ANEJO Nº 12: DISEÑO Y CÁLCULO DE LA BALSA DE REGULACIÓN Y BALSA DE ALMACENAMIENTO

ÍNDICE GENERAL

1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BALSA 1
1.1 CONSIDERACIONES GENERALES 1
1.2 DESCRIPCIÓN 2
1.3 MATERIALES EMPLEADOS 5
1.3.1 GENERALIDADES DATOS GEOTÉCNICOS 5
1.3.2 MATERIALES EMPLEADOS. DESCRIPCIÓN PARTICULAR 6
1.4 MOVIMIENTOS DE TIERRA 13
1.5 SECCIONES TIPO 16
1.6 COMPROBACIÓN DE SECCIONES TIPO 17
1.6.1 DIQUES Y TALUDES. ESTABILIDAD DE TALUDES 17
1.6.2 ESTABILIDAD TALUD PROYECTADO 19
1.7 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ÚTIL DE LA BALSA 19
1.8 FICHA TÉCNICA DE LA BALSA 20
2 CÁLCULOS HIDRÁULICOS 22
2.1 ENTRADA DE AGUA 22
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 29
2.4 ALIVIADERO DE LA BALSA 30
2.5 DRENAJES 35
2.5.1 GENERALIDADES 35
2.5.2 DREN ESTRUCTURAL: DREN DE ENVUELTA 37
2.5.3 DRENES NO ESTRUCTURALES 38
2.5.4 DRENES UTILIZADOS 42
2.6 ANCHURA DE CORONACIÓN 44
2.7 RESGUARDO 44
2.8 VÁLVULAS Y OTROS ELEMENTOS: COMPUERTA 46
2.9 OTROS ELEMENTOS: CAUDALÍMETROS 47
2.10 OTROS ELEMENTOS: VENTOSAS 47
2.11 OTROS ELEMENTOS: LASTRES 47
2.11.1 ANCLAJE PERIMETRAL 47
2.11.2 ANCLAJES TRANSVERSALES 49
2.11.3 SUCCIÓN 49
2.12 VALLA PERIMETRAL Y ELEMENTOS DE SEGUIRDAD 50

PDF Pro Trial

2.12.1 VALLA PERIMETRAL 50
2.12.2 ELEMENTOS DE SALVAMENTO 50
2.13 HIDROSIEMBRA DE TALUD 50
2.14 CASETA DE VÁLVULAS 50
2.15 CUNETA PERIMETRAL 51
3 IMPERMEABILIZACIÓN 52
3.1 GEOTEXTIL 52
3.2 GEOMEMBRANA: PEAD 2 MM 54
3.2.1 ENLACE CON OBRAS DE HORMIGÓN Y METÁLICAS 55
4 SEGURIDAD. AUSCULTACIÓN. 57
5 ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA BALSA 59
APÉNDICE 1. SIMULACIÓN DE ROTURA DE LA BALSA 60
APÉNDICE 2. FOTOGRAFÍAS DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN 61

PDF Pro Trial

ÍNDICE TABLAS

TABLA 1. PARCELAS AFECTADAS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA BALSA DE REGULACIÓN 2
TABLA 2. PARCELAS AFECTADAS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA BALSA DE ALMACENAMIENTO 3
TABLA 3. COEFICIENTE DE SEGURIDAD ESTABILIDAD TALUDES 18
TABLA 4. HIPÓTESIS DE CARGA A CONSIDERAR PARA LA ESTABILIDAD TALUDES 18
TABLA 5. VOLUMEN ACUMULADO (M^3) 19
TABLA 6. FICHA TÉCNICA DE LA BALSA REGULACIÓN 20
TABLA 7. FICHA TÉCNICA DE LA BALSA REGULACIÓN 21
TABLA 8 . RESUMEN SISTEMA IMPERMEABILIZACIÓN PROPUESTO 54

PDF Pro Trial

ÍNDICE IMÁGENES

Imagen 1. Mapa Geológico en detalle de la zona. Plano 2(pag. 389/633), recogida en el Estudio Geotécnico. 6
Imagen 2. Perfil geológico geotécnico Zona balsa de regulación. Plano 3 (pag. 396/633), recogida en el Estudio Geotécnico. 7
Imagen 3. Registro de sondeo mecánico rotativo. Fuente: Estudio Geotécnico. Pag. 422/633 8
Imagen 4. Perfil geológico geotécnico Zona balsa de Almacenamiento. Anejo 3.2 (pag. 393/633), recogida en el Estudio Geotécnico. 9
Imagen 5. Parámetros geotécnicos unidades Geotécnica en zona balsa de almacenamiento. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 172 10
Imagen 6. Parámetros de Factores de seguridad obtenidos. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 173 10
Imagen 7. Parámetros de Excavabilidad obtenidos. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 187 11
Imagen 8. Parámetros de Módulo de Balasto Horizontal. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 189 11
Imagen 9. Registro de sondeo mecánico rotativo. Fuente: Estudio Geotécnico. Pag. 417/633 12
Imagen 10. Curvado de la balsa. 13
Imagen 11. Visión 3D Balsa de regulación. 14
Imagen 12 . Análisis de Compensación de volúmenes. 14
Imagen 13. Curvado de la balsa. 15
Imagen 14. Visión 3D Balsa de Almacenamiento. 15
Imagen 15 . Análisis de Compensación de volúmenes. 16
Imagen 16. Pendientes en función de la estabilidad para taludes de desmonte. Fuente: Estudio Geotécnico, pag 356 16
Imagen 17. Pendientes en función de la estabilidad para taludes de terraplén, tanto exterior como interior. Fuente: Estudio Geotécnico, pag. 356 17
Imagen 18 . Esquema de desagüe de fondo de la balsa. 25
Imagen 19. Tiempos máximos de vaciado en función de la capacidad de la balsa. 26
Imagen 20. Datos de diámetros mínimos en función de la capacidad. 26
Imagen 21. Cuenco amortiguador. Esquema. 29
Imagen 22. Detalle de aliviadero de seguridad balsa de regulación. 30
Imagen 23. Detalle de aliviadero de seguridad balsa de almacenamiento. 31
Imagen 24. Coeficiente de variación Cv (líneas rojas) y valor medio precipitación máxima diaria anual (líneas moradas). 33
Imagen 25. Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación C_v (Fig. 3.2). Fuente: Máximas lluvias diarias en la España Peninsular (Dirección General de Carreteras – Ministerio Fomento). 33
Imagen 26. Planta de la balsa regulación. Zonificación drenajes. 35
Imagen 27. Planta de la balsa Almacenamiento. Zonificación drenajes. 36
Imagen 28. Sección tipo de drenaje de fondo y dren envuelta 38
Imagen 29. Disposición clásica en espina de pez. 39
Imagen 30. Disposición clásica mediante zanja drenante. 39
Imagen 31. 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. 41
Imagen 32. Detalle de anclaje en coronación de la lámina y geotextil. 45

PDF Pro Trial

IMAGEN 33. TABLA CURVAS LÍMITE DE VELOCIDAD VÁLVULAS DE MARIPOSA 46

IMAGEN 34. DETALLE DE ANCLAJE LÁMINA PEAD EN CORONACIÓN..... 48

IMAGEN 35. TABLA DE DIMENSIONES DE ZANJA Y ENTREGA DE LA GEOMEMBRANA, Y PROFUNDIDAD MÍNIMA PARA ANCLAJES..... 48

IMAGEN 36. CUNETA PERIMETRAL TIPO EJECUTADA EN TIERRA PROPUESTA..... 51

IMAGEN 37. 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. 54

IMAGEN 38. SISTEMA DE ANCLAJE EN CONTACTO CON ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. FUENTE: GUÍA PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE BALSAS DE TIERRA. 55

PDF Pro Trial

ÍNDICE FOTOS

FOTO 1. DRENAJE DE FONDO. SECCIÓN TIPO 40
FOTO 2. DRENAJE PERIMETRAL OBRA DE HORMIGÓN DE LA TOMA DE FONDO..... 40
FOTO 3. DISPOSICIÓN DE ROMPEOLAS EN CAMINO DE CORONACIÓN DE BALSA. 45
FOTO 4. TIPO DE ANCLAJE PROPUESTO, TANTO PARA TALUDES COMO PARA FONDO DE BALSA. 49
FOTO 5. CUNETA PERIMETRAL TIPO, QUE PROTEGE LA OBRA DE TIERRA DE ENTRADAS ACCIDENTALES..... 51
FOTO 6. ANCLAJE DE LÁMINA A OBRA DE HORMIGÓN..... 56

PDF Pro Trial

PDF Pro Trial

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 a 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.

PDF Pro Trial

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

En la actuación que nos ocupa se proyectan dos balsas, una regulación y otra de almacenamiento, cada una de ellas con sus particularidades que iremos identificando a lo largo de este anejo.

BALSA DE REGULACIÓN

La balsa se encuentra situada en el término municipal de Melgar de Yuso (Palencia), en las parcelas que se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 1. Parcelas afectadas por la construcción de la balsa de regulación

Provincia	*T.M.*	***Polígono***	***Parcela***	*Referencia Catastral*	*Superficie catastral (m^2)*
Palencia	Melgar de Yuso	11	41	34104A011000410000YD	17.192,00
Palencia	Melgar de Yuso	11	42	34104A011000420000YX	11.086,00
Palencia	Melgar de Yuso	11	43	34104A011000430000YI	15.525,00

El emplazamiento es una zona de pendiente muy suave, que unido con las cotas necesarias para la aspiración de las bombas no permiten la compensación de tierras y obligando a un desmonte en su totalidad. 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 **42.701,22 m^3**. Se dispondrá un geotextil de **400 g/m^2** 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, etc.).

PDF Pro Trial

Los taludes, tal y como recoge el estudio geotécnico y las comprobaciones de estabilidad realizadas serán, en todas las circunstancias, **3H:1V**.

El talud se construye siguiendo las recomendaciones reflejadas en el estudio geotécnico, y derivadas del nivel freático.

No se contempla una rampa de acceso al fondo, al no tener mucha profundidad y la posibilidad de acceder con un mini-excavadora desde la entrada del agua a la balsa.

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.

En caso de tener que desaguar, dispone del desagüe de seguridad a la cota 784,90 que se encuentra conectado al desagüe de fondo de la misma y que vierte a un cauce natural..

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 es, una para la salida del desagüe de la balsa en caso de emergencia, y la compuerta de tipo mural ubicada a la entrada de la arqueta de filtrado permitiendo aislara la balsa con la estación de bombeo. Estas se automatizan para dichas funciones de apertura y cierre.

Con respecto a la entrada de agua a la balsa, se puede regular con las compuertas de tipo mural ubicadas en la toma de agua del canal.

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.

BALSA DE ALMACENAMIENTO

La balsa se encuentra situada en el término municipal de Melgar de Yuso (Palencia), en las parcelas que se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 2. Parcelas afectadas por la construcción de la balsa de almacenamiento

Provincia	*T.M.*	***Polígono***	***Parcela***	*Referencia Catastral*	*Superficie catastral (m^2)*
Palencia	Melgar de Yuso	10	26	34104A010000260000YO	154.431,00
Palencia	Melgar de Yuso	10	25	34104A010000250000YM	39.528,00
Palencia	Melgar de Yuso	10	24	34104A010000240000YF	44.954,00
Palencia	Melgar de Yuso	10	23	34104A010000230000YT	34.821,00
Palencia	Melgar de Yuso	10	22	34104A010000220000YL	45.181,00
Palencia	Melgar de Yuso	10	12	34104A010000120000YW	21.186,00

PDF Pro Trial

El emplazamiento es una zona de pendiente que permite la compensación de tierras en una gran parte 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 **326.256,72 m^3**. Se dispondrá un geotextil de **400 g/m^2** 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, en todas las circunstancias, **3H:1V**.

