

**PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL DEPÓSITO SALINO DEL
COGULLÓ
(SALLENT)**

Rev. 02

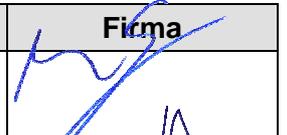
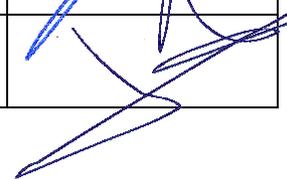
Equipo de trabajo

Director del Proyecto: Jesús Artieda. Doctor Ingeniero de Minas (UPM) y Máster en Economía y Dirección de Empresas (IESE). DNI: 09723582X

Redactores:

- Miguel Leguey. Licenciado en Ciencias Geológicas (UCM), Máster en Ingeniería Geológica (UCM) y Especialización en Consultoría Medioambiental (UPC). DNI: 07493601V
- José María Cornejo. Ingeniero de Montes (UPM) y Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Observación de la tierra (UPM). DNI: 51074422R
- Jorge Alexandri. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Título homologado por la UPM). DNI: 47048396X
- Jose María Rodríguez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (UPM). DNI: 08988841G
- Pablo Martín. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Universidad Politécnica Superior de Salamanca). DNI: 70810491T

Proyecto:	Ampliación del depósito salino del Cogulló.
Documento:	Proyecto.
Revisión	Cambios
01	Edición inicial.
02	Revisión y corrección previa a edición final.

	Nombre	Fecha	Firma
Redactado	Miguel Leguey	26/04/2011	
Revisado y aprobado	Jesús Artieda	29/04/2011	

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	ANTECEDENTES	8
1.2	OBJETIVO	10
2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	11
3	PUNTO DE PARTIDA	13
3.1	DEPOSITO	13
3.2	SISTEMA DE DRENAJE	15
3.3	BALANCES DE AGUA	16
3.3.1	Balance	16
3.3.2	Nuevos aportes al conocimiento del funcionamiento del depósito	17
3.4	TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE AMPLIACIÓN	18
4	CARACTERÍSTICAS DE LA AMPLIACIÓN	20
4.1	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	20
4.2	CONDICIONES DE DISEÑO	21
4.3	GEOMETRIA DEL DEPÓSITO AMPLIADO	23
4.4	DISCUSIÓN DE ALTERNATIVAS	24
4.5	ESTUDIO GEOTÉCNICO	27
5	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	29
5.1	ACONDICIONAMIENTO DE LA ZONA DE AMPLIACIÓN	29
5.1.1	Desbroce	29
5.1.2	Remodelado del terreno	29
5.1.3	Compactación o retirada del suelo	30
5.1.4	Impermeabilización del terreno	30
5.2	CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE DRENAJE, REGULACIÓN Y ACCESOS	31
5.2.1	Red de drenaje	31
5.2.1.1	Canales finales	33
5.2.1.2	Drenes	34
5.2.1.3	Tuberías	36
5.2.2	Balsa de regulación	36
5.2.2.1	Diseño	36
5.2.2.2	Recomendaciones constructivas	38
5.2.3	Caminos de acceso	39
5.3	DISPOSICIÓN DE LA SAL	39
6	FASES DEL PROYECTO	40
6.1	FASE 1	41
6.2	FASE 2	43
6.3	FASE 3	44

7	GESTIÓN DE AGUAS.....	45
7.1	CÁLCULOS HIDROLÓGICOS.....	45
7.1.1	Cuencas drenantes	46
7.1.2	Cálculo de la lluvia de proyecto	48
7.1.3	Precipitación.....	48
7.1.4	Tiempo de concentración.....	49
7.1.5	Intensidad de precipitación.....	49
7.1.6	Coeficiente de escorrentía	51
7.1.7	Caudales punta	55
7.2	CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	56
7.2.1	Criterios de diseño.....	56
7.2.2	Canales.....	57
7.2.3	Tuberías y drenes	60
7.3	DIMENSIONAMIENTO DE LA Balsa.....	61
7.3.1	Cálculo del volumen necesario	61
7.3.2	Evaluación del efecto del incremento de caudal sobre el colector de salmueras	62
7.4	BALANCE HÍDRICO.....	63
8	PRESUPUESTO.....	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Autorizaciones, alternativas, y ubicación de la zona de ampliación.	10
Figura 2.	Localización del proyecto.	11
Figura 3.	Depósito de partida comparado con el actual.	14
Figura 4.	Sistema actual de drenaje y gestión de aguas del depósito.	15
Figura 5.	Topografía de la zona de ampliación.	19
Figura 6.	Producción de sal (toneladas) en los últimos 10 años.	20
Figura 7.	Direcciones de drenaje del terreno en la zona de ampliación.	22
Figura 8.	Simulación del aspecto del depósito antes y después de la ampliación.	23
Figura 9.	Alternativas de los canales de agua dulce.	25
Figura 10.	Alternativas de evacuación de aguas saladas.	26
Figura 11.	Sección tipo de la impermeabilización del terreno.	31
Figura 12.	Modelo conceptual de drenaje del depósito salino actual.	32

Figura 13. Cuencas de drenaje y canales de agua dulce y agua salada.	33
Figura 14. Diseño de los drenes	35
Figura 15. Fases de preparación del terreno.	41
Figura 16. Mapa de isolíneas del factor I_1/I_d .	50
Figura 17. Multiplicador del umbral P_o . Coeficiente de humedad inicial.	55
Figura 18. Sección de los canales.	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variación anual de almacenamiento de agua en el depósito salino.	18
Tabla 2. Envío de sal al depósito en los últimos años.	20
Tabla 3. Características constructivas de los canales.	34
Tabla 4. Características constructivas de los drenes.	35
Tabla 5. Características constructivas de las tuberías.	36
Tabla 6. Características constructivas de la balsa.	37
Tabla 7. Alcance de la primera fase.	42
Tabla 8. Características del canal de agua dulce intermedio de la fase 1.	42
Tabla 9. Alcance de la segunda fase.	43
Tabla 10. Características del canal de agua dulce intermedio instalado en la fase 2.	43
Tabla 11. Alcance de la tercera fase.	44
Tabla 12. Características físicas de las cuencas.	47
Tabla 13. Precipitación máxima diaria P_d (mm).	48
Tabla 14. Tiempos de concentración.	49
Tabla 15. Intensidades máximas de precipitación.	51
Tabla 16. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía.	52
Tabla 17. Estimación inicial del umbral de escorrentía.	53
Tabla 18. Umbral de escorrentía corregido.	54
Tabla 19. Coeficiente de escorrentía, de acuerdo al método Racional Modificado.	55
Tabla 20. Caudales de cálculo para $T=25$ años.	56

Tabla 21. Dimensionamiento de los canales con pendientes mínimas.	58
Tabla 22. Dimensionamiento de los canales con pendientes reales.	58
Tabla 23. Dimensiones constructivas de los canales.	59
Tabla 24. Dimensionamiento de las tuberías y drenes con pendientes mínimas.	60
Tabla 25. Dimensionamiento de las tuberías y drenes con pendientes reales.	60
Tabla 26. Cálculo de velocidad máxima y altura hidráulica en tuberías y drenes.	61
Tabla 27. Balance anual medio del depósito ampliado.	64

PLANOS

Plano 1. Localización.
Plano 2. Topografía inicial.
Plano 3. Topografía final.
Plano 4. Modificación de la topografía inicial.
Plano 5. Litología de la zona de ampliación.
Plano 6. Sistemas de drenaje a instalar.
Plano 7. Perfiles longitudinales de los canales de agua dulce.
Plano 8. Perfiles longitudinales de los canales de agua salada.
Plano 9. Perfiles longitudinales de los drenes principal y secundarios.
Plano 10. Perfiles longitudinales de los drenes terciarios.
Plano 11. Perfiles longitudinales de las tuberías.
Plano 12. Nueva balsa.
Plano 13. Fase 1 de ejecución del proyecto.
Plano 14. Fase 2 de ejecución del proyecto.
Plano 15. Fase 3 de ejecución del proyecto.
Plano 16. Evolución del depósito.
Plano 17. Cuencas de drenaje.

1 INTRODUCCIÓN

El "Proyecto de Ampliación del Depósito Salino del Cogulló, Sallent", cuyo promotor es IBERPOTASH, S.A. (en adelante Iberpotash), consiste en la extensión lateral del mismo respecto a la autorización vigente. El estado actual de la técnica y de la normativa medioambiental, junto con el conocimiento adquirido en los últimos años sobre el comportamiento del depósito y el medio que lo acoge, permite realizar la ampliación prevista en unas condiciones óptimas de protección del Medio Ambiente.

1.1 ANTECEDENTES

El cloruro sódico (ClNa), componente principal del depósito salino, es un subproducto del proceso productivo de la potasa (cloruro potásico, ClK) que es susceptible de aprovechamiento, si bien la demanda existente actualmente es inferior a la producción y es necesario por tanto proceder a su almacenamiento en superficie. Cualquier otra alternativa de almacenamiento diferente de la actual imposibilitaría su aprovechamiento posterior e incluso haría inviable la propia producción de potasa.

El depósito salino del Cogulló, en el cual se almacena temporalmente el excedente de cloruro sódico que se genera durante la extracción de las sales potásicas en la concesión "Emerika", se inició a finales de la década de los 70, al amparo de la autorización otorgada por el Ministerio de Industria con fecha 1 de septiembre de 1976. Según la misma, además de la superficie que ocupa en la actualidad, el depósito debería extenderse hacia el Sur, quedando siempre dentro de la cuenca del torrente de Mas de les Coves.

Actualmente Iberpotash, en cumplimiento de la *Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la Intervención Integral de la Administración Ambiental*, derogada recientemente por la *Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades*, dispone de la pertinente autorización ambiental de la actividad de extracción y tratamiento de mineral llevada a cabo en la citada concesión. Esta autorización, otorgada por resolución del Departament de Medi Ambient y Habitatge (DMAH) de fecha 29 de abril de 2008, establece los límites máximos que puede alcanzar el depósito salino del Cogulló en el marco de la misma, los cuales encierran una superficie de 47 ha, en la que se inscribe el depósito actual, inferior a la autorización inicial de 1976 que era de 78 ha.

En 1998 se presentó el Plan de Restauración de Potasas del Llobregat, empresa que por entonces era dueña de las instalaciones mineras de Sallent-Balsareny, en el cual se planteaba otra alternativa

de localización del depósito del Cogulló, equivalente en volumen a la de 1976, que no fue finalmente considerada.

Posteriormente, el Pla d'Ordenació Urbanística Municipal (POUM) de Sallent, aprobado definitivamente el 19 de mayo de 2010, en sus planos de zonificación del suelo no urbanizable recoge la superficie cuyo uso asignado es acoger el depósito salino del Cogulló. Esta superficie coincide grosso modo con la citada en la resolución del *Conseller de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya*, de 24 de julio de 2007, en la cual se fijan las condiciones para la renovación de la licencia ambiental correspondiente a la explotación minera, y que hace referencia a la propuesta de ampliación del depósito realizada por el DMAH (Departament de Medi Ambient y Habitatge), que figura en el Anexo I, Punto a) del *Acord de Ponència de 6 de febrer de 2007*.

Dicha propuesta queda reflejada en un plano en el que, junto a los límites de la autorización de 1976, se muestran los dos horizontes de la ampliación propuestos:

- "Horizonte revisión de la autorización ambiental", que albergaría la producción de sal equivalente a 8 años, que es el periodo normal de revisión de la autorización. Este horizonte es el que recoge el POUM 2010.
- "Horizonte POUM de Sallent", que establece un marco de crecimiento del depósito continuando hacia el oeste, para un periodo de tiempo mayor que el anterior, alcanzando una superficie equivalente a la de la autorización de 1976 y una cota máxima de 550 m.s.n.m.

En función de lo expuesto anteriormente, el planeamiento urbanístico y las directrices de la *Conselleria de Medi Ambient i Habitatge* condicionan y limitan la localización de la ampliación a la zona indicada en la figura 1, en la cual se han incluido también los límites de todas las autorizaciones, alternativas y propuestas mencionadas en los párrafos precedentes.

