuerzos mecánicos resultantes de las distintas acciones a que se ve sometida. Asociado a la impermeabilización existe un sistema de drenaje que permite detectar los posibles fallos y proteger de posibles daños derivados de la elevación de la capa freática o esporádica aparición de gases.

La impermeabilización es una parte muy importante, ya que condiciona la posibilidad de almacenar agua, garantizando la estabilidad de los taludes.

Las geomembranas son láminas flexibles e impermeables ( $k < 10^{-9}$  m/s) basadas en formulaciones químicas de polímeros y que además se caracterizan por su poco espesor (de 0,25 a varios mm) y fácil manejo e instalación. Estas características permiten su utilización como láminas impermeabilizantes, en contacto con un soporte que pueda experimentar deformaciones, como es la tierra compactada.

En la impermeabilización, resulta imprescindible la adecuada preparación del paramento de apoyo (talud, fondo), para resistir el punzonamiento del binomio geomembrana-geotextil. Consiste básicamente en la realización de las siguientes operaciones:

- Terminación de la forma más fina posible, plana, y con ausencia de elementos granulares gruesos
- Colocación de una capa de material fino pero cohesivo para que se mantenga estable en el talud, de unos 10 centímetros de espesor. La pendiente adoptada en este proyecto (3H:1V) permitirá su disposición. Si no resultase posible, se plantea una

arena gruesa estabilizada con un 2 % de betún, siempre que la lámina sea compatible con él.

Otros aspectos, además del punzonamiento a considerar son la radiación solar, la compatibilidad química, el anclaje, la succión, el oleaje y el enlace con las obras de hormigón.

### 3.1 GEOTEXTIL

Las funciones del geotextil empleado en la balsa son las siguientes:

1. Proteger a la membrana de polietileno de alta densidad del punzonamiento, bien de la grava, bien de los puntos duros, en contacto con la fábrica.
2. Funciones de filtro: retención de suelo y permitir el paso del agua con bajo gradiente. Se adopta una permeabilidad del geotextil a instalar superior en 10 veces a la del terreno (coeficientes de permeabilidad para Unidad II y Unidad III comprendidas entre  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  y  $10^{-7}$  –  $10^{-9}$  respectivamente).
3. Se autoestable frente a las sollicitaciones mecánicas, concretamente el punzonamiento. Para ello, se sigue la metodología expuesta en “Designing with geosynthetic, Robert M. Koerner”.

El factor de seguridad frente al punzonamiento, definido como el cociente entre la presión admisible por la geomembrana  $P_{adm}$  en las condiciones de trabajo, y la que se solicita  $P_{req}$ , ha de ser mayor que 3.

La presión admisible se calcula según la expresión:

$$P_{adm} = \left( f_{gm} + 0,00045 \cdot \frac{M}{H^2} \right) \cdot \left[ \frac{1}{MF_S \cdot MF_{PD} \cdot MF_A} \right] \cdot \left[ \frac{1}{RF_{CR} \cdot RF_{CBD}} \right]$$

en la que:

- $P_{adm}$  (kPa)
- $f_{gm}$  Factor que tiene en cuenta la contribución al punzonamiento, en el caso que exista una geomembrana. En este caso el valor es nulo, al no existir geomembrana en el contacto entre terreno natural y suelo
- $M$  masa del geotextil ( $g/m^2$ ) es el valor que se pretende obtener
- $H$  altura sobresaliente del material punzante (m). Se supone 0,025 m.

El resto de parámetros de la ecuación dependen de la granulometría, forma de la misma, tipo de carga y calidad del líquido que atraviesa la geomembrana, siendo estos los valores de referencia a considerar:

- $MF_S = 1,0$
- $MF_{PD} = 0,67$
- $MF_A = 0,25$
- $RF_{CBR} = 1,30$

Por otra parte, la presión solicitante en la última geomembrana, en contacto con el terreno, será la presión de la columna de agua correspondiente a la máxima carga de la balsa, o la presión de la columna de tierra más el peso del pedraplén del relleno granular de 0,50 metros, es decir:

$$2.750 \text{ kp/m}^3 \cdot 6 \text{ m} = 165,0 \text{ kPa}$$

Con ello, se obtiene:

$$M = 155,11 \text{ g/m}^2, \text{ por lo que se adopta un geotextil de } \mathbf{200 \text{ g/m}^2}.$$

En cuanto al **tipo recomendado** para este caso: geotextil no tejido, agujeteado y punzonado, resultando las siguientes características:

Tabla 9 . Resumen sistema impermeabilización propuesto

Geosintético	Material	Características
Geotextil	Polipropileno	No tejido, agujeteado y punzonado mínimo 200 g/m <sup>2</sup>
Geomembrana	PEAD	Espesor 2,0 mm, con período de duración garantizado a la exposición solar superior a 15 años

### 3.2 GEOMEMBRANA: PEAD 2 MM

La geomembrana a disponer será polietileno de alta densidad (PEAD), por ser el material más extendido, con buenos resultados y que permite el control de la soldadura en obra. Es químicamente compatible y, aunque presenta un gran coeficiente de dilatación, no presenta inconvenientes para esta tipología de obras de tierra.