El talud se construye siguiendo las recomendaciones reflejadas en el estudio geotécnico, y derivadas del nivel freático.

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 %. En este caso particular, tiene una longitud de 70 metros y una anchura de 5 m, con una pendiente del 6,5 % (salva desnivel de 12 metros (cota 855 a 843 msnm)). Además se proyecta una playa de hormigón en base de 400 m^2.

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.

En caso de tener que desaguar, se diseñan si es por cota máxima de seguridad (cota 854 msnm) un aliviadero que es continuado por una tubería de 600 mm que luego conectará con el desagüe principal. Si necesitamos un desagüe de emergencia, se proyecta una desagüe de fondo (cota 843,60 msnm) con una tubería de 800 mm que conecta con un desagüe natural ya existente.

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 2.000 mm para dichas funciones.

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.

PDF Pro Trial

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.

PDF Pro Trial

1.3.2 MATERIALES EMPLEADOS. DESCRIPCIÓN PARTICULAR

BALSA DE REGULACIÓN

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

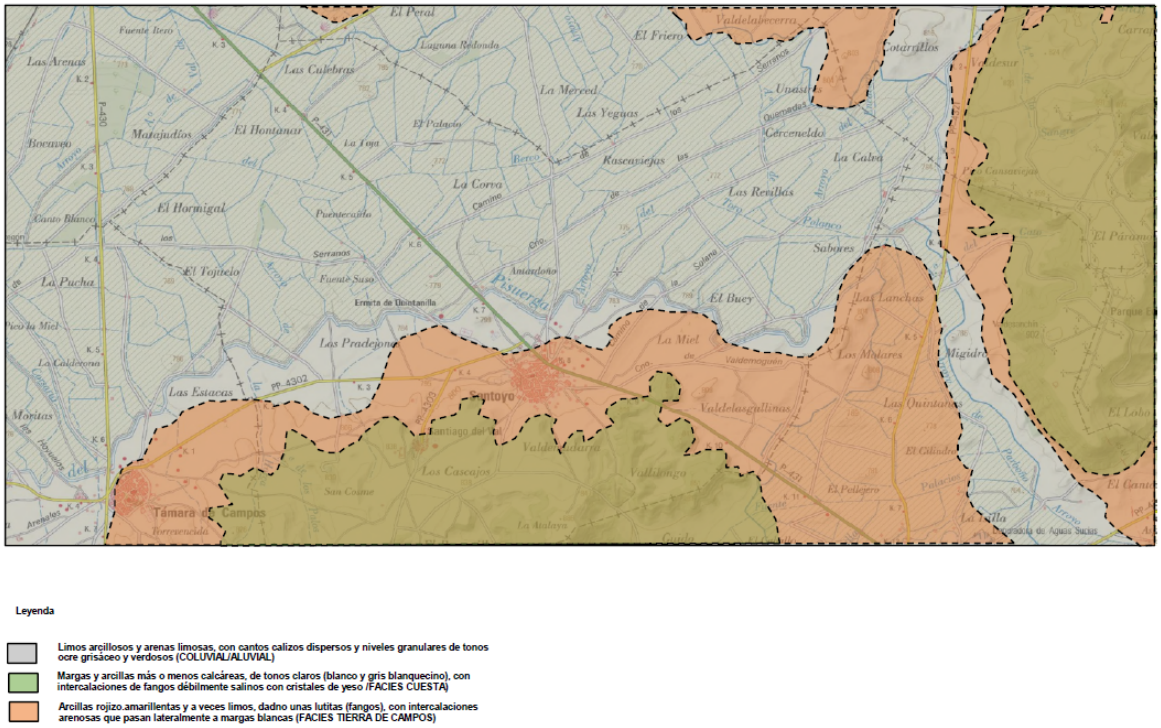


Imagen 1. *Mapa Geológico en detalle de la zona. Plano 2(pag. 389/633), recogida en el Estudio Geotécnico.*

PDF Pro Trial

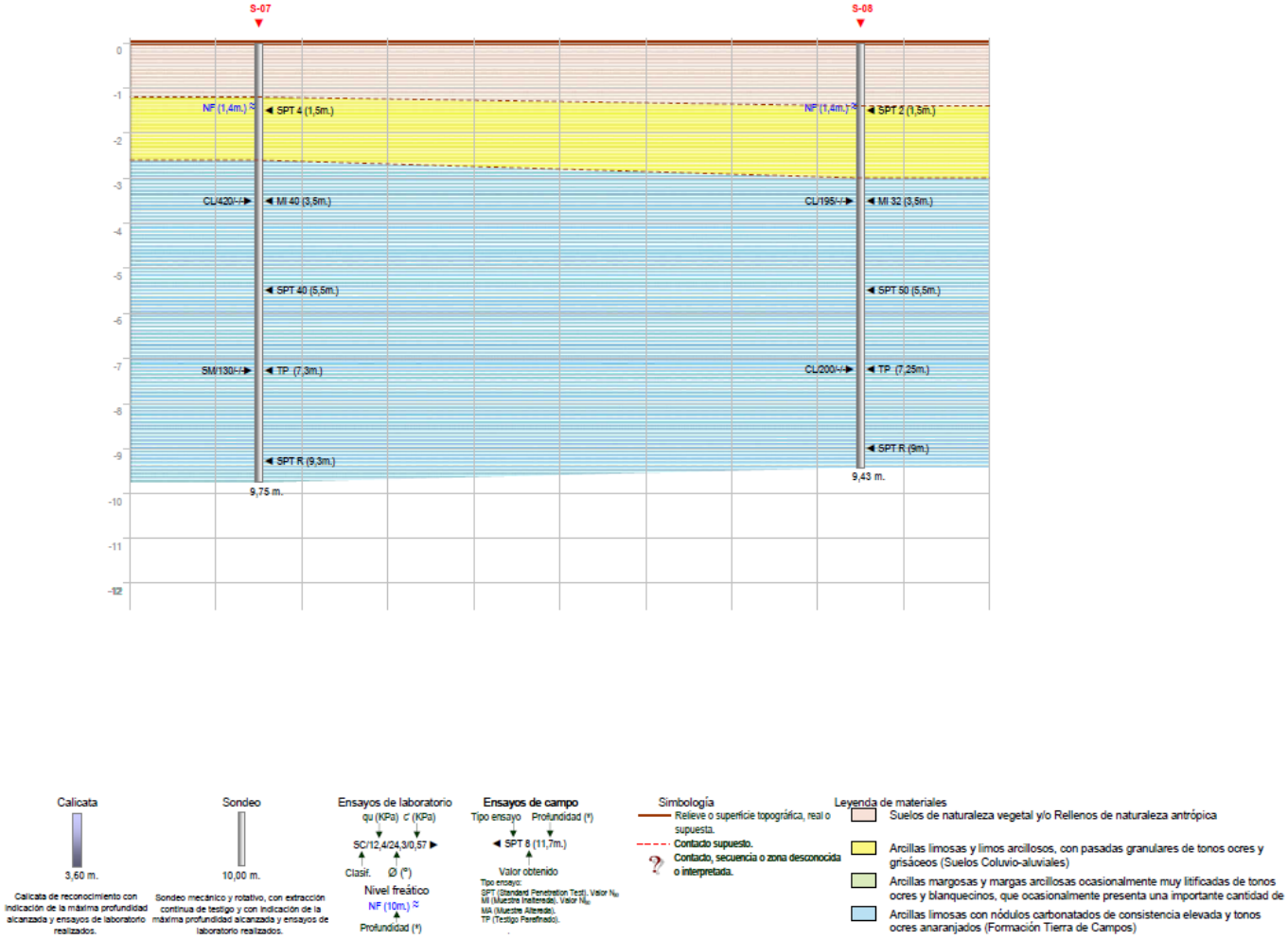


Imagen 2. *Perfil geológico geotécnico Zona balsa de regulación. Plano 3 (pag. 396/633), recogida en el Estudio Geotécnico.*

PDF Pro Trial

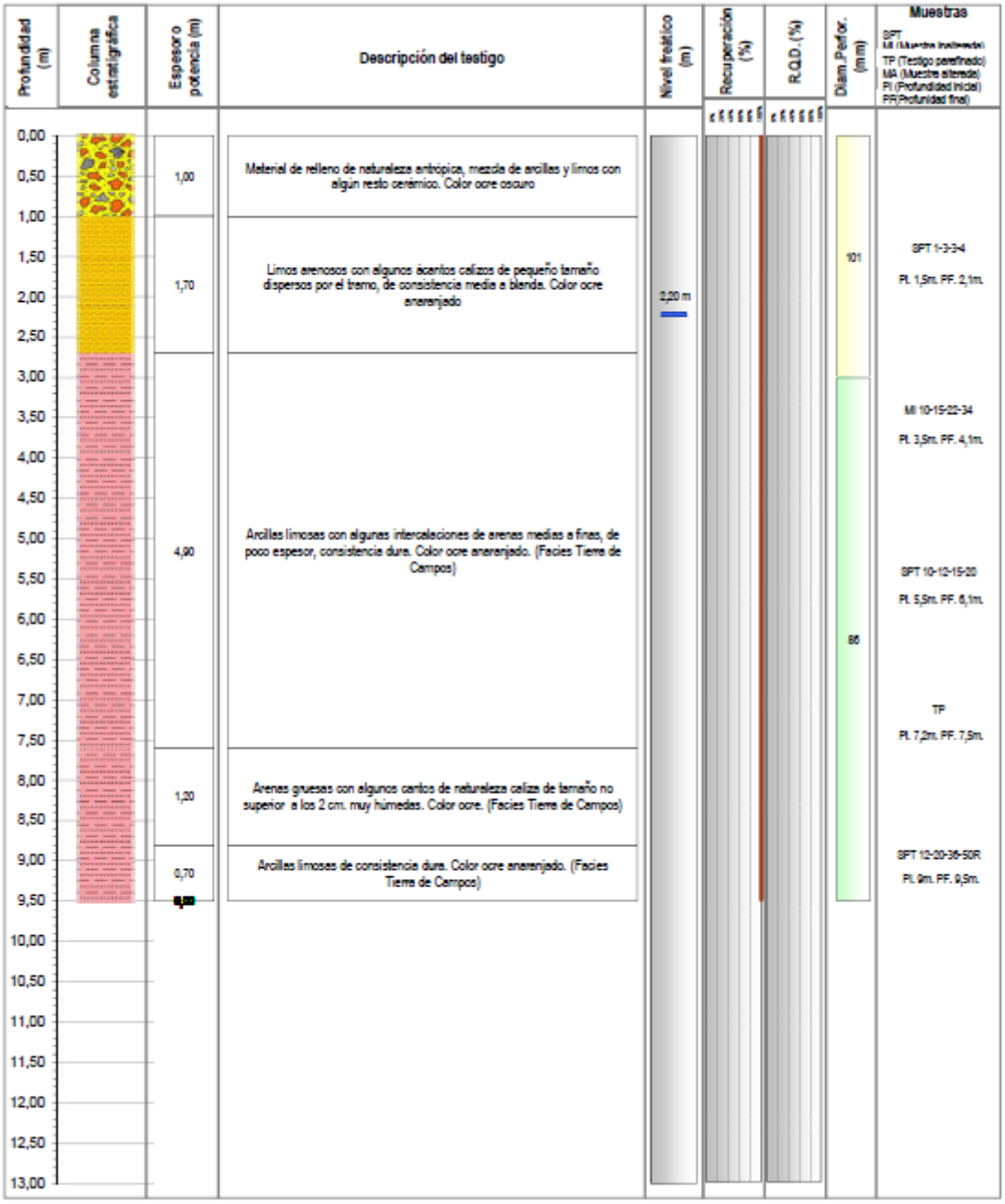


Imagen 3. Registro de sondeo mecánico rotativo. Fuente: Estudio Geotécnico. Pag. 422/633