En la citada resolución de 24 de julio de 2007, además de la definición del área dedicada al depósito salino, que ha servido de base para la delimitación de su superficie en el planeamiento urbanístico municipal, se establecen el conjunto de medidas a aplicar para hacer frente a la afección potencial de las aguas subterráneas, las cuales se han tenido en cuenta para la redacción del presente proyecto.

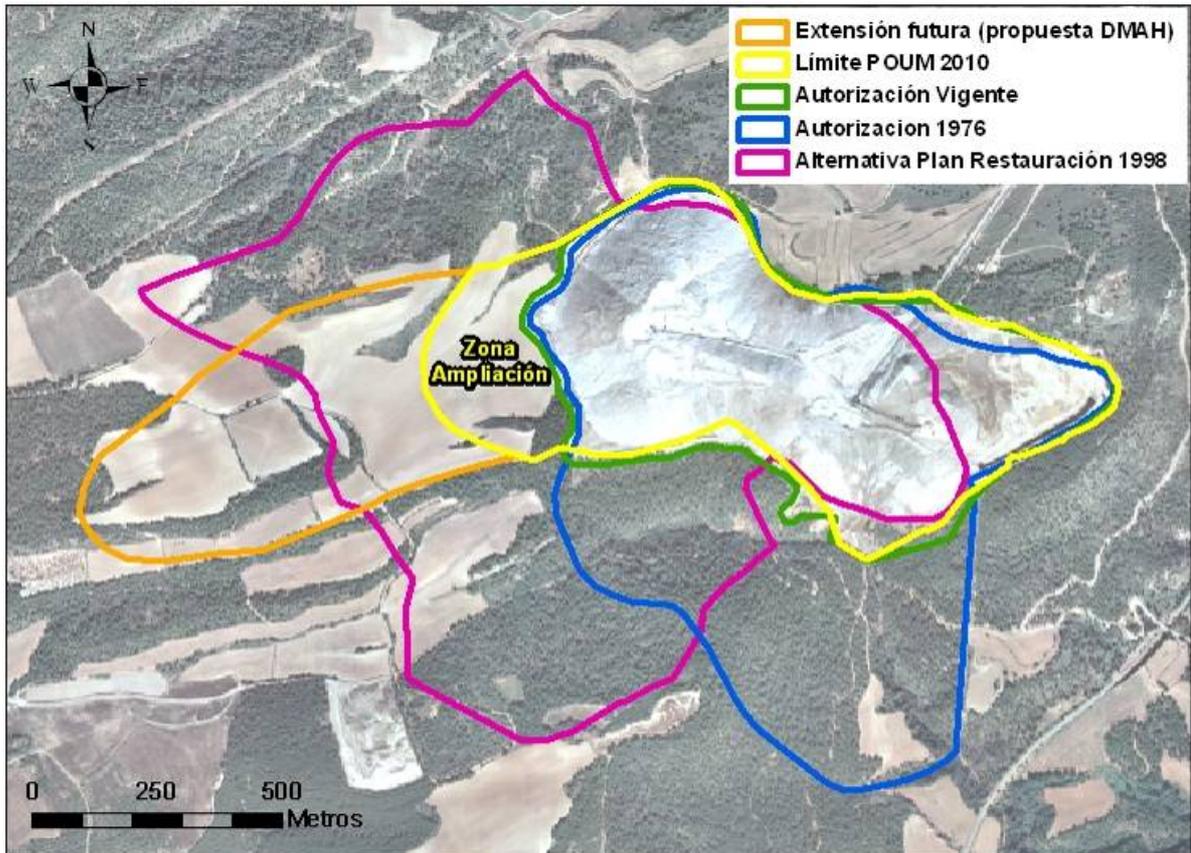


Figura 1. Autorizaciones, alternativas, y ubicación de la zona de ampliación.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es dar continuidad al almacenamiento de sal cuando se alcancen los límites del depósito actualmente autorizado, en unas condiciones tales que permitan que el nuevo volumen de sal almacenado se integre en el territorio en las mejores condiciones medioambientales, minimizando en lo posible las afecciones causadas al medio. Esta extensión resulta imprescindible para garantizar la continuidad de la explotación de potasa, actividad que cuenta con una fuerte implantación y repercusión socioeconómica en la comarca del Bages.

2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El depósito salino del Cogulló se encuentra en la zona suroccidental del municipio de Sallent, perteneciente a la comarca del Bages, provincia de Barcelona, a unos 2 km al SO del núcleo urbano principal y a unos 700 m al O de la carretera C-16 (Eje del Llobregat). Respecto a la cartografía topográfica a escala 1:50.000 (MTN) se ubica al NO de la hoja 363 (36-14, Manresa) y al N de la hoja 71-27 de la Base Topográfica de Cataluña a escala 1:25.000 (cuadrante I de la citada hoja 50.000). En la figura 2 y el plano 1 se muestra gráficamente su localización sobre la cartografía a escala 1:25.000, en la que se distingue claramente la extensión actual del depósito salino.

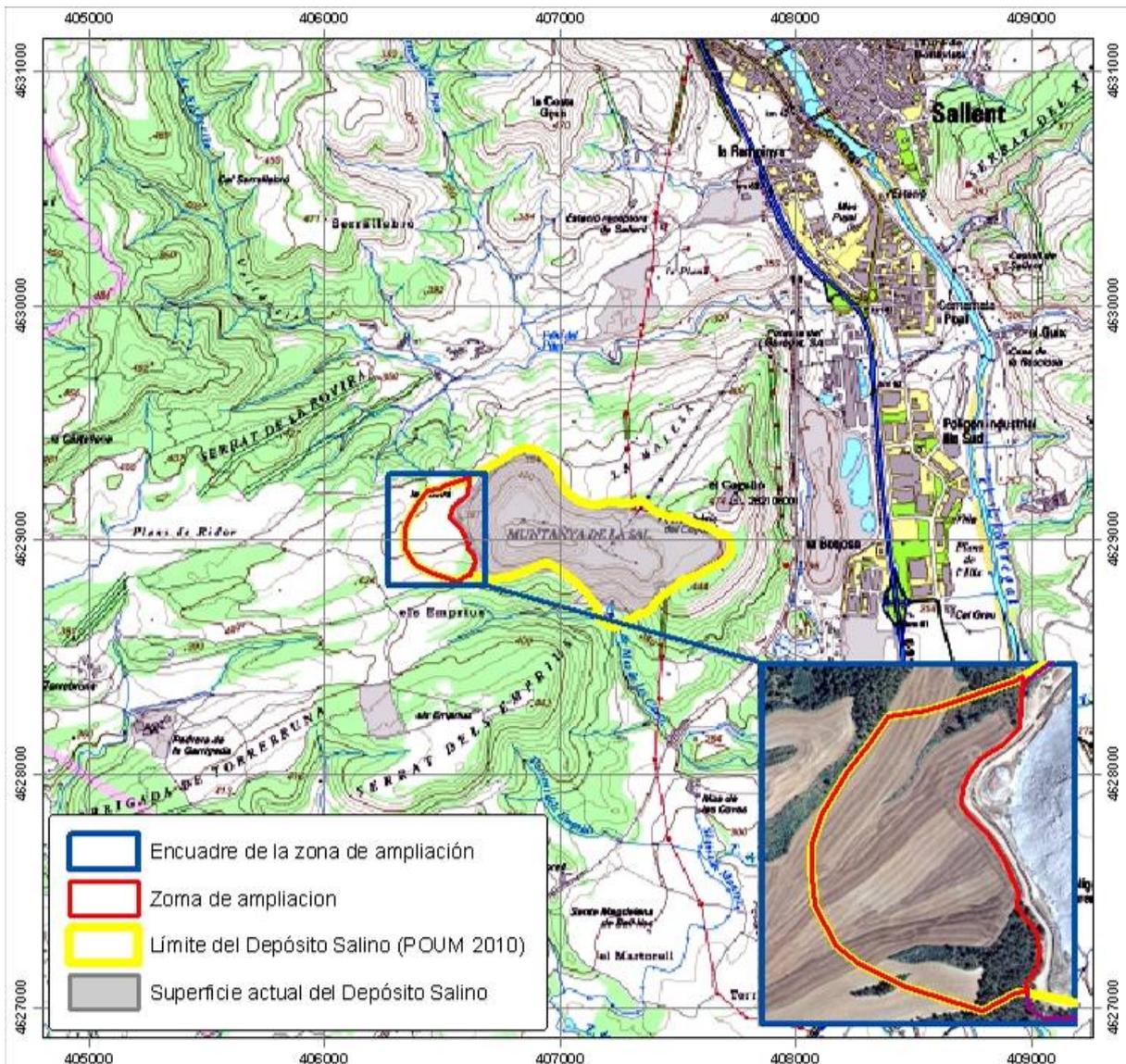


Figura 2. Localización del proyecto.

Sobre dicha cartografía se ha representado expresamente la superficie que el POUM 2010 de Sallent asigna al citado depósito, junto con el encuadre de la zona de la ampliación objeto del proyecto, el cual viene definido por las siguientes coordenadas UTM (ETRS89 Huso 31N):

406.300	4.629.380	406.775
	4.628.790	

3 PUNTO DE PARTIDA

El punto de partida del proyecto coincide con la situación que tendrá el depósito y su entorno cuando se alcancen los límites de la autorización vigente. Al objeto de definir las características del punto de arranque del proyecto, a continuación se describe la situación que presentará el depósito salino en ese momento, el sistema de drenaje del mismo, los balances de agua de los últimos años y la topografía de la zona que albergará la ampliación.

3.1 DEPOSITO

El punto de partida de la ampliación propuesta lo constituye el depósito salino correspondiente a la autorización actual, la cual no establece limitación en altura. A los solos efectos de establecer un punto de partida sobre el que evaluar los efectos de la ampliación, se ha supuesto un depósito que sobre el actual crezca únicamente por su mitad oriental, alcanzando la cota 500 m s.n.m., a la cual se puede llegar sin grandes dificultades técnicas.

En la figura 3 se muestra una representación del relieve de dicho depósito, comparado con el que tiene en la actualidad (según levantamiento topográfico de diciembre de 2010). Como se observa en la figura, para alcanzar el depósito de partida únicamente se rellenaría el hueco existente en la mitad oriental, ya que con la tecnología actual en la occidental no resulta viable incrementar el depósito si no se amplían los límites del mismo.

Los taludes considerados para la conformación del depósito tienen un ángulo de 37º, coincidente con la pendiente media de los taludes actuales, correspondiente a la situación de equilibrio tras el depósito por gravedad.

Con estas premisas, el depósito de partida considerado tendría en toda su extensión una cota máxima equivalente a la que ya se ha alcanzado en la zona occidental, y un volumen total de 25 Mm³. No obstante, éste es un volumen teórico de diseño, y es probable que las condiciones operativas y de seguridad no permitan llegar más allá de 24 Mm³. En este supuesto, teniendo en cuenta los ritmos de producción previstos y las densidades iniciales que presenta la sal, se estima que se tardará unos dos años, contados desde diciembre de 2010, en alcanzar el volumen correspondiente a dicho depósito. Es decir, el depósito actual alcanzaría su capacidad máxima a finales del año 2012.