La lámina es sensible al punzonamiento sobre todo “diferido” por puntos duros, piedras o gravas en general, para lo que se dispondrá la capa de material fino y el geotextil.



Imagen 34. Disposición de capa de material fino, previo al apoyo del geotextil sobre el terreno refinado. Fuente: Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra.

Se destacan varios aspectos a considerar:

- Procedimiento de unión: soldadura.
- Sistema de comprobación de soldadura: insuflado de aire entre ellas (sistema de unión mediante dos soldaduras paralelas)
- Dilatación térmica: produce un despegue-acercamiento diario de la lámina al talud, lo que exige una eficaz estabilización superficial de éste, para que el oleaje no lo vaya disgregando.

Se dispondrá, en la parte superior más expuesta, una “lámina de sacrificio”, que sirva de lugar de testificación y toma de muestras de la evolución de la lámina con el tiempo.

Se instalará impermeabilización mediante **lámina de PEAD de espesor 2 mm**.

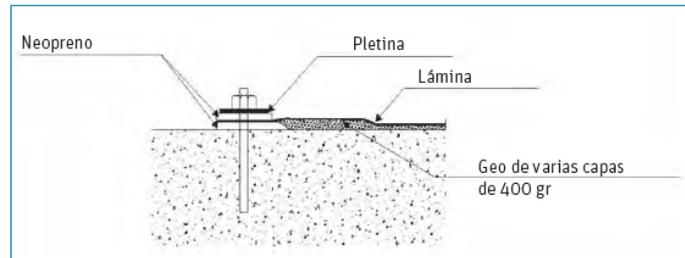
### 3.2.1 ENLACE CON OBRAS DE HORMIGÓN Y METÁLICAS

Tal y como recoge la Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra, el enlace con las obras de hormigón o metálicas es uno de los aspectos más delicados, pues es una zona de potencial riesgo de corte o desgarro de la lámina de impermeabilización.

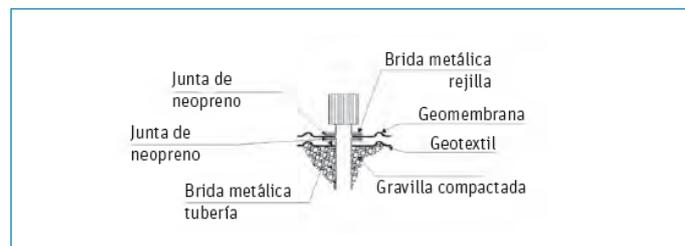
Son dos los aspectos básicos a tener en cuenta:

- Los asientos diferenciales concentrados junto a las aristas
- La fluencia de la lámina, tanto en compresión como en tracción

Se interpondrá un elemento elástico (neopreno) para la fijación con pletina, que permita asegurar el apriete y evite la filtración, reduciendo el riesgo de que la lámina quede colgada de los pernos y se desgarre antes situaciones accidentales.



▲ Figura 5.14.



▲ Figura 5.15.

Imagen 35. Sistema de anclaje en contacto con estructuras de hormigón. Fuente: Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra.



Foto 8. Anclaje de lámina a obra de hormigón.

## 4 SEGURIDAD. AUSCULTACIÓN.

Las principales causas de fallo de una balsa de riego, concebida como obra de tierra impermeabilizada, son las filtraciones y principalmente asociadas a las estructuras o conducciones que atraviesan el dique. Otras causas como el sobrevertido o deslizamientos son causas menos importantes, pero no por ello se les debe prestar una menor atención, pero no por ello se les debe prestar una menor atención.