PDF Pro Trial

BALSA DE ALMACENAMIENTO

Con respecto al perfil geológico geotécnico:

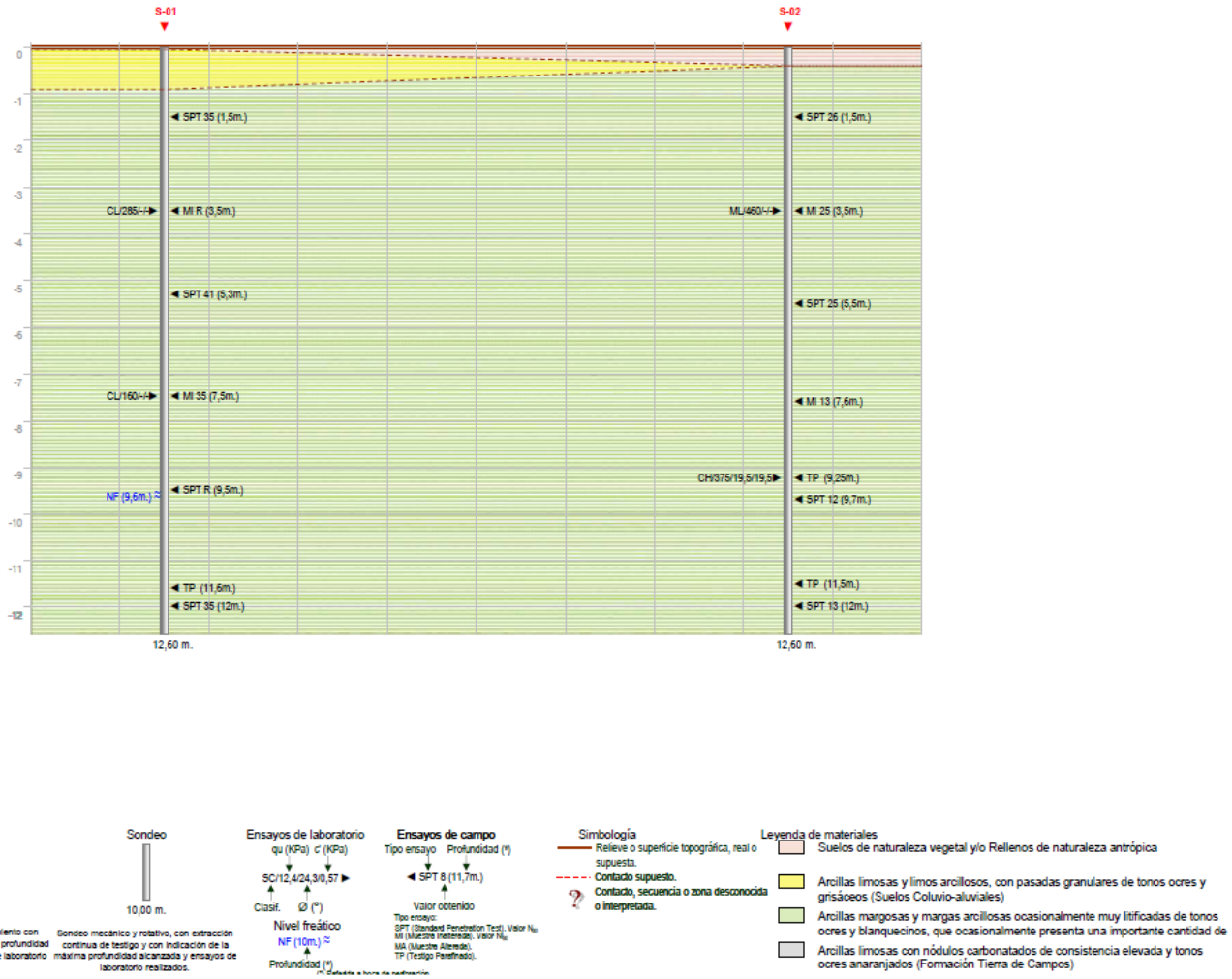


Imagen 4. Perfil geológico geotécnico Zona balsa de Almacenamiento. Anejo 3.2 (pag. 393/633), recogida en el Estudio Geotécnico.

En las prospecciones realizadas (estudio geotécnico) se han detectado las siguientes unidades geotécnicas:

a. UG.1, definida como Suelos de naturaleza vegetal y/o rellenos de naturaleza antrópica, con un espesor de 0,40 m

b. UG.2, definida como Arcillas limosas y limos arcillosas, con pasadas granulares de tonos ocres y grisáceos (Suelos coluvio-aluviales), con un espesor de 0,50 m

PDF Pro Trial

c. UG.3, definida como Arcillas margosas y margas arcillosas ocasionalmente muy litificadas de tonos ocres y blanquecinos que puede presentar una importante cantidad de yesos y niveles de calizas de orden decimétrico

Tabla 172. Parametrización utilizada

Unidad geotécnica	*Densidad aparente o natural(KN/m3)*	*Cohesión (KPa)*	*Ángulo de rozamiento interno (º)*
UG.1	**16,00**	**2,00**	**16,00**
UG.2	**20,50**	**5,00**	**30,00**
UG.3 Estado natural	**21,00**	**27,00**	**21,00**
Rellenos de Terraplén	**20,00**	**13,00**	**21,00**

Imagen 5. Parámetros geotécnicos unidades Geotécnica en zona balsa de almacenamiento. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 172

Con respecto a la estabilidad de taludes de desmonte y de terraplén de la balsa, los valores obtenidos del estudio geotécnico son:

Tabla 173. Factores de seguridad obtenidos

Situación	*Factor de seguridad requerido (según instrucción)*	*Factor de seguridad obtenido en talud en desmonte*	*Factor de seguridad obtenido en el talud interior de terraplén*	*Factor de seguridad obtenido en el talud exterior de terraplén*
Construcción	**1.3**	**2,57**	**2,00**	**1,89**
Embalse lleno	**1.5**	**1,82**	**1,98**	**1,88**
Desembalse rápido	**1.1**	**1,82**	**1,98**	**1,88**

Imagen 6. Parámetros de Factores de seguridad obtenidos. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 173

PDF Pro Trial

Los parámetros de excavabilidad se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 187. Excavabilidad.

Unidad Geotécnica	Definición	Excavabilidad
UG.1	Suelos de naturaleza vegetal y/o Rellenos de naturaleza antrópica	Excavación manual
UG.2	Arcillas limosas y limos arcillosos, con pasadas granulares de tonos ocres y grisáceos (Suelos Coluvio-aluviales)	Maquinaria común
UG.3	Arcillas margosas y margas arcillosas ocasionalmente muy litificadas de tonos ocres y blanquecinos, que ocasionalmente presenta una importante cantidad de yesos y niveles calizos de orden decimétrico (Formación Cuesta)	Maquinaria común. Podrá ser necesario el uso de martillo neumático para sobrepasar los niveles calizos referios
UG.4	Arcillas limosas con nódulos carbonatados de consistencia elevada y tonos ocres anaranjados (Formación Tierra de Campos)	Maquinaria común

Imagen 7. Parámetros de Excavabilidad obtenidos. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 187

Finalmente, en la zona de actuación de la balsa de almacenamiento los valores de módulo de balasto en las unidades geotécnicas son:

Tabla 189. Módulo de Balasto Horizontal

Unidad geotécnica	*Cohesión efectiva*	*Angulo rozamiento efectivo*	*Módulo de balasto horizontal*
-	*c'* *T/m³*	*ϕ'* *°*	*T/m³*
UG-1	0,00	16,0	1100
UG-2	1,00	19,0	1500
UG-3	3,00	18,0	1800

Tabla 189. Módulo de Balasto Horizontal

Unidad geotécnica	*Cohesión efectiva*	*Angulo rozamiento efectivo*	*Módulo de balasto horizontal*
UG-4	2,50	18,0	1750
c' (cohesión efectiva) y ϕ' (ángulo de rozamiento interno efectivo)			

Imagen 8. Parámetros de Módulo de Balasto Horizontal. Fuente: Estudio Geotécnico. Tabla 189

PDF Pro Trial

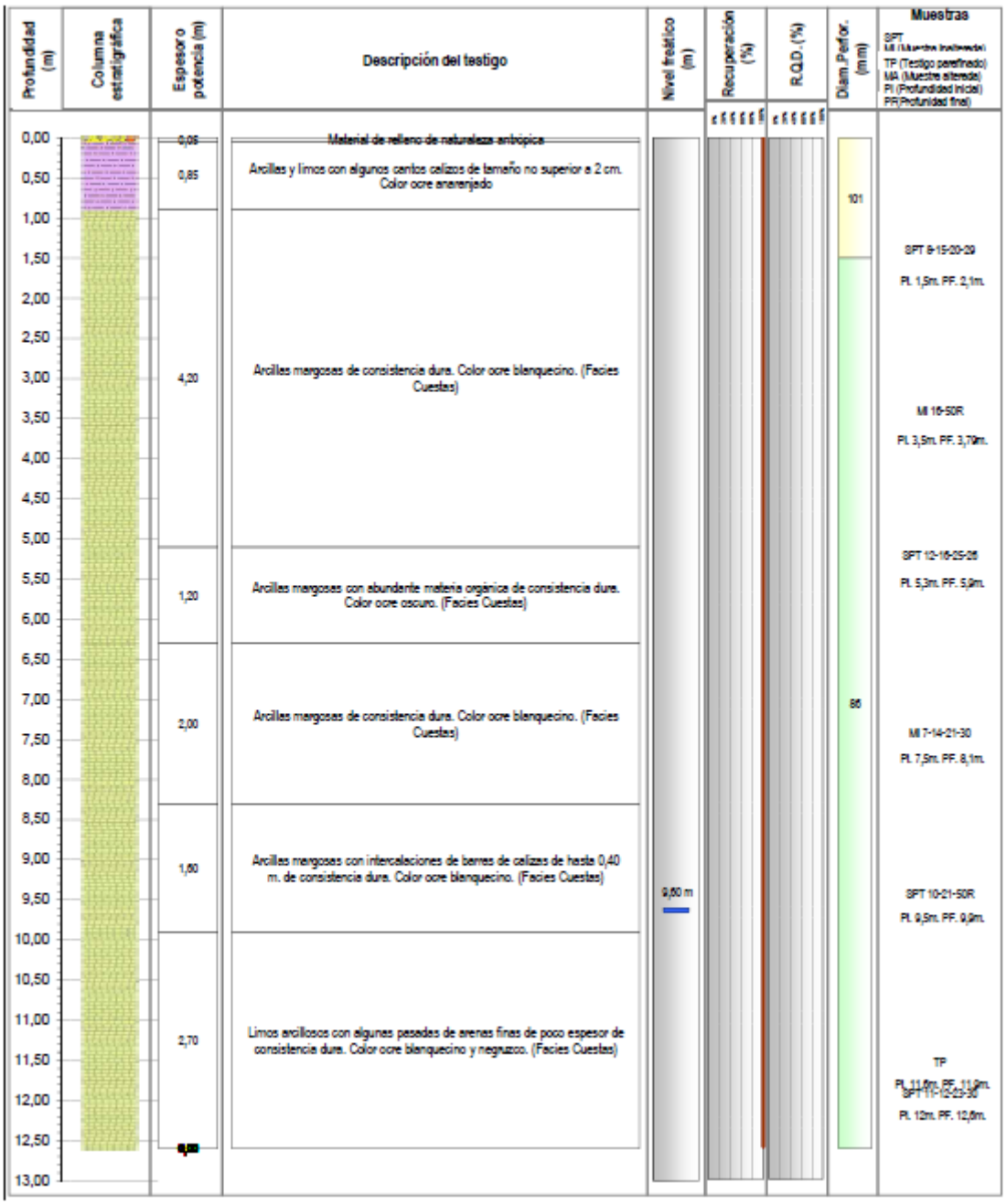


Imagen 9. Registro de sondeo mecánico rotativo. Fuente: Estudio Geotécnico. Pag. 417/633

PDF Pro Trial

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 desmonte 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.