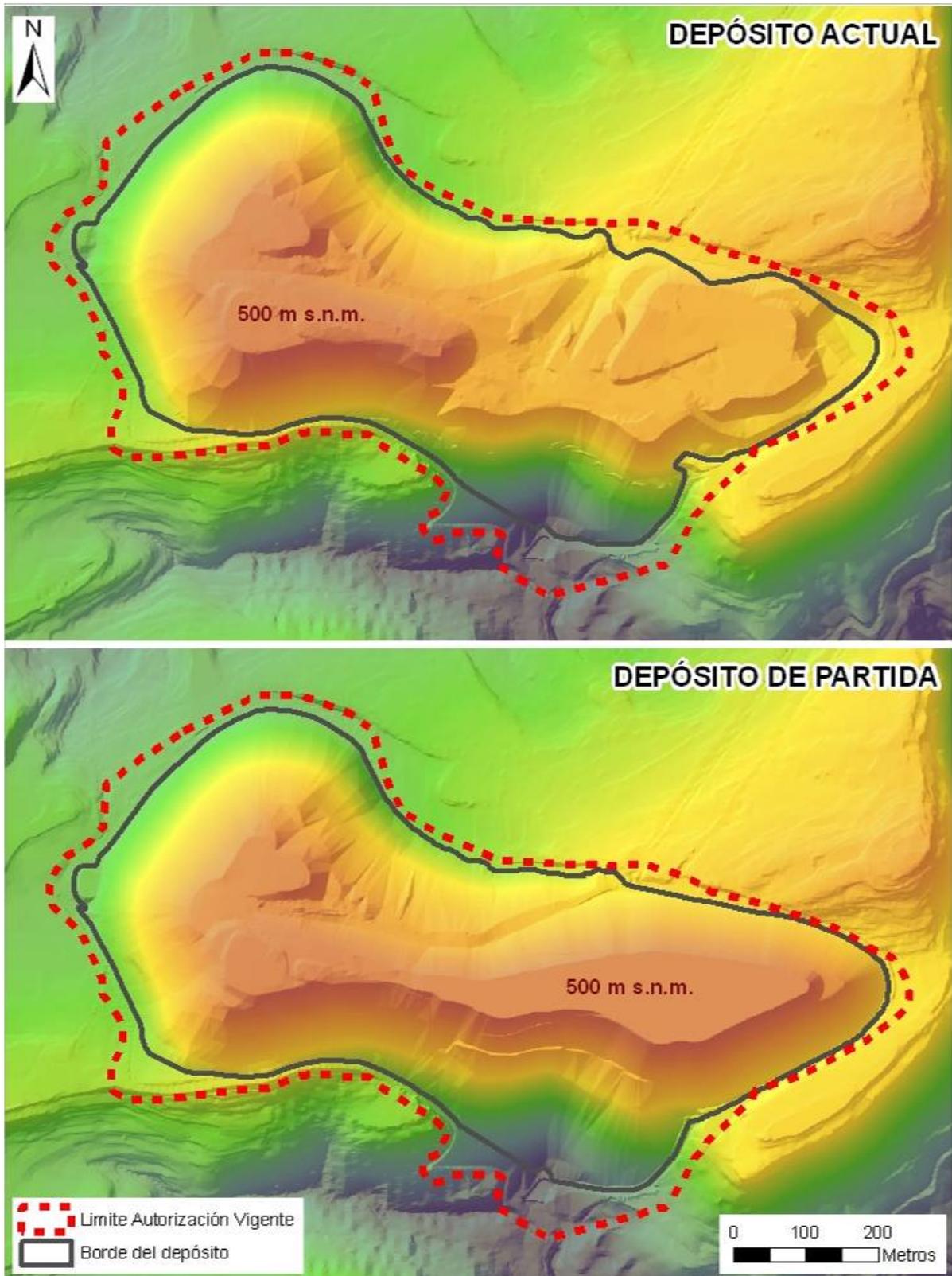


Figura 3. Depósito de partida comparado con el actual.

3.2 SISTEMA DE DRENAJE

Actualmente las aguas que entran en contacto con el depósito salino son captadas por drenes subterráneos y canales perimetrales impermeabilizados, y se dirigen hacia una presa de regulación, conocida como presa de escorrentías, existente al sur del mismo, en el cauce del torrente de Mas de les Coves, desde donde mediante bombeo se envían por tubería a la fábrica para su introducción en el colector de salmueras.

De los 6 canales perimetrales de agua salada, los 2 más orientales desaguan directamente a la presa de escorrentías, mientras que los otros 4 desembocan en dos arquetas de entrada que los conectan con los drenes subterráneos, a través de los cuales el agua llega a la presa. Estos drenes siguen el trazado de los ejes de los antiguos valles del terreno original. La derivación de las aguas de escorrentía del entorno para que no entren en contacto con el depósito, se realiza mediante canales y cunetas en tierra, localizados en aquellas zonas que escurren hacia el depósito.

Este sistema de gestión de aguas se mantendrá como hasta ahora mientras no se produzca la ampliación. En la figura 4 se muestra la morfología del depósito teórico de partida, junto con los elementos de drenaje actuales, equivalentes a los del depósito de partida.

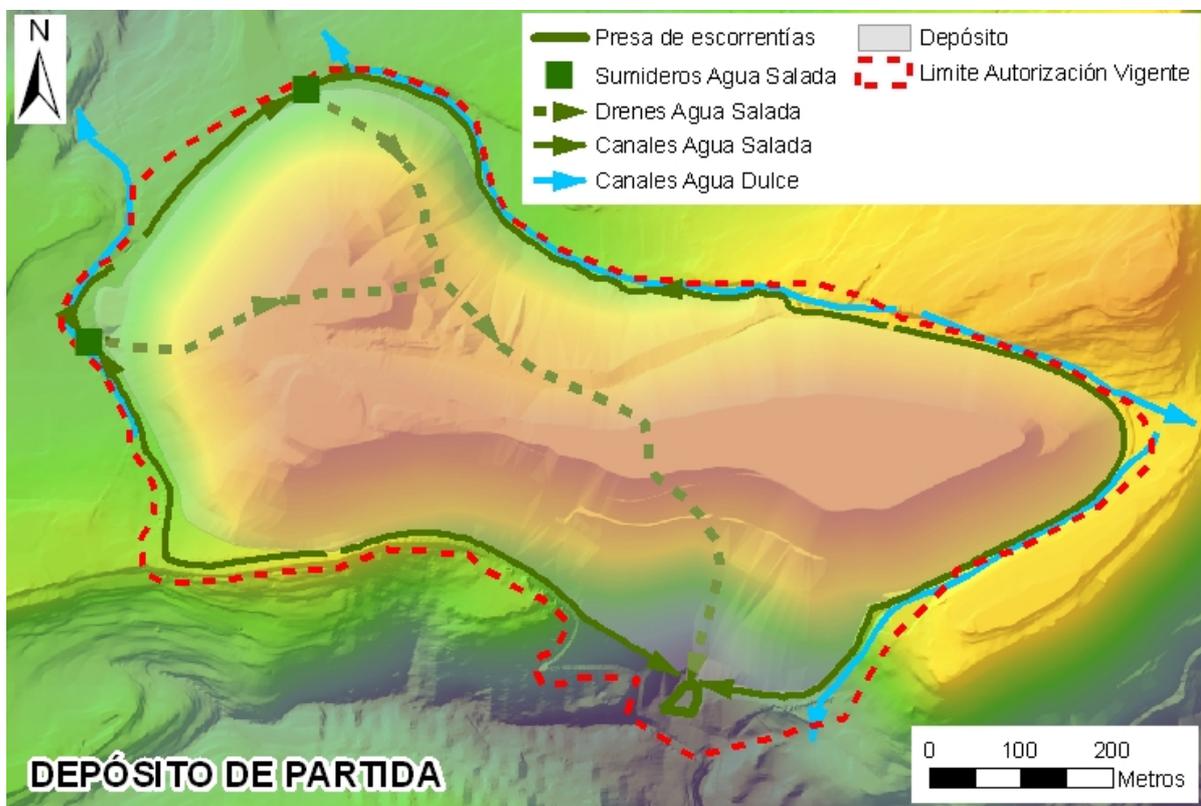


Figura 4. Sistema actual de drenaje y gestión de aguas del depósito.

3.3 BALANCES DE AGUA

3.3.1 Balance

A partir de los datos disponibles desde el año 2005 se ha realizado el balance de agua del depósito salino del Cogulló. Las entradas de agua proceden de la lluvia caída sobre el depósito, registrada en la estación meteorológica ubicada en el recinto de la fábrica de potasa, muy próxima al depósito salino, y del agua que acompaña a la sal almacenada o, lo que es lo mismo, la humedad de la sal, determinada periódicamente en el laboratorio de la fábrica. Las entradas de agua totales correspondientes al periodo 2005-2010 ascienden a 1.609.653 m³, de los que 1.127.763 m³ proceden de la lluvia y 481.889 m³ de la humedad de la sal.

Por otro lado, las salidas de agua del depósito, cuyo volumen total calculado para el conjunto de la serie estudiada asciende a 1.605.617 m³, están constituidas por la suma de los volúmenes asociados a los siguientes conceptos:

- Perdidas por evaporación que, según las experiencias realizadas en 2005, se estiman del orden del 10.4% de la evaporación registrada en Manresa, y para el periodo considerado totalizan 229.044 m³.
- Agua que se drena al pie del depósito (recogida en la presa de escorrentías), contabilizada por los contadores existentes en las tuberías que envían el agua salada al colector de salmueras, cuyo valor en el periodo en cuestión es de 986.479 m³.
- Agua que se infiltra a favor de los niveles de caliza y aflora posteriormente en la cuenca del torrente Soldevila, y que es captada y contabilizada más abajo en la represa ubicada al Norte de la fábrica. Las cantidades contabilizadas entre 2005 y 2010 suman 327.309 m³.
- Agua que queda retenida permanentemente en la sal, estimada en el 1% en peso, lo que para los años considerados supone 62.783 m³.

El aporte mensual medio de agua al depósito durante este periodo ha sido de 22.359 m³, y el volumen mensual medio de agua recogida procedente del mismo de 22.300 m³. Las diferencias en el balance de la serie son del orden del 0,25% de los volúmenes manejados, lo cual entra dentro del error admisible.

3.3.2 Nuevos aportes al conocimiento del funcionamiento del depósito

La experiencia cotidiana relativa a su comportamiento hidráulico, muestra que el depósito salino del Cogulló tiene un efecto laminador sobre el flujo de agua que lo atraviesa. Hasta el momento no se disponía de los datos suficientes para evaluar este efecto. Al día de hoy, gracias a los datos recogidos durante los últimos años, se está en disposición de realizar una primera estimación.

Del análisis estadístico de los registros mensuales de entradas y salidas de agua del depósito, se puede establecer que, de un modo general, las entradas y salidas de agua se relacionan según la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo de salida (m}^3\text{/mes)} = 0,32 \times \text{Flujo de entrada (m}^3\text{/mes)} + 15.171 \text{ m}^3\text{/mes}$$

Esta ecuación refleja la importancia relativa que tiene, en el flujo de salida, tanto el flujo inmediato de entrada como la laminación que se produce. Obsérvese que para un flujo promedio de salida del orden de 22.000 m³/mes, tan solo un tercio del mismo vendría explicado por el flujo de entrada en ese mes, mientras que los dos tercios restantes se asimilan a una cantidad constante independiente de los aportes de agua en dicho mes. Esto refleja claramente la importancia que tiene la laminación en el funcionamiento hidráulico del depósito. Pero, para que exista la laminación, es necesario que en el interior del depósito se produzca un almacenamiento temporal de agua de cierta importancia.

Este almacenamiento es el que tiene que suministrar aproximadamente 2/3 del flujo de agua de salida y, dado que este se estima en una media 15.171 m³/mes, el almacenamiento total del depósito debe ser varias veces superior. Una estimación realizada a partir de las porosidades tenidas en cuenta en los modelos hidrogeológicos realizados, arrojarían un valor de almacenamiento de varios cientos de miles de m³.

La importancia de la variación del almacenamiento es mayor cuando el balance de agua se aplica a periodos más cortos. Si se pretende estudiar periodos anuales dentro de una secuencia de años de pluviosidad variable, como es el periodo 2005-2010, es necesario tener en cuenta las variaciones de almacenamiento de agua en el interior del depósito. Dado que en periodos suficientemente largos se ha demostrado que el balance de agua tiende a ser cero, las diferencias de balance en periodos más cortos se deben considerar como variaciones en el almacenamiento. Haciendo los cálculos pertinentes para la serie estudiada, se obtienen las variaciones anuales de almacenamiento mostradas en la tabla 1.

Año	Entradas (m ³)	Salidas (m ³)	Variación almacenamiento (m ³)	Variación almacenamiento acumulada (m ³)
2005	225.978	223.409	2.568	2.568
2006	244.489	222.966	21.523	24.091
2007	219.936	213.778	6.158	30.249
2008	352.143	345.784	6.358	36.607
2009	273.612	290.714	-17.102	19.505
2010	293.497	308.965	-15.468	4.037
TOTAL	1.609.653	1.605.617	4.037	

Tabla 1. Variación anual de almacenamiento de agua en el depósito salino.