Los procesos críticos son los siguientes:

- La erosión interna de los diques
- La erosión-disolución interna del terreno
- La erosión interna a lo largo de las estructuras que atraviesan el dique (la principal)
- La erosión interna provocada por el fallo de tuberías en presión
- El desbordamiento por: inexistencia de aliviadero, insuficiencia de aliviadero o asientos importantes en coronación
- La rotura de elementos de impermeabilización en el encuentro con las obras sumergidas

El estudio geotécnico del proyecto recoge “[...] por otra parte, dada la profundidad del nivel freático registrada en los sondeos deben de tomarse medidas encaminadas a evitar la afección del dique de cierre, tales como arranque con material grueso de tipo pedraplén o escollera fina e interposición de membranas de geotextiles.”

Se pone de manifiesto la necesidad de realizar un mantenimiento adecuado en la balsa para garantizar las condiciones de seguridad.

La evaluación de seguridad deber realizarse de forma continuada durante toda la vida de la balsa, y para ello es necesario:

- Mantenimiento rutinario y periódico del equipo de explotación y mantenimiento
- Existencia de sistema de auscultación sencillo y eficaz, básicamente control de filtraciones y posibles movimientos.
- Control de caudales y medición de nivel de agua en el embalse
- Medición de parámetros de calidad del agua, tanto a la salida como a la entrada (temperatura, conductividad, pH, turbidez, etc.)

Como recoge D. Francisco Javier Sánchez Romero, la auscultación de seguridad es la principal para las balsas, y de manera visual se tiene:

- Auscultación hidráulica: filtraciones en los drenes y observación de humedades en taludes y zonas cercanas a éstos.
- Auscultación visual: anomalías topográficas, así como grietas, signos de roturas o desgarre, discontinuidades.

Este tipo de auscultación es el principal en balsas de la tipología de la diseñada en este proyecto.

Además, **este proyecto propone una auscultación de estudio:**

- Topografía: control de puntos topográficos de forma periódica
- Inclínometría: instalación de un inclinómetro, que proporciona información sobre posibles desplazamientos. Para ello, se contempla la instalación de una tubería inclinométrica (con acanaladuras a 90 °), instalada en el interior de un sondeo, con sonda inclinométrica y sistema de adquisición de datos. Se ubicará en el punto situado, en coronación, sobre la obra que atraviesa el dique para dar salida por el fondo de balsa al agua almacenada.
- Piezometría: equipos que proporcionan información sobre la presión de agua en los poros. Se contempla también la instalación de un equipo.

Todas estas medidas se apoyan en unas buenas prácticas constructivas, y una esmerada ejecución del apoyo sobre material grueso para el arranque del terraplén, así como de los diferentes tipos de drenes propuestos, incluido el dren envuelta que atraviesa el dique.

### **Compactación terraplenes**

La compactación de los distintos materiales que componen el dique se debe realizar en función de la naturaleza del material a compactar.

En la compactación del terraplén se debe siempre ajustar la forma de compactar para que la curva de compactación en campo sea lo más parecida a la curva de laboratorio y en los casos donde se considere adecuado se obtendrá una nueva curva de compactación en obra en función del material y maquinaria empleada. Las condiciones finales del material compactado deberán ser las más parecidas al punto óptimo (humedad y densidad óptima), tratando de conseguir este punto.

Es importante llevar un control de la compactación, que en las fases iniciales deberá ser más cuidadoso y estricto para perfeccionar el método de compactación.

### **Pedraplenes**

Para este tipo de materiales el espesor de la tongada dependerá de las dimensiones de los materiales que se estén compactando, recomendándose que el tamaño del material sea como máximo 2/3 el espesor de la tongada. Es conveniente aplicar un riego para favorecer la compactación.

## **5 PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE LA BALSA**

Con la entrada en vigor del Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las Normas Técnicas de Seguridad para las presas y sus embalses, publicado en el Boletín Oficial del Estado el día 14 de abril de 2021, dichas normas han pasado a constituir la normativa de referencia en materia de seguridad y explotación de presas en España.

El artículo 4 del Real Decreto 264/2021 establece la obligatoriedad por parte de los titulares de las presas y embalses a los que se refiere el artículo 367.1 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, de solicitar atendiendo al doble criterio de sus dimensiones y al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto. Dicho artículo es de aplicación a todas las presas situadas en cauces y a sus diques de collado, que tengan una altura superior a 5 metros o capacidad de embalse superior a 100.000 metros cúbicos, sean públicas o privadas, existentes, en construcción o que se vayan a construir (Art. 367.1 del RDPH).

Por tanto, la balsa de regulación objeto de este proyecto no es susceptible de ser clasificada, dado que **NO lo requiere** según el mencionado articulado (menos de cinco metros / capacidad inferior a 100.000 m<sup>3</sup>).