BALSA DE REGULACIÓN

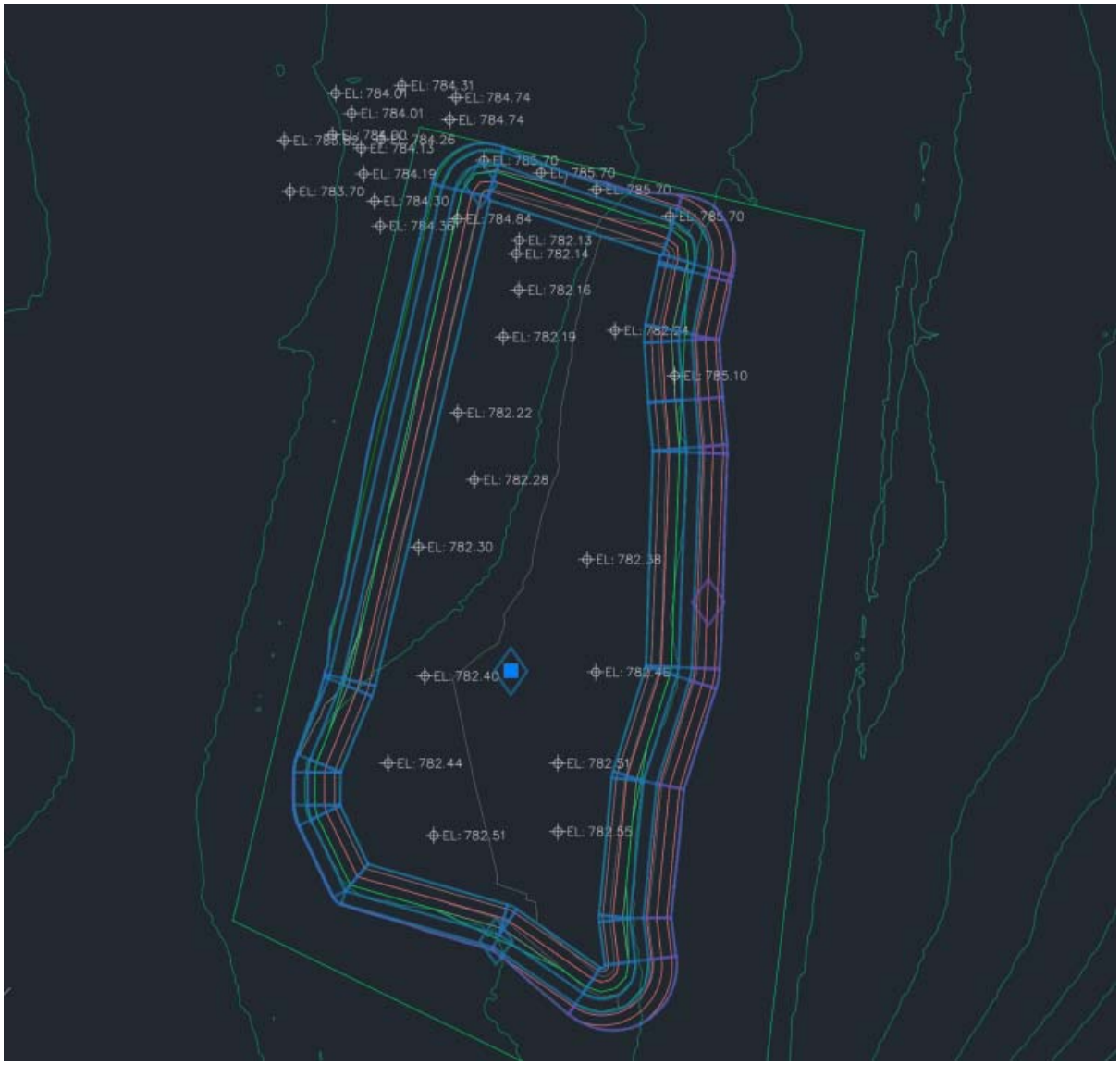


Imagen 10. Curvado de la balsa.

PDF Pro Trial

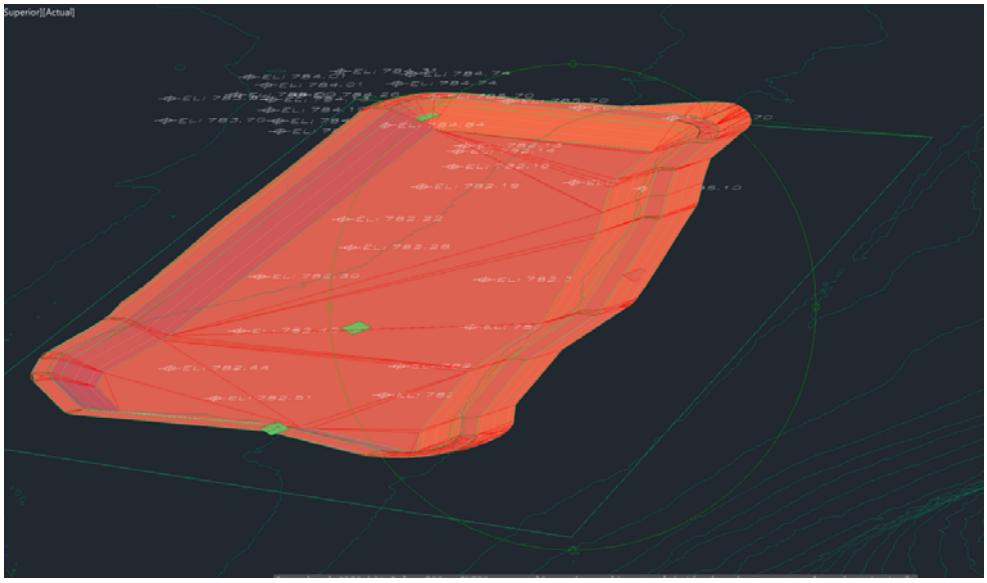


Imagen 11. Visión 3D Balsa de regulación.

Imagen 12 . Análisis de Compensación de volúmenes.

PDF Pro Trial

BALSA DE ALMACENAMIENTO

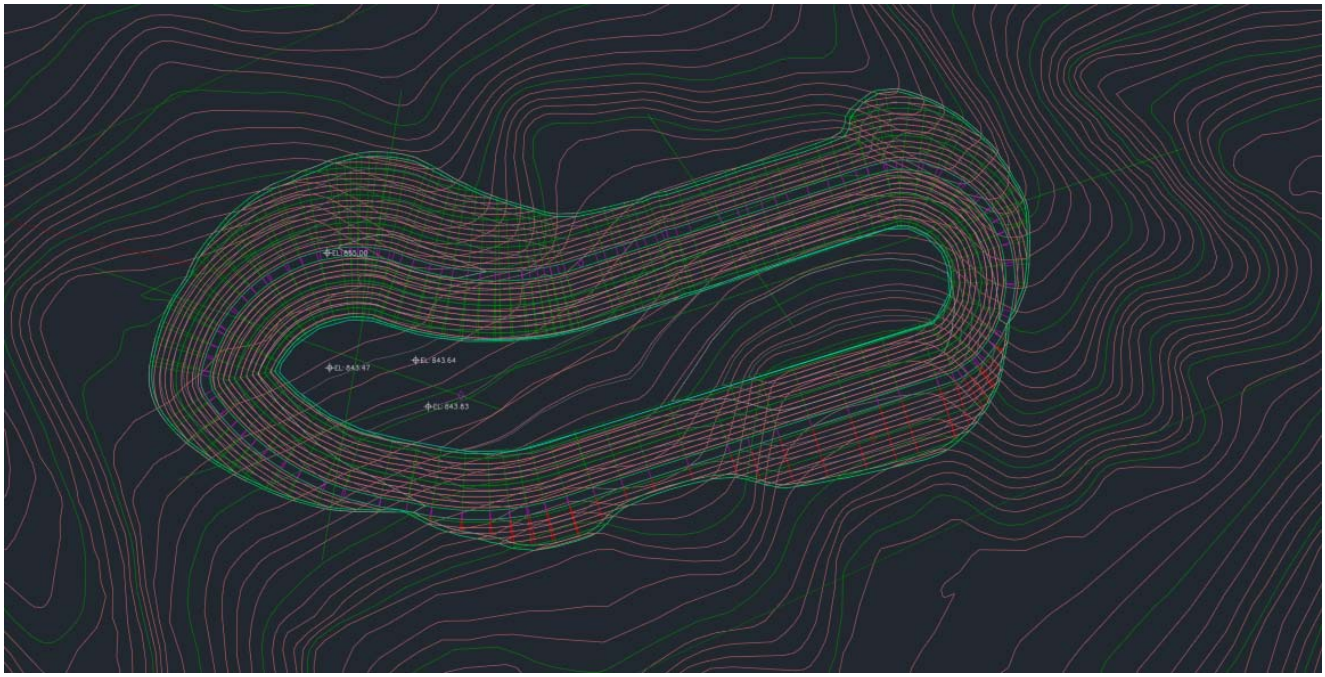


Imagen 13. Curvado de la balsa.