3.4 TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE AMPLIACIÓN

La zona en la cual se plantea la ampliación del depósito se corresponde mayoritariamente con la cabecera del arroyo de Mas de les Coves, situada al Oeste del depósito existente, en torno a los 400 metros de altitud, entre el mismo y una planicie elevada (*Plans de Ridor*) que llega a alcanzar los 425 m s.n.m. en su punto más alto. En su extremo septentrional la zona de ampliación se adentra brevemente en la cuenca del arroyo Soldevila, situado al Norte del anterior.

En el plano 2 y la figura 5 se muestra la topografía de detalle de la zona de ampliación del depósito, la cual en su mayor parte presenta una morfología de cubeta cuyo fondo coincide con un eje de dirección aproximada SO-NE. Por el Sur la zona de ampliación limita con la divisoria hidrológica de la cubeta, y por el Norte esta divisoria queda dentro de dicha zona. Al Sur del eje de la cubeta nace una ladera con pendiente general hacia el Norte que va ganando en inclinación según se asciende por ella, hasta coronar en el extremo en una zona de plataforma ligeramente inclinada, coincidente con el afloramiento de una capa de calizas, que genera un escarpe al pie. La ladera situada al Norte del eje de la cubeta desciende hacia el Sureste, y tiene un breve escarpe a media ladera que hacia el Noreste enlaza con un promontorio que marca la divisoria de aguas, pasada la cual el terreno tiene caída general hacia el Noreste, con variaciones locales, presentando una reseñable incisión en el extremo oriental de la zona de ampliación.

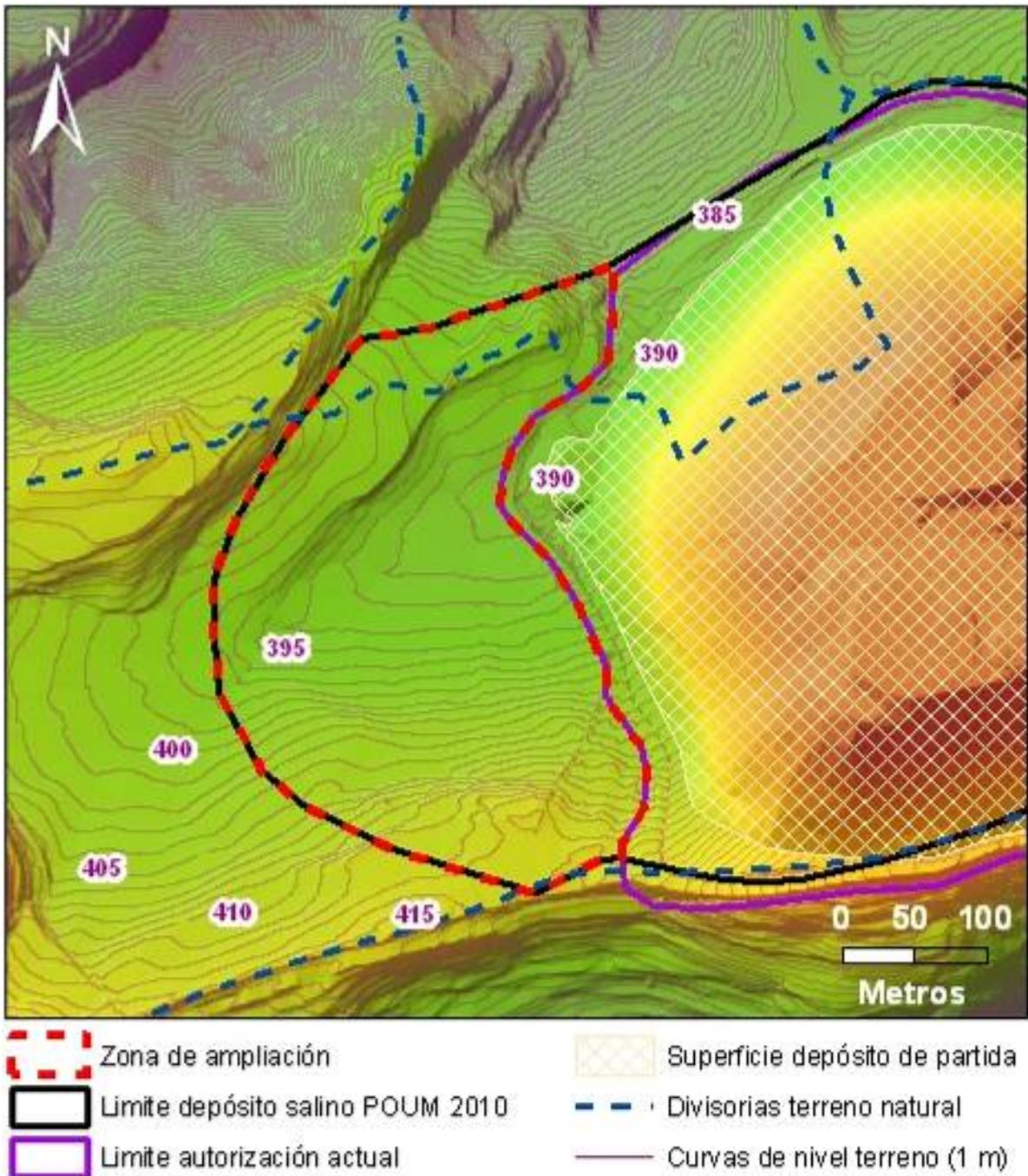


Figura 5. Topografía de la zona de ampliación.

4 CARACTERÍSTICAS DE LA AMPLIACIÓN

La ampliación prevista debe dar cabida a la producción de sal esperable en los 8 primeros años desde el comienzo de la misma, lo cual, junto con los límites establecidos y las condiciones de diseño, dará lugar a una determinada configuración morfológica del depósito en el tiempo. Todos estos aspectos se tratan en este capítulo, junto con las alternativas de proyecto contempladas y las consideraciones relativas a la estabilidad geomecánica de la ampliación.

4.1 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En la tabla 2 incluida a continuación se pueden ver los datos relativos a la cantidad de sal enviada al depósito desde el año 2000 hasta el año 2010, y en la figura 6 se muestra su evolución de modo gráfico.

Sal depositada (toneladas/año)										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1.920.109	1.327.693	916.224	1.373.081	1.578.568	1.308.975	1.002.543	1.146.941	1.185.846	1.016.713	617.405

Tabla 2. Envío de sal al depósito en los últimos años.

Partiendo de los datos anteriores, de las características geológicas del yacimiento, del método de explotación y de las expectativas de mercado de potasa y de sal, la producción de esta última a almacenar en el depósito del Cogulló en los próximos años se puede estimar en 1,25 millones de toneladas al año (Mt/año) como promedio, con un rango de variación de entre 1 y 1,5 Mt/año.

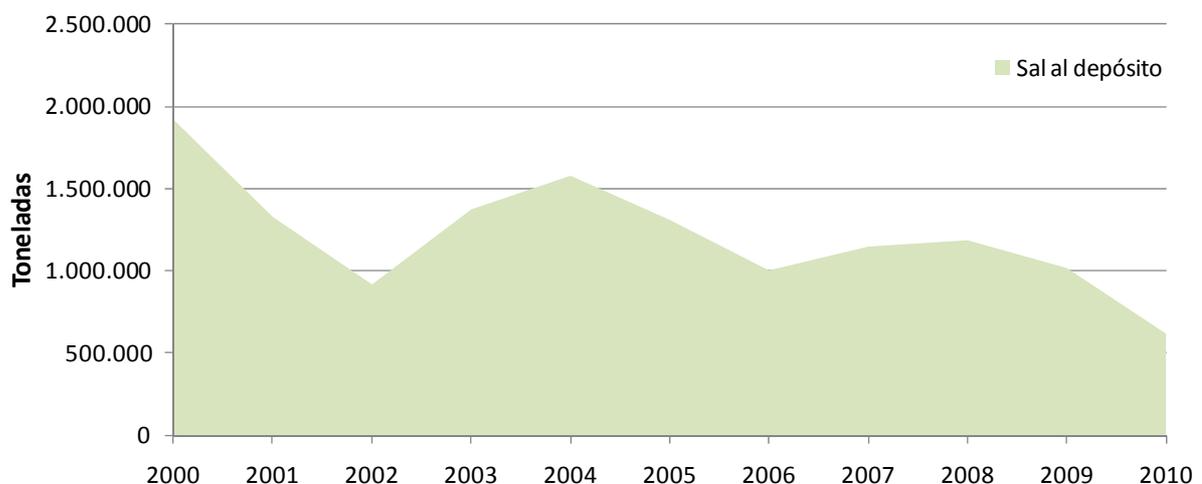


Figura 6. Producción de sal (toneladas) en los últimos 10 años.

4.2 CONDICIONES DE DISEÑO

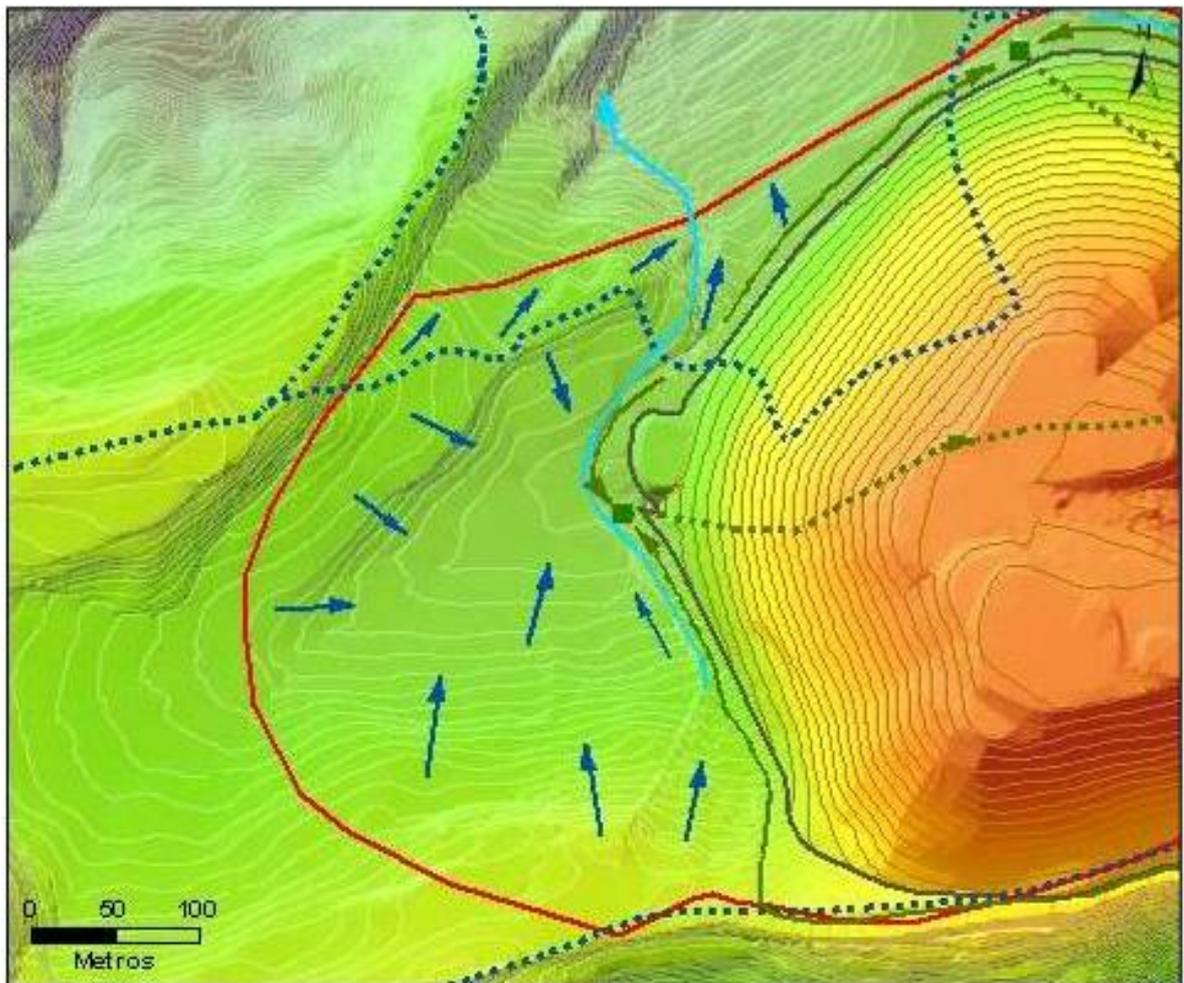
La zona de ampliación del depósito hacia el oeste viene condicionada por la superficie que el POUM 2010 de Sallent asigna al almacenamiento salino. Dentro de estos límites el depósito alcanzará un volumen máximo que vendrá limitado por su altura, el espacio perimetral que habrá que dejar libre para pistas y canales, y el ángulo de talud. En este sentido, las condiciones de diseño son las siguientes:

- La altura máxima permitida, según se establece en el anexo II de la resolución del *Conseller de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya*, de 24 de julio de 2007, es de 550 m s.n.m., si bien para mantener unas condiciones óptimas de operación, en esta fase y en las siguientes, la configuración prevista en el diseño proyectado alcanza a priori la cota 510 m s.n.m., elevándose más allá solo en caso de necesidad.
- El espacio perimetral considerado para la ubicación de pistas y canales se corresponde con una franja de 10 m de ancho medida desde el pie del talud hasta el límite administrativo. A este respecto, los límites del depósito diseñado adoptan en general esta premisa, excepto en el extremo suroriental de la zona de ampliación, en el cual por razones operativas, y al amparo de la flexibilidad de modificación de los límites establecidos por la ordenación urbanística, permitida por la legislación vigente, el depósito y los elementos de drenaje perimetral asociados se adaptan al terreno eliminando la curvatura que aquí muestra el citado límite administrativo.
- El ángulo de talud se corresponde con el talud de equilibrio que adopta la sal tras ser depositada por gravedad el cual, como se aprecia en los taludes del depósito actual, oscila entre 25° y 45°, siendo 37° el valor medio utilizado a efectos de diseño.

En cuanto a la densidad del depósito, desde el momento en el que se deposita la sal comienzan a producirse procesos de compactación y cristalización que hacen que de manera progresiva disminuya la humedad y se incremente la densidad. No obstante, aunque es un parámetro variable en el tiempo, el valor comúnmente utilizado a efectos de diseño y cálculo es de 1,6 t/m³.

Además de la extensión del propio depósito, otro aspecto fundamental a considerar desde el inicio en el diseño del proyecto es la gestión de aguas, cuya importancia es tal que se trata más adelante en un capítulo independiente. Esta gestión viene condicionada por el régimen pluviométrico, la morfología del depósito y la configuración del terreno sobre el que se apoya. A este último respecto, la topografía de la zona de ampliación es también un condicionante del diseño del drenaje.

Tal y como se aprecia en la figura 7, la mayor parte de la zona de ampliación tiene pendiente hacia el depósito actual, de manera que las aguas salinizadas que discurran por el fondo del depósito en esta zona se dirigirían a priori hacia el punto más bajo del terreno, que actualmente coincide con la arqueta más occidental de las que reciben el agua de los canales perimetrales de agua salada existentes, y solo la parte más septentrional, perteneciente a la cuenca del torrente Soldevila, drena hacia fuera. No obstante, en la figura 7 se observa también que la divisoria de aguas existente al Norte de la zona de ampliación, presenta un punto bajo hacia el Este, que es actualmente aprovechado para dar salida por la cuenca del Soldevila al canal de derivación de aguas dulces.



- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Limite Depósito Salino POUM 2010 |  | Drenes Actuales Agua Salada |
|  | Borde Depósito Autorizado |  | Canales Actuales Agua Salada |
|  | Divisorias Terreno Natural |  | Canales Actuales Agua Dulce |
|  | Direcciones de Drenaje |  | Sumideros Actuales Agua Salada |
|  | Curvas de Nivel Depósito (5 m) |  | Curvas de Nivel Terreno (1 m) |

Figura 7. Direcciones de drenaje del terreno en la zona de ampliación.

4.3 GEOMETRIA DEL DEPÓSITO AMPLIADO

El Proyecto de ampliación del depósito salino del Cogulló consiste en su extensión hacia el oeste, de manera que ocupe la superficie prevista para ello en el POUM 2010 de Sallent, según se muestra en la figura 8. En el plano 3 se puede ver en detalle la topografía correspondiente a la situación final.

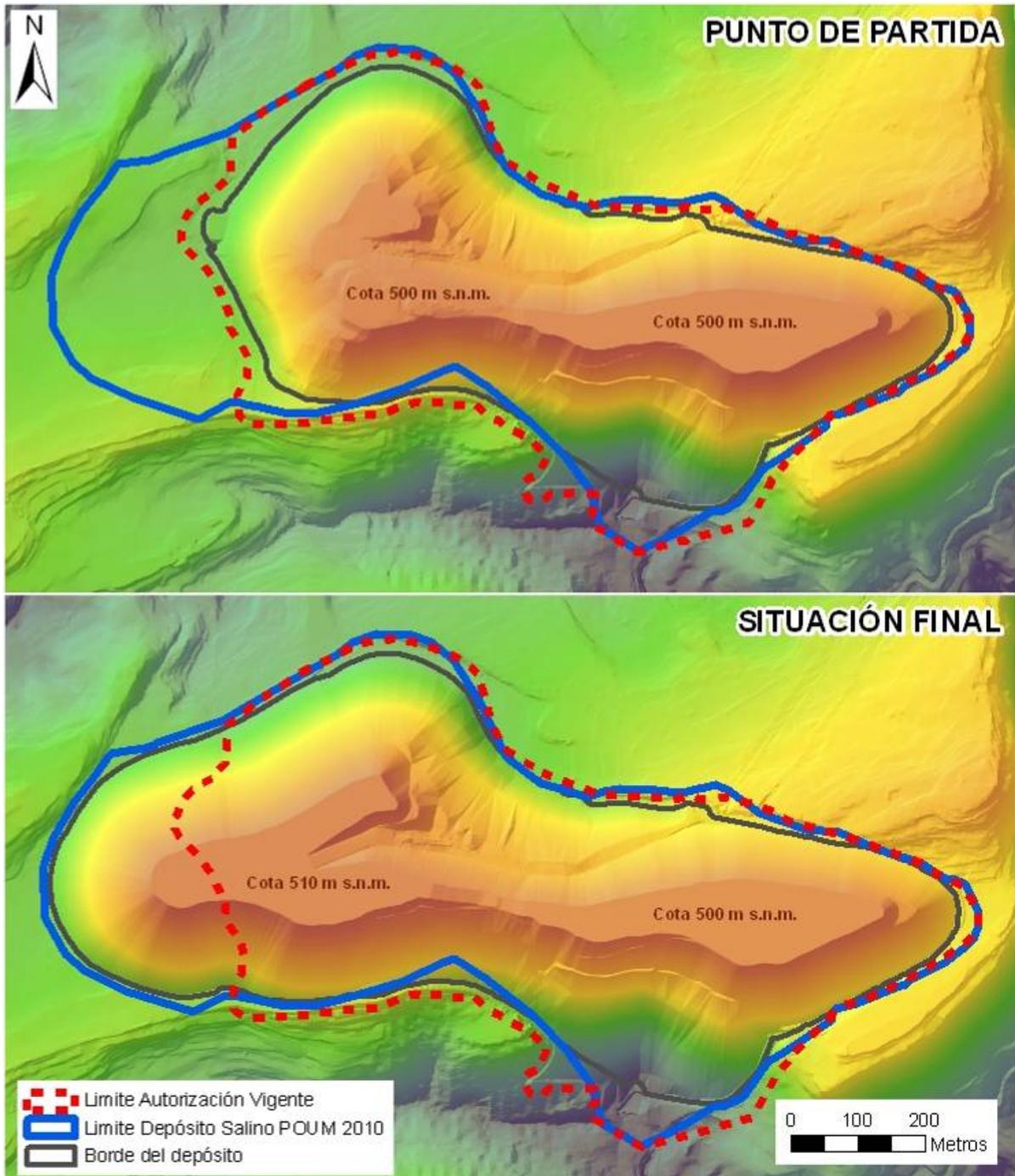


Figura 8. Simulación del aspecto del depósito antes y después de la ampliación.

Dicha ampliación supone, en función de las condiciones de diseño citadas, un incremento de volumen de 7,7 Mm³, alcanzando los 32,7 Mm³, lo que equivale a un 31% más respecto al depósito teórico de partida (25 Mm³), y un incremento de la superficie de terreno dedicada al depósito de 8,5 ha (un 18% más que la superficie actualmente autorizada, que es de 47 ha).

La cota de coronación en la zona de ampliación es 10 m superior a la que presenta el depósito de partida (equivalente a la actual), lo cual posibilita el aprovechamiento del hueco existente hasta esta cota sobre la mitad occidental del depósito de partida, tal y como se observa en la figura 9. La pendiente de los taludes considerados es de 37°, similar a la media de los taludes actuales.

4.4 DISCUSIÓN DE ALTERNATIVAS

Anteriormente se ha expuesto que la localización de la ampliación ha quedado ya fijada por las distintas Administraciones, tras analizar las alternativas que se han ido considerando a lo largo del tiempo. Por tanto, las alternativas al proyecto barajadas versan sobre otro de los principales aspectos del proyecto como es el drenaje y gestión de las aguas, tanto dulces como saladas:

- **Derivación de aguas dulces**

La derivación del agua de escorrentía del entorno para que no entre en contacto con el depósito, se realizará mediante canales perimetrales de aguas dulces, como los existentes en la actualidad. Durante las fases intermedias estos canales pueden realizarse siguiendo la pendiente del terreno en toda su longitud, dando salida a las aguas captadas por el punto más bajo. No obstante, en la configuración final del depósito la topografía del terreno impide la salida por gravedad a favor del perímetro, de modo que se han planteado tres alternativas (ver figura 9) para permitir su evacuación, las cuales parten de la premisa de evacuar el agua sin coste energético, por gravedad:

- I. Todos los canales se adaptan a las pendientes del terreno. En la cuenca del arroyo Soldevila, situada al norte de la zona de ampliación, el canal vierte directamente al terreno, mientras que las aguas dulces recogidas en el punto más bajo de la cuenca perteneciente al arroyo Mas de les Coves se envían a la cuenca del Soldevila por gravedad, a través de una tubería enterrada que salve el desnivel existente por el camino más corto.
- II. En este caso el canal de agua dulce se lleva a cota hasta la cuenca del Soldevila, para lo cual su trazado debe dar un importante rodeo siguiendo las curvas de nivel por fuera de la zona de ampliación.

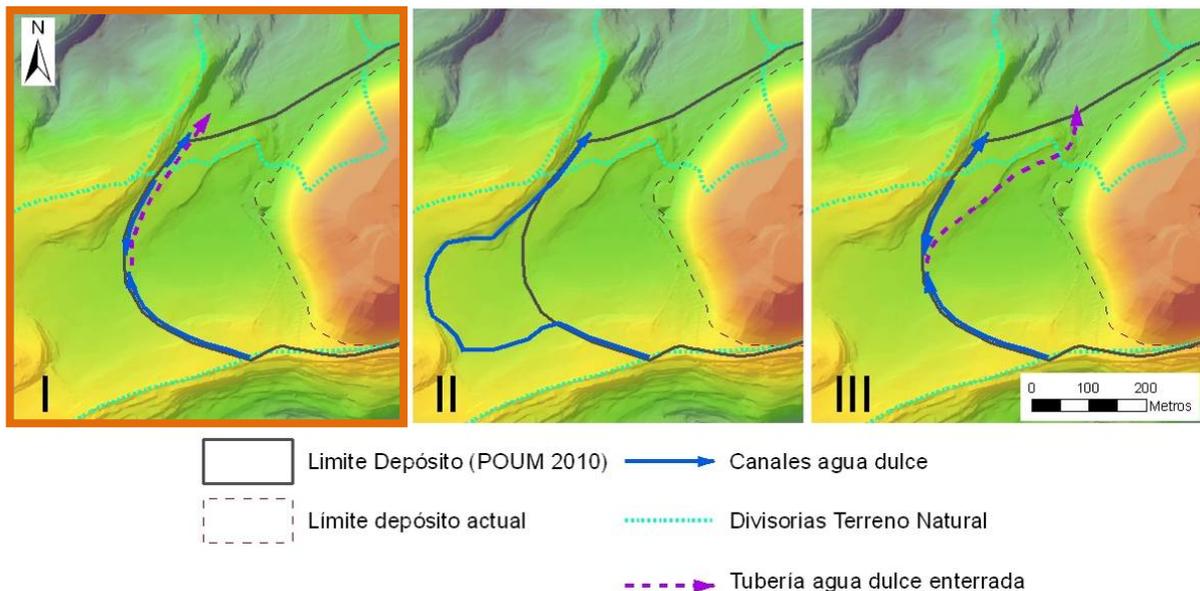


Figura 9. Alternativas de los canales de agua dulce.