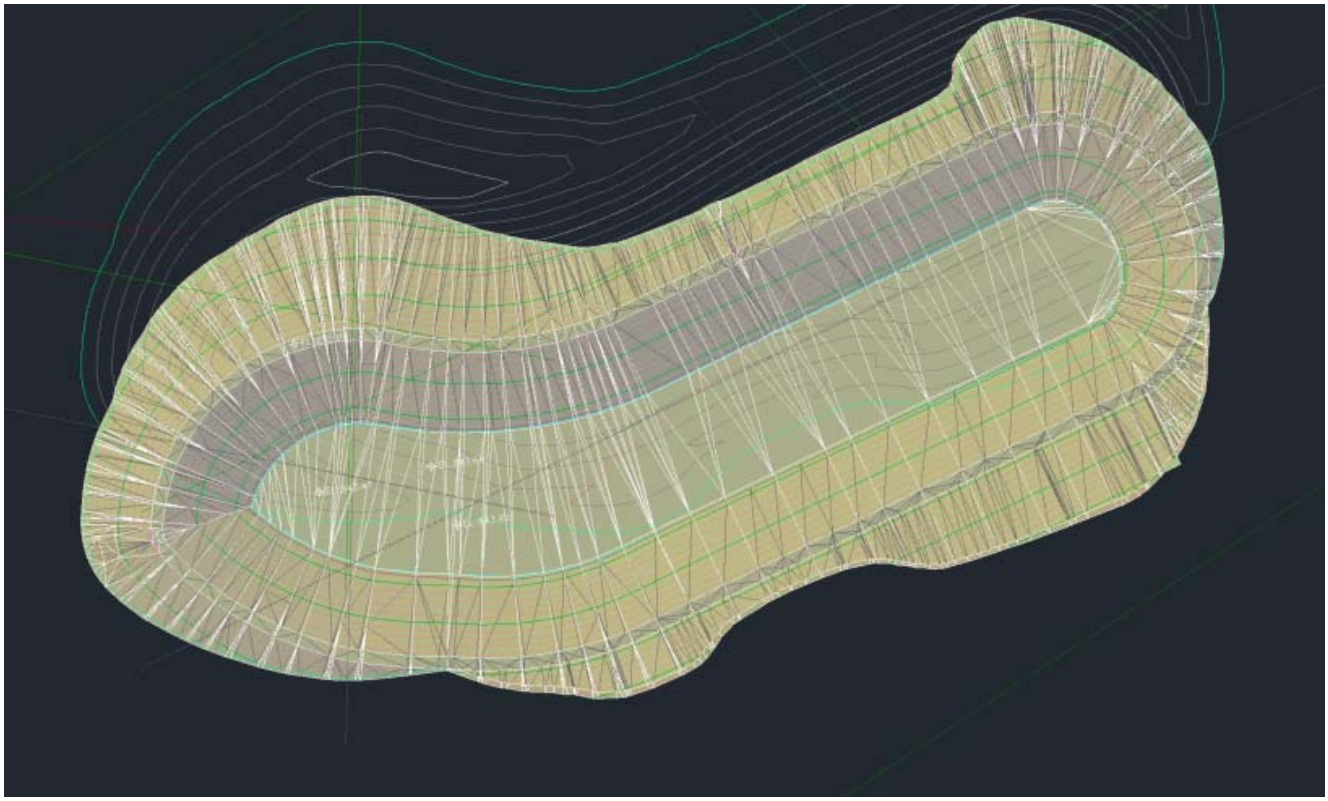
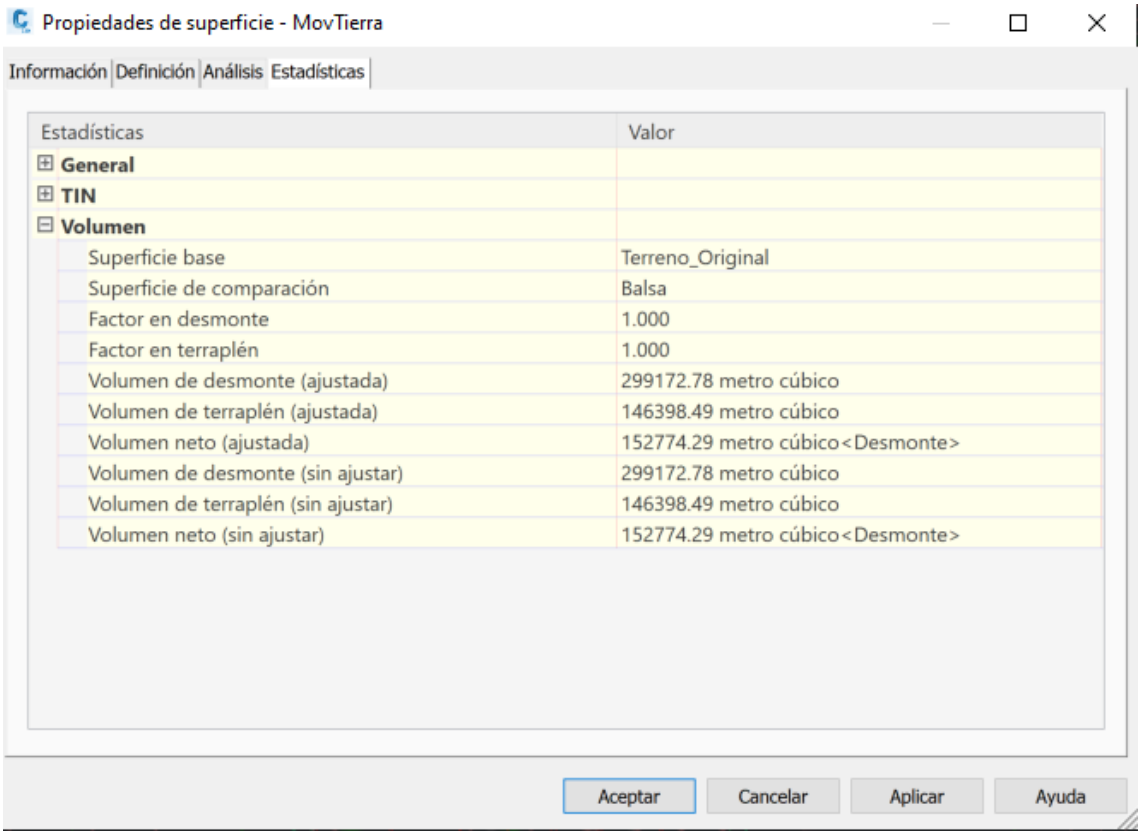


Imagen 14. Visión 3D Balsa de Almacenamiento.

PDF Pro Trial



Estadísticas	Valor
General	
TIN	
Volumen	
Superficie base	Terreno_Original
Superficie de comparación	Balsa
Factor en desmonte	1.000
Factor en terraplén	1.000
Volumen de desmonte (ajustada)	299172.78 metro cúbico
Volumen de terraplén (ajustada)	146398.49 metro cúbico
Volumen neto (ajustada)	152774.29 metro cúbico<Desmonte>
Volumen de desmonte (sin ajustar)	299172.78 metro cúbico
Volumen de terraplén (sin ajustar)	146398.49 metro cúbico
Volumen neto (sin ajustar)	152774.29 metro cúbico<Desmonte>

Imagen 15 . Análisis de Compensación de volúmenes.

1.5 SECCIONES TIPO

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

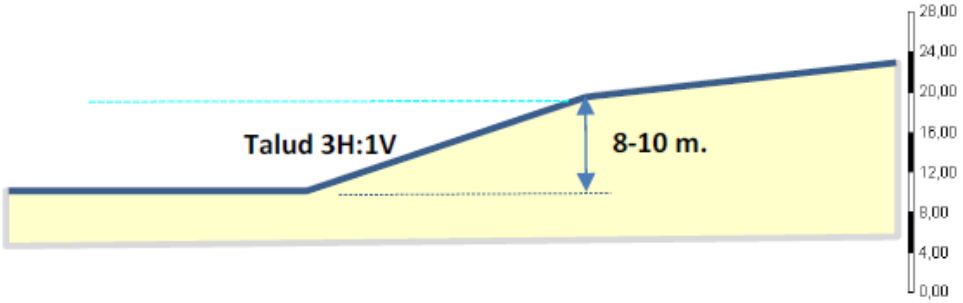


Imagen 16. Pendientes en función de la estabilidad para taludes de desmonte. Fuente: Estudio Geotécnico, pag 356

PDF Pro Trial

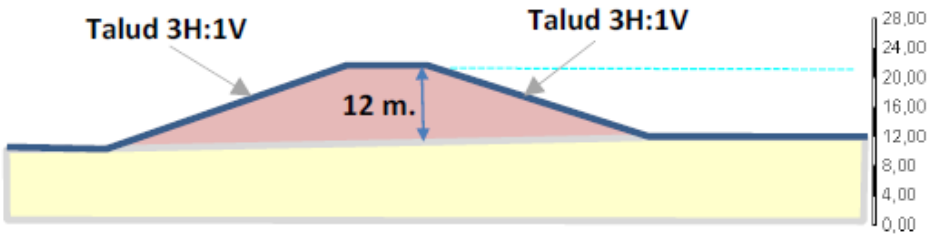


Imagen 17. Pendientes en función de la estabilidad para taludes de terraplén, tanto exterior como interior. Fuente: Estudio Geotécnico, pag. 356

Los planos nº 18 y 19 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

PDF Pro Trial

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:

Tabla 3. Coeficiente de seguridad estabilidad taludes

Tipo de situación	*Coeficiente de seguridad*
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:

Tabla 4. Hipótesis de carga a considerar para la estabilidad taludes

Balsas impermeabilizadas con geomembranas	
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.

En este caso particular, tal y como se refleja en el estudio geotécnico en la página 49 en los sondeos realizados, una vez finalizada la perforación se ha procedido a la colocación de tubería piezométrica de PVC, con el fin de realizar un seguimiento y control del nivel freático durante la

PDF Pro Trial

campaña y una vez finalizada ésta. Para ello además de la instalación de la tubería se ha procedido a instalar una tapa metálica como medida de protección de la embocadura de los sondeos.

1.6.2 ESTABILIDAD TALUD PROYECTADO

Tal y como se refleja en el Estudio geotécnico, los taludes previstos, tanto del dique de cierre como de los taludes del vaso serán del tipo 3H:1V, y en los desmontes que sobrepasen los 5 m se prevé hacer bermas.

1.7 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ÚTIL DE LA BALSA

A continuación, se expone la tabla que recogen el volumen útil de cada balsa:

Tabla 5. Volumen acumulado (m^3)

Identificación de la Balsa	m^3
Balsa de Regulación	42.701
Balsa de Almacenamiento	326.256

PDF Pro Trial

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 Regulación

Nº	Concepto	
1	Superficie total ocupada por la balsa (m^2)	25.602,00
2	Cota de coronación (m.s.n.m.)	785,70
3	Cota del alivio (m.s.n.m.)	784,70
4	Anchura de coronación (m)	5,0
5	Cota de fondo (m.s.n.m.)	782,13
6	Cota lámina de agua (N.M.O.) (m.s.n.m.)	784.70
7	Altura de agua (N.M.O.) (m)	2,57
8	Volumen total de agua almacenado (m^3)	42.701
9	Volumen de agua útil (N.M.O.) (m^3)	42.701
10	Volumen de agua no útil (m^3)	0,0
11	Resguardo sobre N.M.O. (m)	1,0
12	Superficie de fondo de balsa (m^2)	25.231,72
13	Superficie taludes interiores (m^2)	5.813,73
14	Perímetro fondo de balsa (m)	552,88
15	Superficie lámina de agua (N.M.O.) (m^2)	18.826,85
16	Superficie Camino coronación(m^2)	2.919,40
17	Perímetro arista de coronación (m)	583,88,0
18	Talud interior desmonte (H:V)	3:1
19	Talud interior terraplén (H:V)	3:1
20	Talud exterior (H:V)	3:1
21	Volumen desmonte total(m^3)	76.301,99
22	Volumen terraplén (m^3)	955,18
23	Volumen rampa bajada	-
24	Volumen tierra natural necesario para formación terraplén	909,69
25	Volumen tierra sobrante (m^3)	75346,81
26	Volumen tierra vegetal (m^3)	10.092,69
27	Espesor supuesto tierra vegetal (m), según E. Geotécnico	0,40
33	Superficie total a impermeabilizar: Fondo / Taludes (m^2)	24.793,43
34	Longitud coronación con murete rompeolas (m)	565,24
35	Rampa de acceso a fondo de balsa	NO

PDF Pro Trial

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

Tabla 7. Ficha técnica de la balsa Regulación

Nº	Concepto	
1	Superficie total ocupada por la balsa (m^2)	83.567,88
2	Cota de coronación (m.s.n.m.)	855,00
3	Cota del alivio (m.s.n.m.)	854,00
4	Anchura de coronación (m)	5,0
5	Cota de fondo (m.s.n.m.)	843,50
6	Cota lámina de agua (N.M.O.) (m.s.n.m.)	854,00
7	Altura de agua (N.M.O.) (m)	10,50
8	Volumen total de agua almacenado (m^3)	326.256
9	Volumen de agua útil (N.M.O.) (m^3)	326.256
10	Volumen de agua no útil (m^3)	0,0
11	Resguardo sobre N.M.O. (m)	1,0
12	Superficie de fondo de balsa (m^2)	81.048,36
13	Superficie taludes interiores (m^2)	28.998,38
14	Perímetro fondo de balsa (m)	814,25
15	Superficie lámina de agua (N.M.O.) (m^2)	48.386,96
16	Superficie Camino coronación(m^2)	5.117,48
17	Perímetro arista de coronación (m)	1.023,47
18	Talud interior desmonte (H:V)	3:1
19	Talud interior terraplén (H:V)	3:1
20	Talud exterior (H:V)	3:1
21	Volumen desmonte total(m^3)	299.172,78
22	Volumen terraplén (m^3)	146.398,49
23	Volumen rampa bajada	11.576,25
24	Volumen tierra natural necesario para formación terraplén	139.427,13
25	Volumen tierra sobrante (m^3)	159.745,65
26	Volumen tierra vegetal (m^3)	32.419,34
27	Espesor supuesto tierra vegetal (m), según E. Geotécnico	0,40
33	Superficie total a impermeabilizar: Fondo / Taludes (m^2)	134.584,50
34	Longitud coronación con murete rompeolas (m)	1.023,47
35	Rampa de acceso a fondo de balsa	SI

PDF Pro Trial

2 CÁLCULOS HIDRÁULICOS

2.1 ENTRADA DE AGUA

BALSA DE REGULACIÓN

Se proyecta una entrada de agua a la balsa mediante un canal de hormigón desde la obra de toma hasta la entrada de la balsa, mediante un vertido directo sobre la lámina de impermeabilización mediante arqueta de laminación con vertedero enrasado con la cota de 782,33 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 describer 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.

BALSA DE ALMACENAMIENTO

Se proyecta una entrada de agua a la balsa mediante una toma de fondo, que consiste en un tubo de DN. 2.000 con cota de salida de 844,00 msnm.

A diferencia con la balsa de regulación que se llenaba desde el canal por gravedad, a esta balsa de almacenamiento se le alimenta desde la estación de bombeo (cota: 780,00 msnm), paro lo cual si necesitamos energía.

PDF Pro Trial

2.2 SALIDA DE AGUA A RIEGO

2.2.1 SALIDA A RIEGO

En ambas balsa, tanto de regulación como de almacenamiento la salida de agua de las mismas se realiza a traves de una toma de fondo que es continuado por un tubo DN. 2.000 mm. Se les proyecta rejilla de protección que impide el paso de elementos grueso.

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

La unión de la geomembrana al hormigón presenta la posibilidad de un corte de la geomembrana, consecuencia de los posibles asientos 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 disponsición 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 despegue del hormigón al consolidar en el tiempo.

PDF Pro Trial

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.

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 superiors 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 deldique, 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.

PDF Pro Trial

El diámetro de la tubería de salida determinado en el cálculo es de **2.000 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, envulta 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 ecnómico, pero los tiempos de respuesta serán más largos, y la balsa se mantedrá 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.

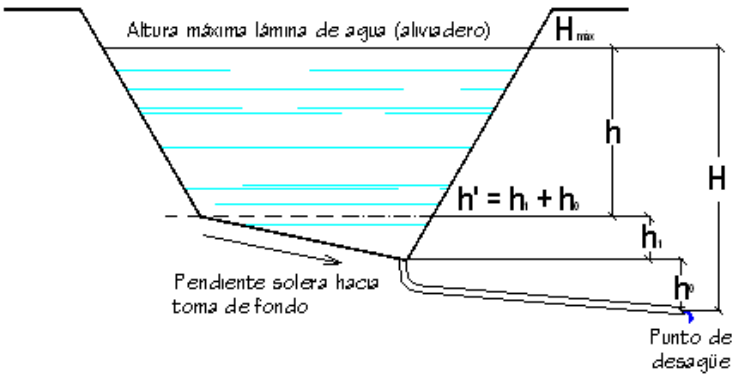


Imagen 18 . Esquema de desagüe de fondo de la balsa.

PDF Pro Trial

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 posiblidad 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 rectilíneas 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 emplerará 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 comportamietno 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 m^3	48 horas (2 días)
250 000m^3 ≤ V <1 000 000 m^3	96 horas (4 días)
1 000 000m^3≤ V< 3 000 000 m^3	120 horas (5 días)

Imagen 19. Tiempos máximos de vaciado en función de la capacidad de la balsa.

Volumen (m^3)	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

Imagen 20. 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. Se establece como tiempo de vaciado **2 días**.

PDF Pro Trial

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:

$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + h'$; donde h' 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:

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

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

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

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

PDF Pro Trial

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

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	Coeficiente de Manning (n_{HPCC} = 0,016)
L	Longitud de la conducción de desagüe
K	Coeficiente de péridas de carga

Una vez realizados los calculos obtenemos para:

Balsa de regulación

El tiempo máximo de evacuación para la situación de balsa llena es de **13,34 horas (valor próximo a 0,5 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**.

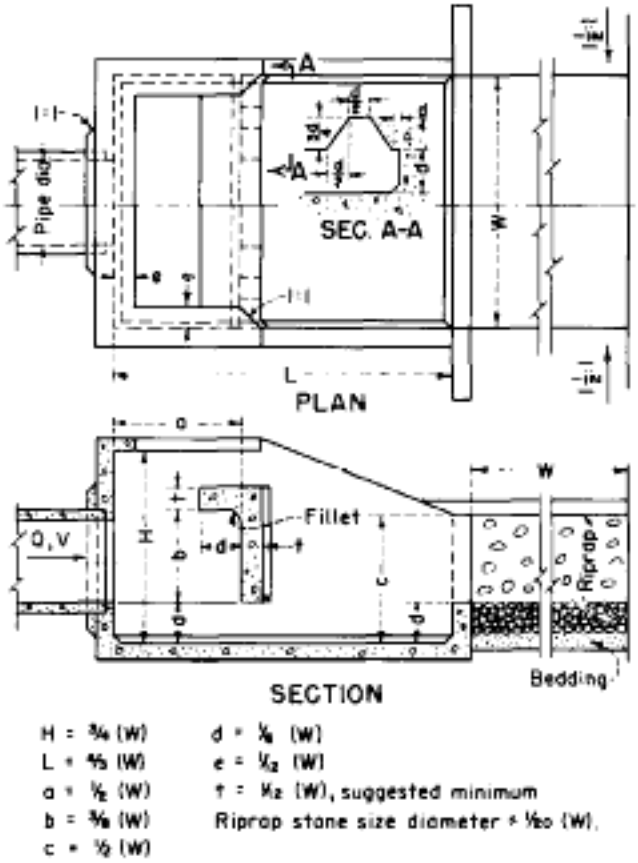
Balsa de almacenamiento

El tiempo máximo de evacuación para la situación de balsa llena es de **46,34 horas (valor próximo a 2,0 días)**, que permite estar del lado de la seguridad ante una situación de emergencia. Para ello, la **tubería** requiere un **diámetro de 800** mm, de **acero helicosoldado** y **espesor 10 mm**.

PDF Pro Trial

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 suguiente esquema:



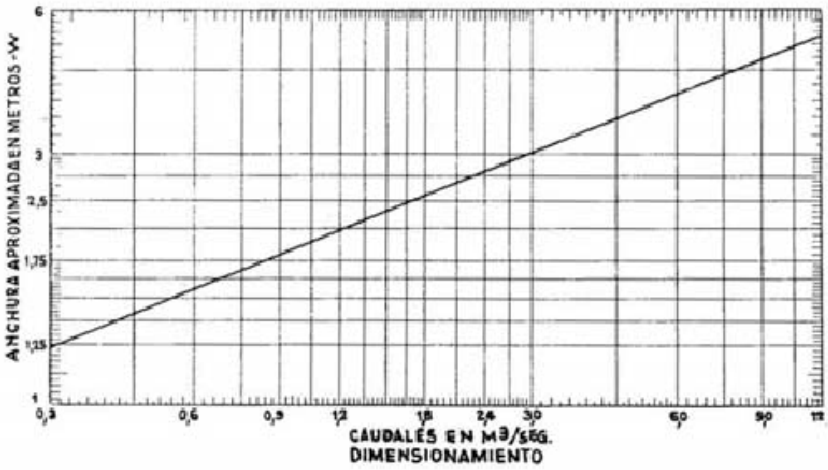


Imagen 21. Cuenco amortiguador. Esquema.

PDF Pro Trial

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 cuadales 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.

Balsa de regulación

En este caso, se diseña un **aliviadero a la cota 784,70 msnm**, consistente en un tubo de hormigón armado. El aliviadero a utilizar es el desagüe de la balsa, que revertirá el agua a un cauce natural próximo a está.

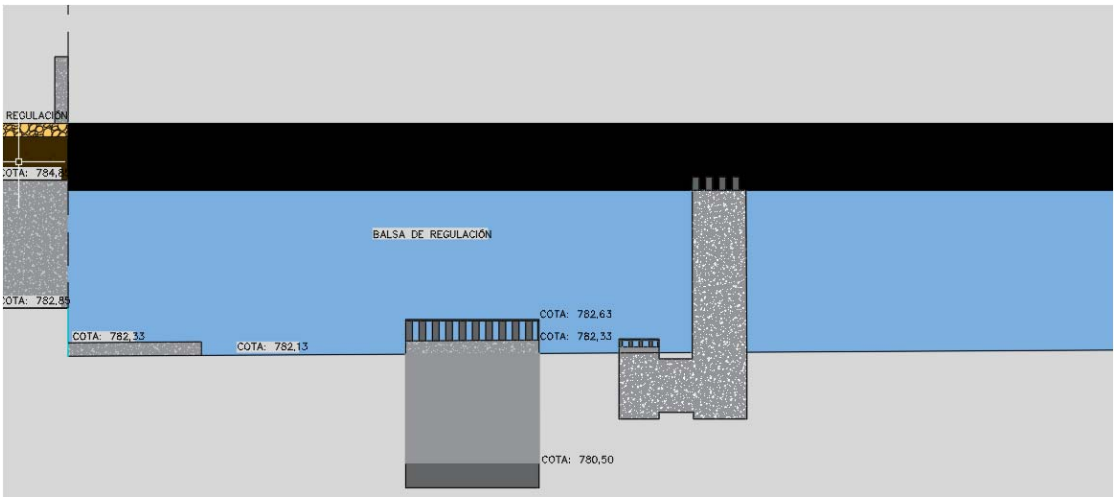


Imagen 22. Detalle de aliviadero de seguridad balsa de regulación.

PDF Pro Trial

Balsa de almacenamiento

En este caso, se diseña un **aliviadero a la cota 854,00 msnm**, consistente en un aliviadero lateral de hormigón armado y sección rectangular. El aliviadero desagüa de la balsa mediante una tubería que atraviesa el dique y que aguas abajo conecta con la tubería de desagüe de fondo de la propia balsa.