III. Es equivalente en todo a la alternativa I, salvo en que la tubería de evacuación del agua dulce hacia la cuenca del Soldevila se dispone bajo el depósito de sal, a favor del trazado de uno de los canales perimetrales intermedios.

Tanto en el extremo septentrional de la zona de ampliación, como en el meridional, debido a que la inclinación del terreno circundante es hacia fuera del depósito, no es necesario instalar canales de derivación de aguas dulces.

- **Gestión de aguas saladas**

El drenaje del agua salada de la zona ampliada puede seguir la misma configuración del sistema actual, mediante la prolongación de los canales y drenes existentes. No obstante, se ha creído conveniente introducir alternativas para independizar del resto del depósito tanto la regulación de las aguas saladas generadas en la zona ampliada, como la evacuación de las mismas. Por tanto, las alternativas de gestión de aguas saladas contempladas son las siguientes (ver figura 10):

1. Evacuación de las aguas de manera similar a la situación actual, a través de los drenes existentes. En la mayor parte de la zona de ampliación los nuevos elementos conducirían el agua hasta la actual arqueta occidental. En el extremo septentrional se interceptarían con un canal perimetral que las conduce a la otra arqueta. Esta solución requiere la construcción de una nueva presa en el cauce del Mas de les Coves, aguas abajo de la existente.

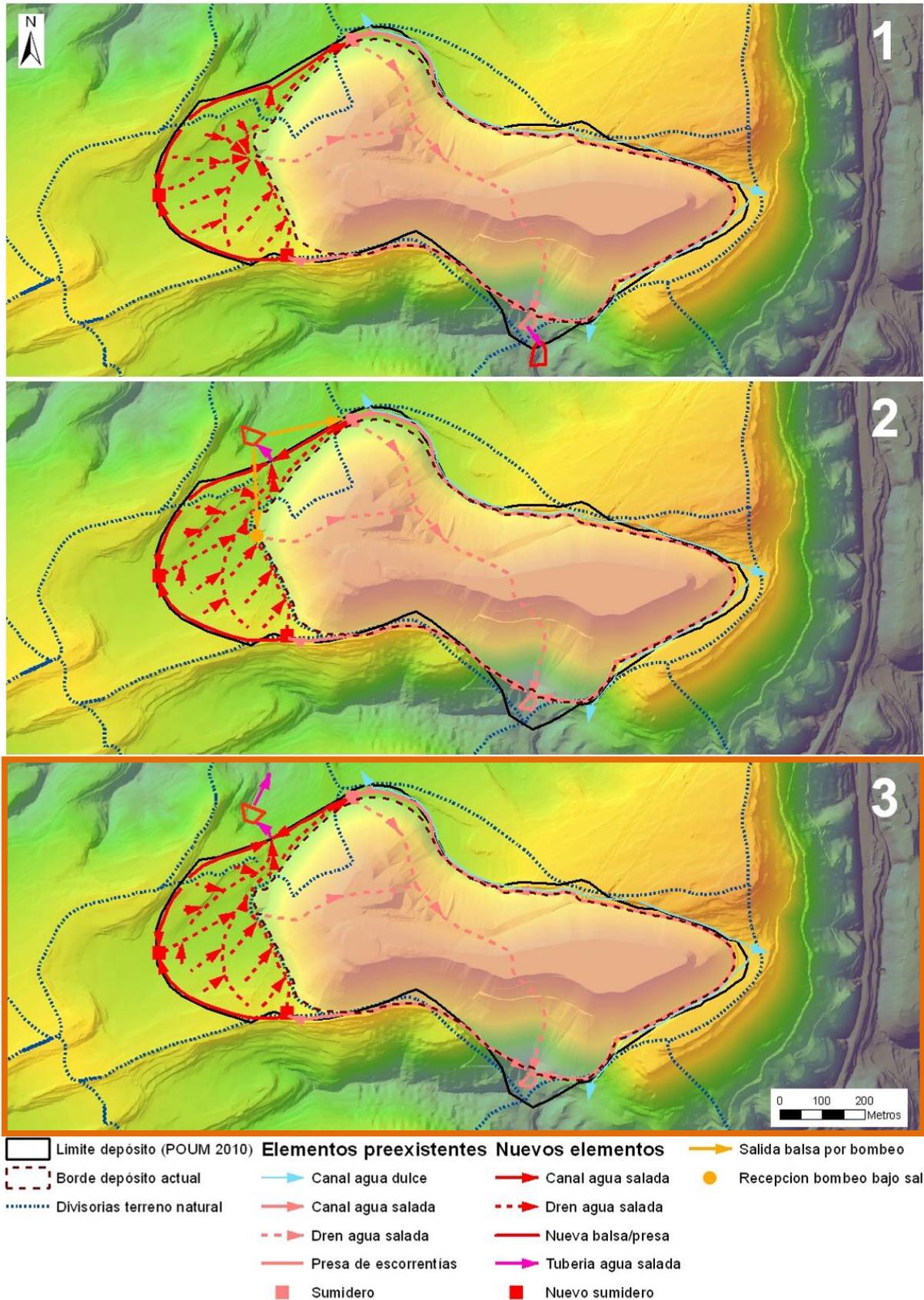


Figura 10. Alternativas de evacuación de aguas saladas.

2. Consiste en rectificar la topografía de la zona de ampliación para lograr drenar toda el agua que entre en contacto con el depósito en esta zona por el Norte, dirigiéndola hasta una nueva balsa de regulación que se construiría a la salida del depósito. A partir de esta balsa el agua se enviaría a la actual presa de escorrentías por los drenes existentes, para lo cual habría que elevar inicialmente el agua mediante bombeo. Los canales perimetrales se disponen como en la alternativa 1, salvo el tramo oriental del canal septentrional que invierte su sentido. Esta alternativa permite regular de forma independiente el drenaje de la zona de ampliación, si bien sigue evacuando el agua por los drenes existentes.
3. La disposición de drenes y canales es equivalente a la alternativa 2, y solo difiere de ésta en que desde la nueva balsa las aguas saladas se envían directamente a la fábrica por tubería, atravesando la cuenca del arroyo Soldevila. A este respecto l'ACA (*Agència Catalana de l'Aigua*) tiene previsto, en el marco de los acuerdos firmados con Iberpotash, la construcción de una tubería en este arroyo, junto con las obras pertinentes para recoger y canalizar las surgencias salinas que existen en la zona, la cual sería utilizada para evacuar las aguas de la zona de ampliación.

Tras la evaluación ambiental de estas alternativas realizada en el Estudio de Impacto Ambiental, se ha seleccionado la alternativa I de aguas dulces y la 3 de aguas saladas (resaltadas respectivamente en las figuras 9 y 10), por ser las que menor impacto ambiental presentan. La alternativa de gestión de aguas saladas seleccionada independiza totalmente el manejo de las aguas saladas generadas en la zona de ampliación, de las del resto del depósito, e incluso permite derivar por este nuevo sistema parte de las aguas generadas en el depósito actual. La alternativa de derivación de aguas dulces elegida minimiza el agua que entra en contacto con el depósito, así como el riesgo de salinización de las aguas dulces desviadas.

4.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico realizado en 2007 concluye que, de manera general, la ampliación del depósito sobre terreno natural es estable debido a la alta resistencia al corte de la sal y del sustrato rocoso sobre el que se apoya, citando como elementos más desfavorables la presencia de niveles de marga de baja resistencia, junto con las elevadas presiones intersticiales que se generan en los paquetes poco permeables cuando soportan la carga del depósito. En cualquier caso, la situación más inestable se produce en los primeros estadios una vez depositada la sal, ya que con el paso del tiempo la seguridad frente a un posible deslizamiento aumenta, tanto por el incremento de resistencia del depósito como por la disipación de las presiones de agua.

En la investigación inicial del Plan de Vigilancia del proyecto está previsto el reconocimiento del terreno en la zona de ampliación hasta una profundidad de 100 m, junto con la caracterización de los materiales localmente presentes y la instalación de piezómetros de cuerda vibrante en los niveles menos permeables, al objeto de validar a nivel local las aseveraciones genéricas del informe de 2007 y comprobar la ausencia de situaciones como las citadas, que puedan comprometer la estabilidad del sistema depósito-terreno.

5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Las principales acciones que contempla el proyecto son las siguientes:

1. Acondicionamiento de la zona de ampliación.
2. Construcción de elementos de drenaje y regulación de aguas (canales, drenes, balsas, etc.) junto con los accesos pertinentes (pistas o caminos).
3. Vertido de sal, incluyendo las operaciones de prolongación de la rampa de acceso y de la cinta transportadora.

5.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA ZONA DE AMPLIACIÓN

La zona donde se va a realizar la ampliación del depósito debe ser acondicionada previamente en lo que se refiere a la retirada de la vegetación, compactación/retirada del suelo existente, remodelación del terreno para controlar las direcciones de drenaje, y a la impermeabilización del mismo.

5.1.1 Desbroce

Durante la preparación de los nuevos terrenos a ocupar se realizará la tala y destocoado de los árboles presentes en las dos zonas vegetadas existentes, así como la limpieza de la vegetación herbácea.

5.1.2 Remodelado del terreno

Una vez desbrozado el terreno se remodelará localmente allí donde sea necesario, con el objeto de eliminar escarpes, configurar las pendientes hacia los drenes y, fundamentalmente, modificar el eje principal de drenaje de la zona de ampliación. A este respecto, a lo largo del trazado del canal de agua dulce existente se realizará una zanja que profundice lo suficiente para dar salida a las aguas saladas desde el eje de la vaguada y la arqueta donde finaliza el canal perimetral que actualmente recoge las aguas del extremo suroccidental del depósito. La zanja tendrá taludes 1H:1V y su eje longitudinal una pendiente mínima del 1,5 %. La profundidad máxima es de 3 metros y el volumen de tierra a excavar de 1.459 m³, afectando a una superficie de 1.350 m².

Las tierras excavadas serán empleadas para rellenar parte de la zona más baja que rodea la arqueta actual. Para rellenar completamente esta zona, que abarca una superficie de 960 m², faltarían otros

443 m³. En el plano 4 se aprecian las zonas a remodelar y la topografía resultante tras modificar el eje de drenaje.

5.1.3 Compactación o retirada del suelo

Antes de la impermeabilización del área, y en función de los resultados del estudio geotécnico en lo referente a la capacidad de compactación del suelo existente, y a su influencia en la estabilidad de la capa impermeable a instalar y del propio depósito, bien se compactará o bien será retirado, de manera previa a la impermeabilización del terreno.

5.1.4 Impermeabilización del terreno

Los condicionantes administrativos de la ampliación exigen que el terreno sobre el que se deposite la sal, tenga valores de permeabilidad de 10⁻⁹ m/s. Para cumplir con este requisito está previsto disponer una capa impermeable compuesta por un geotextil y una geomembrana del mismo tipo de la que se ha colocado en las impermeabilizaciones del terreno realizadas en la zona oriental del depósito. Además de esto, la presencia de materiales de composición arcillosa dentro de buena parte de la zona de ampliación (ver plano 5) contribuye de manera notable a disminuir el riesgo de infiltración de las aguas al subsuelo. Durante la investigación inicial previa a la ejecución del proyecto está previsto realizar una caracterización detallada de las propiedades y disposición de estos materiales. Dadas las condiciones del terreno, no se prevén efectos derivados de posibles subpresiones del nivel freático.