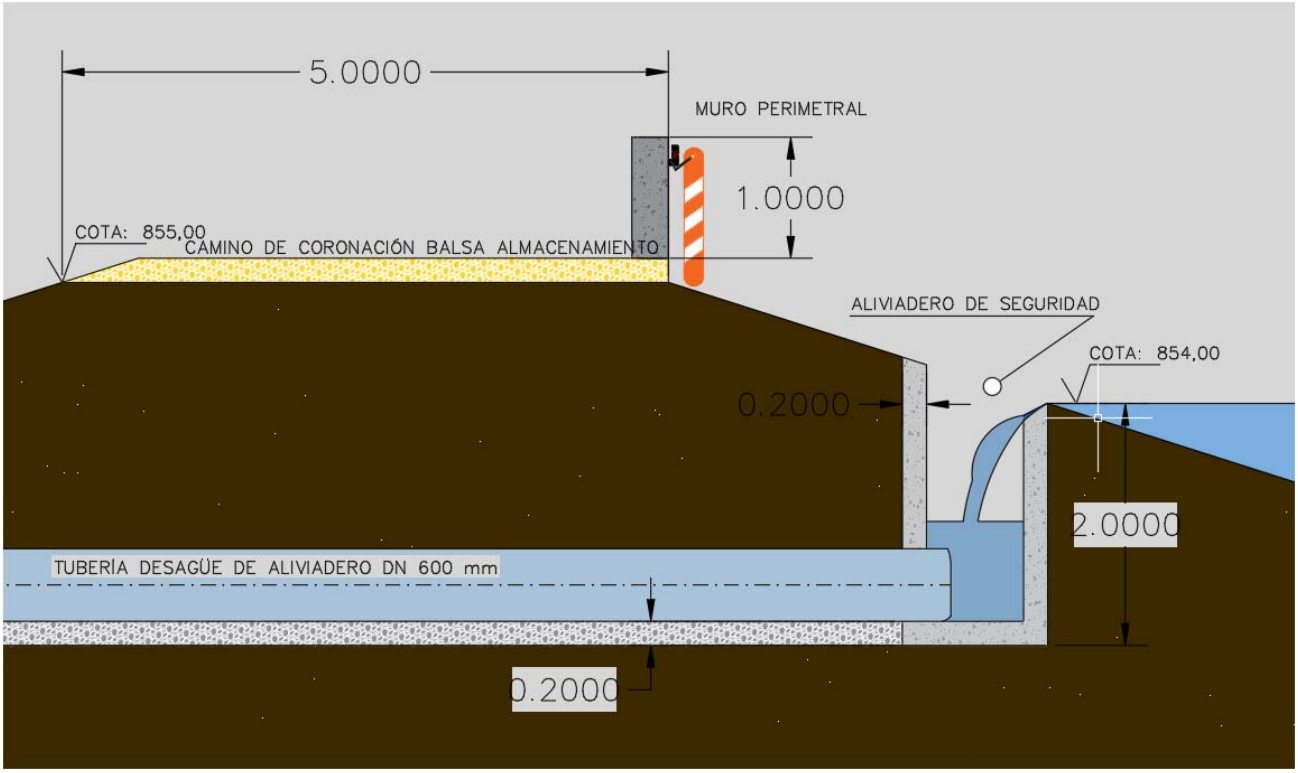


Imagen 23. Detalle de aliviadero de seguridad balsa de almacenamiento.

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.

PDF Pro Trial

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 lluvias 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 Cv 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:

$C_v = 0,34$

$P_{24} = 36$ mm

PDF Pro Trial

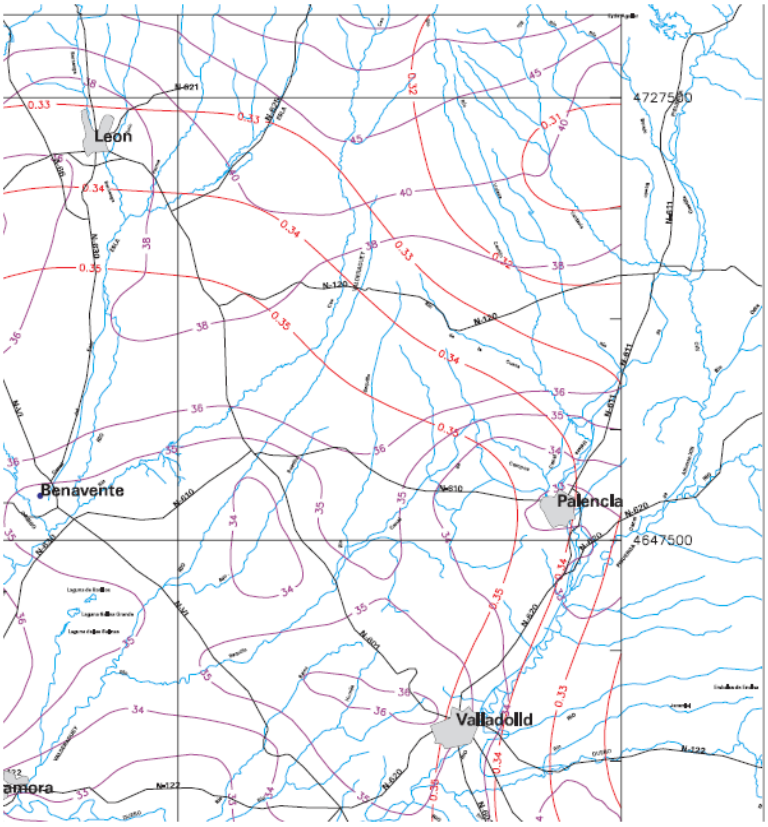


Imagen 24. Coeficiente de variación Cv (líneas rojas) y valor medio precipitación máxima diaria anual (líneas moradas).

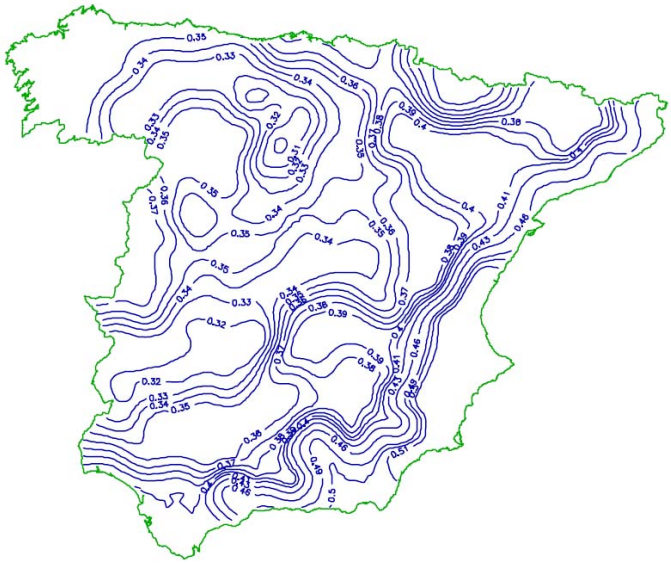


Fig. 3.2 – Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación C_v

Imagen 25. Isolíneas del valor regional del coeficiente de variación C_v (Fig. 3.2). Fuente: Máximas lluvias diarias en la España Peninsular (Dirección General de Carreteras – Ministerio Fomento).

PDF Pro Trial

Para el perído 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 ·36 = 100,26 mm

I_h = 0,34 · P_{24} (500) = 0,34 · 100,26 = **34,09 mm/día**

P_{24} = 34/24 = 1,4 mm/h

Para P_2 = 2 h · 7,5 mm/h = 15 mm

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.

PDF Pro Trial

2.5 DRENAJES

2.5.1 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 infiltrase 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.

BALSA DE REGULACIÓN

Se sectoriza la balsa en **14 SECTORES** (OCHO DE TALUD + SEIS DE FONDO)

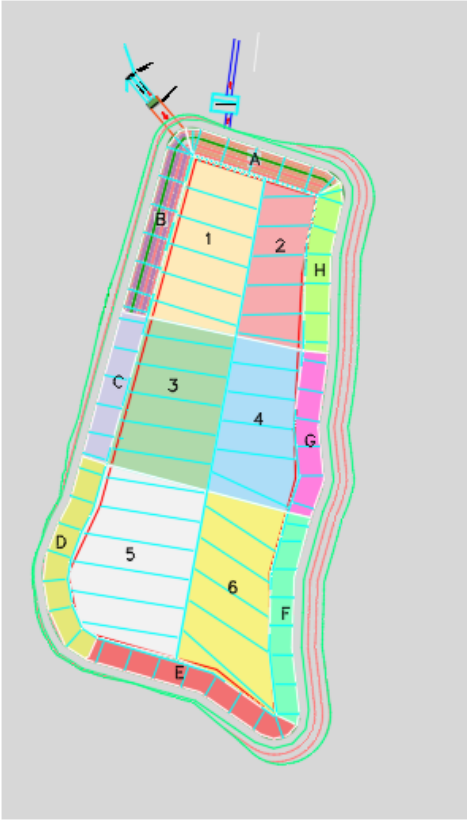


Imagen 26. Planta de la balsa regulación. Zonificación drenajes.

PDF Pro Trial

BALSA DE ALMACENAMIENTO

Se sectoriza la balsa en **15 SECTORES** (DIEZ DE TALUD + CINCO DE FONDO)

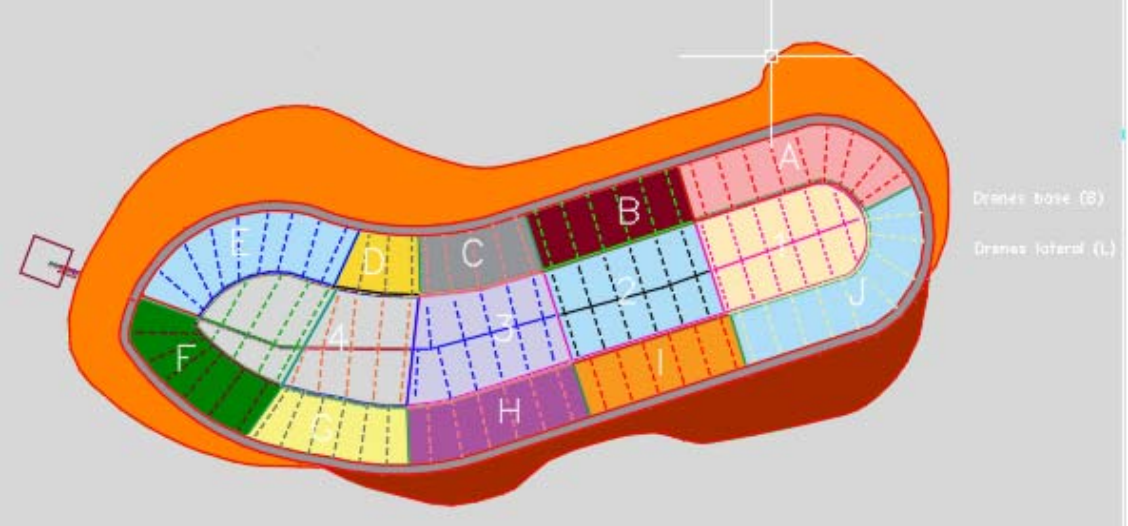


Imagen 27. Planta de la balsa Almacenamiento. Zonificación drenajes.

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

PDF Pro Trial

- 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.

2.5.2 DREN ESTRUCTURAL: DREN DE ENVUELTA.

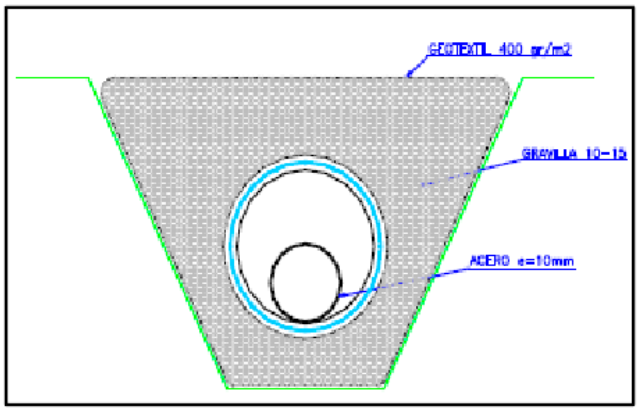
La superficie exterior de cualquier estructura que atraviese el dique se puede considerar como una vía preferente para el agua y consiguientemente, para la erosión interna.

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.



PDF Pro Trial

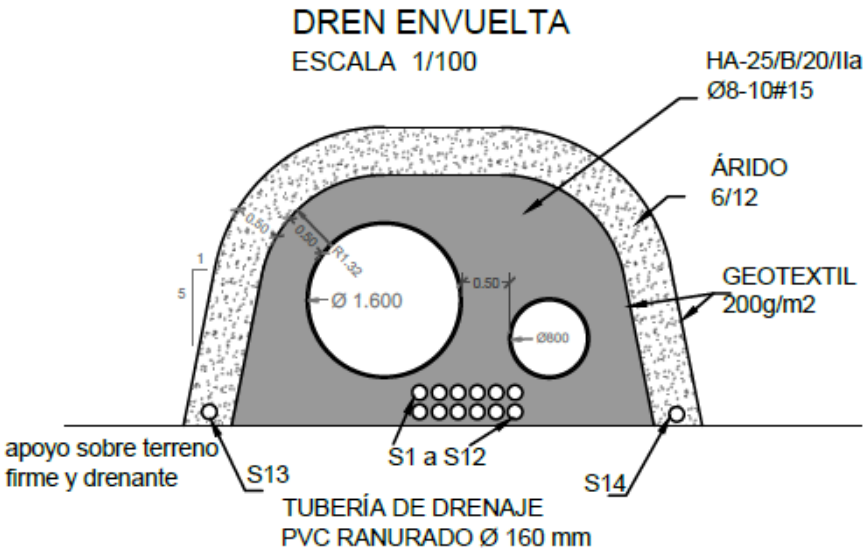


Imagen 28. Sección tipo de drenaje de fondo y dren envuelta

2.5.3 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 m3 y 250.000 m3, 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 ser recogen los colectores de drenaje de los diferentes sectores debe ser perfectamente accesible y visitable

PDF Pro Trial

- 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.

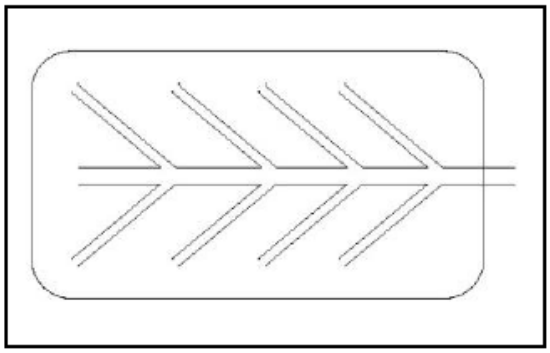


Imagen 29. Disposición clásica en espina de pez.

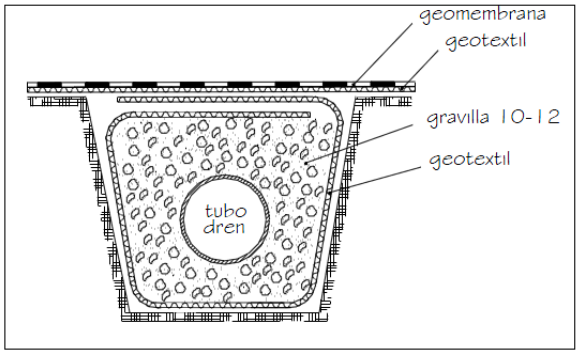


Imagen 30. Disposición clásica mediante zanja drenante.

PDF Pro Trial

Foto 1. Drenaje de fondo. Sección tipo

Foto 2. Drenaje perimetral obra de hormigón de la toma de fondo

PDF Pro Trial

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

Imagen 31. 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.

PDF Pro Trial

2.5.4 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:

$$\mathbf{Q = R \cdot l \cdot L}$$

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:

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

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:

PDF Pro Trial

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

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

Ø: 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,

$$Ø = 0{,}1185 \text{ m}$$

El diámetro obtenido se mayora 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, ø = 0,230 m.

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

PDF Pro Trial

2.6 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.

2.7 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

PDF Pro Trial

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. Esta recomendación, donde el fech es menor de 1,6 km, proporciona un resguardo normal de 1,8 m, muy superior al que habitualmente se realiza.

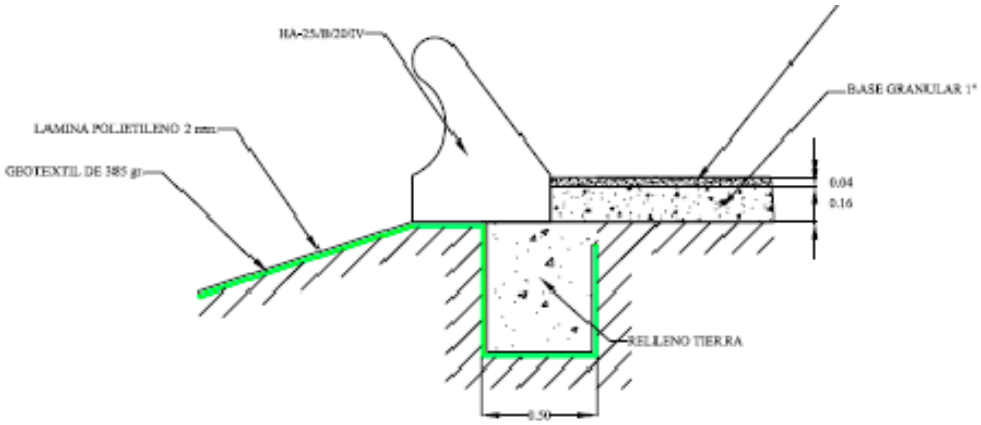


Imagen 32. Detalle de anclaje en coronación de la lámina y geotextil.

Foto 3. Disposición de rompeolas en camino de coronación de balsa.

En este caso se adoptan los siguientes:

<u>Balsa de regulación</u>:

- **Nivel Máximo de Embalse (N.M.E.):** 784,70 m.s.n.m.
- Cota de coronación: 785,70 m.s.n.m.

PDF Pro Trial

Balsa de Almacenamiento:

- **Nivel Máximo de Embalse (N.M.E.):** 854,00 m.s.n.m.
- Cota de coronación: 855,00 m.s.n.m.

2.8 VÁLVULAS Y OTROS ELEMENTOS: COMPUERTA

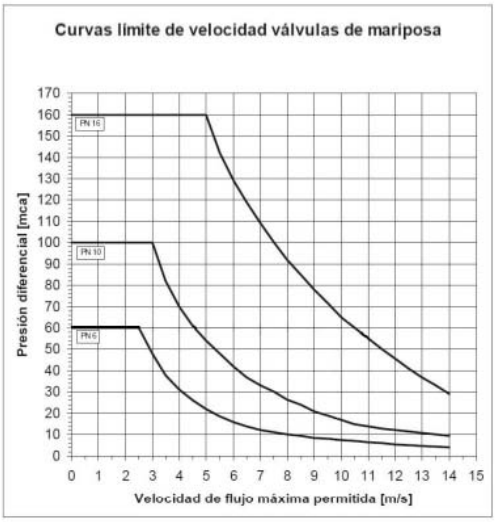
La valvulería como elemento regulador de los caudales tiene gran responsabilidad tanto en la seguridad de la balsa como en la garantía del agua embalsada.

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 33. Tabla curvas límite de velocidad válvulas de mariposa

PDF Pro Trial

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 un **compuerta mural de la sección del canal** (3x2 m), con presión de servicio 6 m.c.a., accionada medainte unidad motriz (actuador eléctrico) de 400 V/3/50 Hz, telecontrolada.

2.9 OTROS ELEMENTOS: CAUDALÍMETROS

No se dispondrá de caudalímetros en entrada/ salida de las balsas. Unicamente se proyecta un caudalímetro general en el colector de impulsión de la estación de bombeo, que unido a los contadores individuales instalados en hidrante nos permitirán un control exhaustivo de volumenes de agua.

2.10 OTROS ELEMENTOS: VENTOSAS

Su instalación debe de ser cuidadosa ya que generalmente existe poca presión y puede producirse un goteo.

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.

2.11 OTROS ELEMENTOS: LASTRES

2.11.1 ANCLAJE PERIMETRAL

Hace referencia al anclaje de la lámina en coronación y fondo, a lo largo de toto 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.

PDF Pro Trial

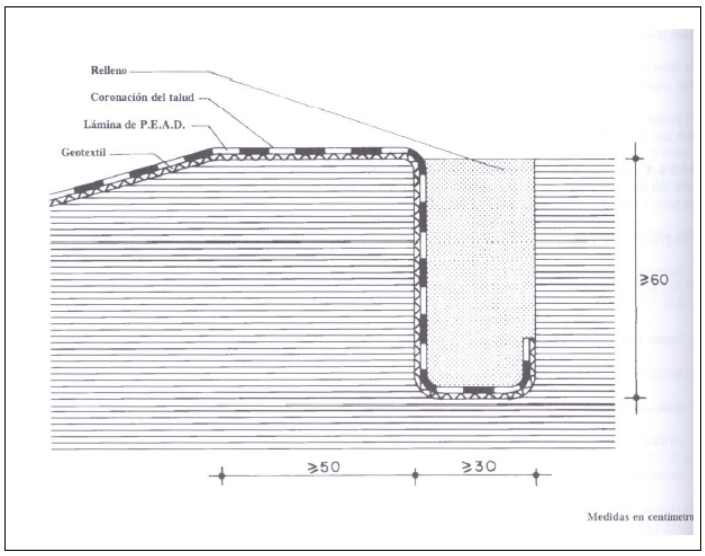


Imagen 34. Detalle de anclaje lámina PEAD en coronación.

PROFUNDIDAD (m)	PENDIENTE V1/H	ZANJA COR0NACION		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 profunidad mínima para anclaje de fondo para geomembrana de PEAD de 2mm

Imagen 35. 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 prponen como fundas de geomembrana, rellenas de bolasas de grava. No presenta borde cortante, con gran flexibilidad.

PDF Pro Trial

2.11.2 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.

2.11.3 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 elcomportamiento, 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 4. Tipo de anclaje propuesto, tanto para taludes como para fondo de balsa.

PDF Pro Trial

2.12 VALLA PERIMETRAL Y ELEMENTOS DE SEGUIRDAD

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).

2.12.1 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 ø48 mm y espesor 2 mm, embebidos en dado de hormigón HM-35 de 50x50x50.

2.12.2 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 relizará 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.

2.13 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.

2.14 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.

PDF Pro Trial

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

2.15 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 5. 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.

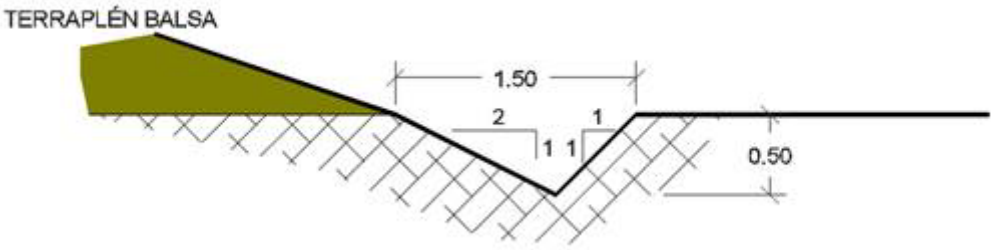


Imagen 36. Cuneta perimetral tipo ejecutada en tierra propuesta

PDF Pro Trial

3 IMPERMEABILIZACIÓN

La pantalla de impermeabilización tien 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 realizaicón 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 lso 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

PDF Pro Trial

(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 solicitaciones 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 Padm 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 punzonaimento, 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 kp/m^3 · 6 m = 165,0 kPa

Con ello, se obtiene:

M = 155,11 g/m^2, por lo que se adopta un geotextil de **200 g/m^2**.

PDF Pro Trial