Las medidas adoptadas para la impermeabilización del terreno son las siguientes:

- Excavación de los canales de agua salada y las zanjas que albergarán los tubos drenantes, cuya impermeabilización se realizará sin solución de continuidad con el resto de la superficie, tal como se muestra en la figura 11.
- Instalación de lámina de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) sobre la superficie de asentamiento de la sal, las zanjas de los drenes y los canales.
- Instalación de geotextil sobre la lámina de PEAD, al objeto de proteger mecánicamente contra punzonamientos la lámina impermeable.

En la figura 11 se muestra esquemáticamente el diseño de la impermeabilización.

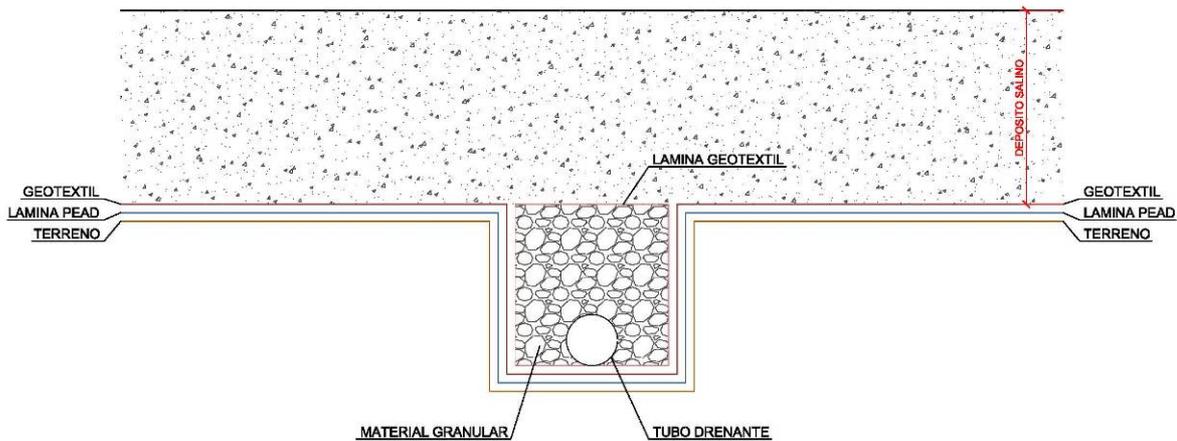


Figura 11. Sección tipo de la impermeabilización del terreno.

5.2 CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE DRENAJE, REGULACIÓN Y ACCESOS

5.2.1 Red de drenaje

El modelo más actual de circulación de aguas a través del depósito existente considera la presencia de un flujo subsuperficial a favor del contacto con el núcleo impermeable de la acumulación salina, que al llegar al terreno natural se continua por la zona alterada de éste, inmediatamente por debajo de la sal, en dirección a los antiguos ejes de las vaguadas preexistentes donde en su día se instalaron tubos de drenaje (ver figura 12). Dado que en la zona de ampliación está prevista la instalación de una cubierta impermeable, para favorecer el drenaje por el fondo del depósito se dispondrá una tupida red de drenaje sobre el terreno previamente impermeabilizado, la cual se muestra en el plano 6.

La mayor parte de la zona de ampliación tiene pendiente hacia el depósito actual (ver la figura 7 incluida en un apartado anterior y el plano 2), de manera que, respetando la topografía actual, los drenes por los que circulen las aguas salinizadas se dirigirían hacia la arqueta más occidental de las que actualmente reciben el agua de los canales perimetrales de agua salada existentes, ya que es el punto más bajo del terreno en la zona que drena hacia el depósito, si bien, tal como se ha expuesto anteriormente, este punto bajo se trasladará hacia el extremo norte, salvando la divisoria existente y concentrando allí todo el drenaje de la zona de ampliación. Para ello se modificará la topografía del modo que se muestra en el plano 4.

Para evitar la entrada de las aguas dulces que drenan hacia el depósito se construirán canales perimetrales de derivación excavados en tierra, similares a los existentes en la actualidad.



Figura 12. Modelo conceptual de drenaje del depósito salino actual.

A lo largo del perímetro final, por la parte de dentro de los canales de agua dulce, se instalarán canales de aguas saladas, impermeabilizados como los actuales, que eventualmente recojan la escorrentía superficial procedente del depósito, generada en eventos extremos de tormenta, y, en el caso de la zona perteneciente a la cuenca del arroyo Soldevila, capten de continuo las aguas saladas que drenan hacia fuera del depósito.

Durante la evolución del depósito se construirán dos canales intermedios sucesivos de aguas dulces excavados en tierra, al igual que los canales finales, que tendrán pendiente de Sur a Norte, dando salida a las aguas dulces por el punto más bajo de la zona de ampliación, paralelamente a las aguas saladas, sin que se produzca su mezcla. Por la parte de dentro de estos canales intermedios de aguas dulces no se construirán canales de aguas saladas como los finales, sino que se realizará e impermeabilizará la zanja que albergará posteriormente los tubos drenantes previstos en esa misma localización, de modo que funcionen como canales hasta la ejecución de la fase siguiente en la que se finalizan como drenes.

En la configuración final del depósito existirán por tanto unos canales perimetrales que deriven el agua dulce y capten el agua salada, y una red de drenes de aguas saladas, de los que una parte

habrá funcionado como canales perimetrales de agua salada durante las distintas fases de crecimiento del depósito previstas. Existirán además dos tuberías, una de agua dulce enterrada que desagüe los canales que no tienen salida natural, y otra de agua salada que conecte el punto de reunión de toda la escorrentía salada con la balsa de regulación. Esta tubería se dispondrá sobre la superficie y podría ser sustituida por un canal. La justificación del dimensionamiento de todos estos elementos se incluye en el capítulo siguiente y en el plano 6 se puede ver la configuración en planta de los mismos.

5.2.1.1 Canales finales

Tal como se observa en la figura 13, los canales finales se han diseñado en función de las cuencas superficiales que drenan, ya sean de aguas dulces o de aguas saladas, de manera que habrá que instalar 4 canales de aguas saladas y 3 de aguas dulces.

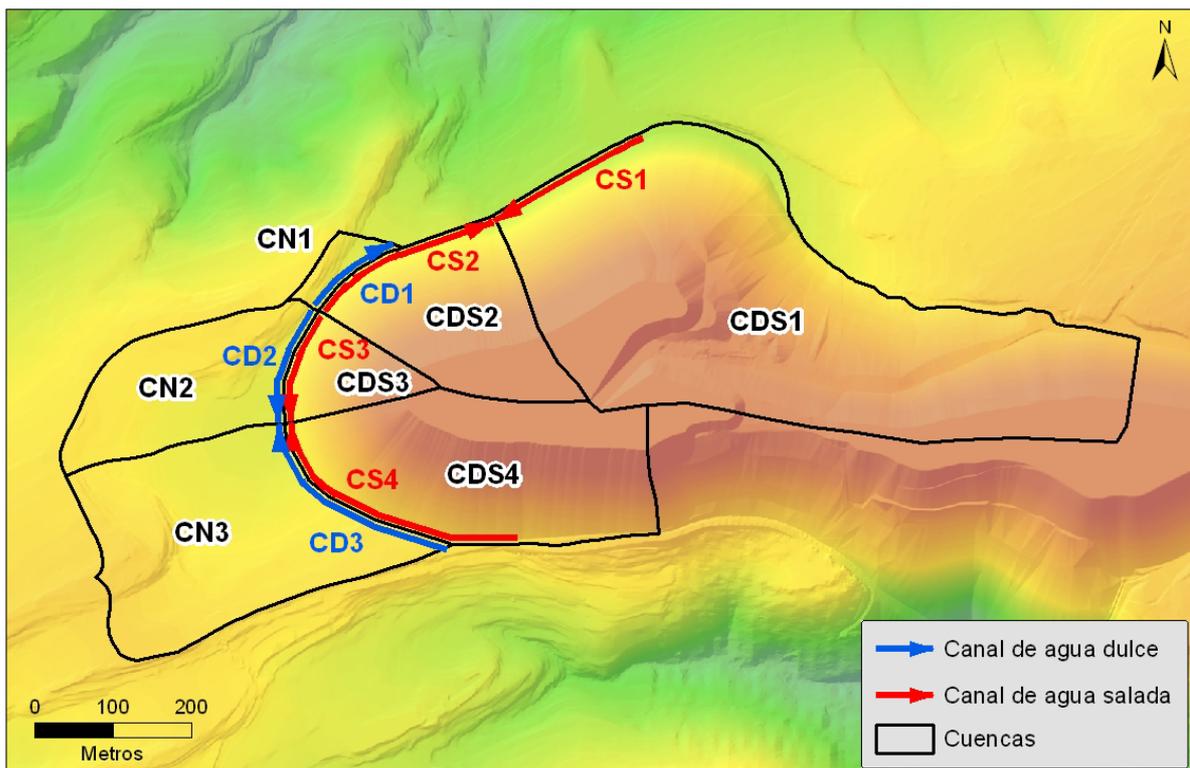


Figura 13. Cuencas de drenaje y canales de agua dulce y agua salada.

Los canales de aguas saladas terminaran por parejas en dos arquetas, una que introducirá las aguas de CS3 y CS4 en el dren principal y las conducirá hasta la otra, donde desaguan CS1 y CS2. El canal de agua dulce CD1 verterá directamente a la cuenca del arroyo Soldevila y a su salida se dispondrá una protección de escollera antierosión. Las aguas de los canales CD2 y CD3 se recogerán en una arqueta desde la que partirá una tubería enterrada que las conduzca a la cuenca del Soldevila.

Todos los canales se excavarán con paredes 1H:1V, los de agua dulce serán de tierra y los de agua salada irán revestidos con PEAD o con hormigón. Las principales características de los canales se muestran en la tabla 3, y los perfiles de los mismos se pueden ver en los planos 7 y 8.

Canal	Cuenca	Longitud (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Calado (m)	Anchura (m)	Volumen excavación (m ³)
CD1	CN1	136	7,53	5,54	0,50	1,00	34
CD2	CN2	149	5,24	3,52	0,80	1,60	95
CD3	CN3	288	15,81	5,48	0,90	1,80	233
CS1	CDS1	219	1,00	0,50	1,00	2,00	548
CS2	CDS2	255	16,66	6,53	0,60	1,20	92
CS3	CDS3	146	4,88	3,34	0,55	1,10	44
CS4	CDS4	367	19,97	5,44	0,70	1,40	180
TOTAL							1.225

Tabla 3. Características constructivas de los canales.

5.2.1.2 Drenes

El sistema de drenaje de fondo está constituido por un dren principal (DP) que recorre el eje de la vaguada y después discurre por el zanjón que traslada hacia Norte todo el desagüe salado de la ampliación, 5 drenes secundarios (DS), 4 que conectan con el principal y otro que se instalará sobre el canal perimetral existente al Noroeste del depósito actual y que conectará con el canal salado 1 (CS1), y 8 drenes terciarios (DT), subsidiarios de los anteriores. Además del agua drenada por el fondo del depósito, el dren principal recibirá las aguas de los canales CS3 y CS4. El dren secundario ubicado al Sureste de la zona de ampliación (DS5) y que coincide en su trazado con el canal perimetral actual existente en esa zona, podrá recoger las aguas procedentes del resto de este canal, que seguirá funcionando como en la actualidad. Los drenes terciarios captarán el agua que cede el depósito por el fondo en el resto de la superficie ocupada.

La instalación de los drenes comprende lo siguiente (ver figura 14):

- Excavación de la zanja e impermeabilización equivalente y solidaria con el resto de la superficie que albergará el depósito. Las paredes de la zanja serán verticales o tendrán el menor ángulo admisible, y el ancho de base y la altura de zanja será el diámetro del tubo más 0,5 metros, de modo que la sección será cuadrada en la medida de lo posible.
- Colocación de una capa de Geotextil envolvente solo en la zona perimetral de cada una de las zanjas, que permita el paso del agua y evite la entrada de sólidos a la tubería de drenaje.
- Colocación de las tuberías de PVC perforadas en su mitad superior para la captación de las aguas salinas.

- Incorporación del material drenante (grava) hasta rellenar las zanjas y tapado con el geotextil perimetral.

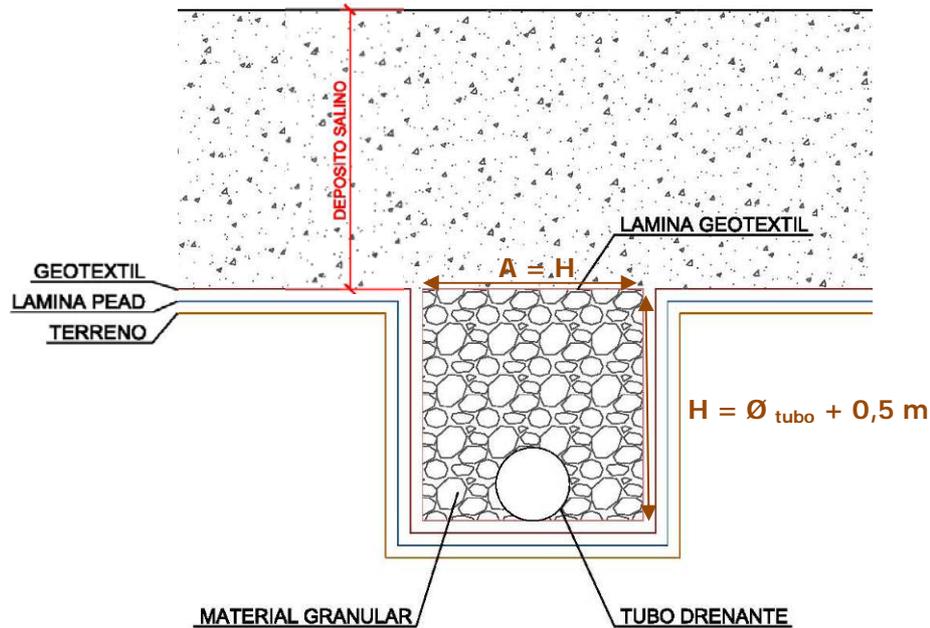


Figura 14. Diseño de los drenes

Las principales características de los drenes se muestran en la tabla 4, y los perfiles de los mismos (terreno y cota superior del tubo) se pueden ver en los planos 9 y 10.

Dren	Ø tubo (m)	Longitud (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Altura zanja (m)	Anchura zanja (m)	Volumen excavación (m ³)
DP	0,6	401	11,54	2,87	1,1	1,1	485
DS1	0,4	150	3,06	2,04	0,9	0,9	122
DS2	0,4	263	5,89	2,23	0,9	0,9	213
DS3	0,4	128	10,86	8,48	0,9	0,9	104
DS4	0,4	258	22,49	8,24	0,9	0,9	209
DS5	0,4	322	27,49	8,53	0,9	0,9	261
DT21	0,3	56	3,22	5,72	0,8	0,8	36
DT22	0,3	67	6,09	9,08	0,8	0,8	43
DT23	0,3	47	3,97	8,44	0,8	0,8	30
DT41	0,3	90	6,48	7,20	0,8	0,8	58
DT42	0,3	72	3,76	5,22	0,8	0,8	46
DT51	0,3	102	5,95	5,83	0,8	0,8	65
DT52	0,3	117	9,80	8,37	0,8	0,8	75
DT53	0,3	98	9,50	9,69	0,8	0,8	63
TOTAL							1.810

Tabla 4. Características constructivas de los drenes.

5.2.1.3 Tuberías

Se ha previsto la instalación de dos tuberías, ambas de PVC, una de agua dulce (TD) y otra de aguas salada (TS). La primera de ellas irá enterrada y conducirá el agua dulce desde la arqueta a la que llegan los canales CD2 y CD3 hacia la cuenca del Soldevila, y a su salida se colocará una protección de escollera para evitar la erosión. La segunda se dispondrá directamente sobre el terreno y conectará la arqueta de recepción final de todo el drenaje salado de la ampliación con la nueva balsa de regulación. Esta última podría ser reemplazada por un canal y, debido a su elevada pendiente, deberá incorporar elementos de disipación de energía. Las principales características de estas dos tuberías se muestran en la tabla 5, y los perfiles longitudinales de las mismas se pueden ver en el plano 11. Para la colocación de la tubería enterrada se realizará la zanja correspondiente cuya base tendrá un ancho equivalente al diámetro del tubo más 0,4 metros. Las paredes tendrán la mínima inclinación que garantice la estabilidad y seguridad durante la instalación de los tubos y permanecerá abierta el menor tiempo posible. A efectos de cálculo, dada la competencia esperable en el tipo de materiales a excavar, se ha considerado un talud de 1H:2V. Los acopios de tierra y la maquinaria deberán permanecer a una distancia del borde de la zanja de al menos la mitad de su altura. La tubería se dispondrá sobre una cama de 10 cm de arena de miga compactada, realizando el relleno lateral y superior con la misma arena, hasta 30 cm por encima del tubo. El resto de la zanja se rellenará con el material excavado, compactándolo en tongadas de espesor adecuado.

Tubería	Ø tubo (m)	Longitud (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Excavación de la zanja		
					Altura máxima (m)	Anchura base (m)	Volumen sobrante (m ³)
TD	0,8	322	5,47	1,69	9	1,2	696
TS	0,8	65	8,34	12,83	-	-	-

Tabla 5. Características constructivas de las tuberías.

5.2.2 Balsa de regulación

En función de lo anterior, las aguas dulces que pudieran dirigirse hacia la zona ampliada del depósito se desviarían a la cuenca del Soldevila, y las aguas saladas que se generen en esta zona, a una nueva balsa construida al norte de la zona de ampliación.

5.2.2.1 Diseño

Esta nueva balsa se conformará mediante un dique de arcillas compactadas procedente de la excavación de drenes y canales, y su vaso y talud de aguas arriba estará impermeabilizando con lámina de PEAD y geotextil. La salida de la balsa se realizaría por bombeo, instalando bombas con

una capacidad de 50 l/s, que enviarán el agua salada hacia el colector de salmueras a través de la tubería que la *Agència Catalana de l'Aigua* tiene previsto construir por el cauce del torrente Soldevila. Las principales características de la balsa se muestran en la tabla 6.

Dique						Vaso de embalse		
Volumen (m ³)	Altura máxima (m)	Pendiente taludes	Cota máxima (m s.n.m.)	Longitud coronación (m)	Área (m ²)	Volumen máximo (m ³)	Área máxima (m ²)	Profundidad máxima (m)
4.301	9	1,5H:1V	476	74	1.307	5.660	2.206	7

Tabla 6. Características constructivas de la balsa.

En el plano 12 se puede ver el detalle del dique a construir y la máxima lámina de embalse. Al pie del talud de aguas abajo se colocará un dren de escollera y un sistema de retorno para las aguas que sean captadas por el dren. Se dispondrá también de un aliviadero que evite que la presa desborde por coronación. Si se considera un resguardo de 0,5 m el volumen de embalse baja hasta 4.640 m³, que sigue siendo superior al de diseño (4.446 m³), calculado en el capítulo siguiente. Por el perímetro del vaso se dispondrá un canal de derivación de aguas dulces excavado en tierra, dividido en dos tramos de 47 m (el oriental) y 94 m (el occidental), de sección triangular, calado de 0,5 m y anchura de 1 m.

El volumen de tierras excavadas para instalar los canales, drenes y tuberías definitivos es de 3.731 m³, que sumados a 1.095 m³ de los canales de agua dulce intermedios, y a 71 m³ procedentes del canal perimetral de la presa, hacen 4.897 m³. Este volumen de tierras se empleará para conformar el dique (4.301 m³) y terminar de rellenar la zona baja del entorno de la arqueta occidental (443 m³). El volumen sobrante de estos cálculos (153 m³) junto con el procedente de los tramos de los canales salados intermedios que no se reconvertirán a drenes (123 m³), no contemplado en la tabla 4, será incorporado al dique. En caso de requerir mayor volumen de embalse, éste se obtendrá mediante recrecimiento del dique con los materiales arcillosos presentes en el vaso y alrededores.

No obstante, dado que la preparación del terreno e instalación de elementos de drenaje se efectúa por fases, no toda la tierra a excavar estará disponible al inicio del proyecto, que es cuando se construye la balsa. Por tanto, o bien se realiza el dique de forma progresiva, en función de la tierra disponible y el volumen de balsa necesario en cada fase, o bien se toma la tierra de una zona de préstamo a la que se enviarán las tierras excavadas en las fases posteriores. Otra posibilidad es formar el dique inicial con las tierras disponibles en la primera fase, completadas con las excavadas del vaso de la balsa, aunque en este caso habría que desplazarla para que se localizase en mayor

medida sobre materiales arcillosos, recreciendo el dique con el volumen de tierras generado en las fases siguientes.

5.2.2.2 Recomendaciones constructivas

Para garantizar una buena cimentación se eliminarán todos aquellos elementos naturales y artificiales que impidan conseguir un medio natural resistente, indeformable e impermeable como por ejemplo, troncos, árboles, tierra vegetal con alto contenido en materia orgánica, elementos antrópicos, escombros, etc.

El dique de cierre debe de cumplir tres requisitos fundamentales:

- Estabilidad: Debe ser estable frente a la carga de agua, posibles presiones intersticiales y acciones sísmicas.
- Integridad: Necesidad de que todos los componentes del dique se encuentren unidos durante la vida de la obra.
- Impermeabilidad: El dique de cierre de la balsa debe ser lo suficientemente impermeable.

El drenaje del dique captará las posibles filtraciones que se puedan producir, disminuyendo a su vez el nivel piezométrico.

El vaso de la balsa debe ser impermeable y para ello se recubrirá con el mismo sistema empleado en la zona de ampliación del depósito.

Los dispositivos de entrada de agua serán diseñados de tal modo que el agua no produzca desperfectos en la balsa para ningún valor de caudal previsto. La entrada de agua se realizará por la cola del vaso, donde se instalará una arqueta de recepción. La salida de agua se realizará mediante toma fija o flotante.

Se comenzará con los trabajos de replanteo topográfico, instalaciones provisionales y caminos de acceso, así como la reposición de los servicios afectados en caso necesario.

La tierra vegetal retirada durante el saneo del terreno se debe acopiar para su utilización posterior en la regeneración de los taludes exteriores, o en la revegetación de la zona afectada provisionalmente durante las obras.

El dique de cierre se construirá extendiendo capas (tongadas) horizontales, que posteriormente se compactarán hasta alcanzar los requisitos de densidad establecidos previamente.

Una vez llegado a la coronación ésta se nivela, dando una mínima pendiente hacia el exterior para permitir el drenaje superficial. Sobre la coronación del dique se habilitará un camino, que permita su inspección.

La impermeabilización del vaso y el talud interior se realizará de arriba hacia abajo mediante desenrollado, en primer lugar se dispone el geotextil y sobre éste se extiende la lámina de PEAD.

La protección del talud exterior habitualmente se hace mediante hidrosiembra, aunque también se podrá hacer añadiendo una capa de escollera, o estabilizándolo con cal, dada su composición arcillosa.

5.2.3 Caminos de acceso

A lo largo del perímetro de la zona de ampliación se prolongarán los accesos (pistas) ya existentes, manteniendo las mismas características. El camino perimetral de la zona ampliada tendrán un ancho de 6 metros, por el lado del depósito llevará ceñido el canal de aguas saladas y por el lado exterior el de aguas dulces tal como se puede observar en el plano 6. La longitud del canal perimetral final previsto es de 825 metros. Durante las dos fases intermedias se construirán sendos caminos perimetrales de iguales características que el final tal como se puede apreciar en los planos 13 y 14. Algunos tramos de estos caminos intermedios formarán parte del camino perimetral final.

5.3 DISPOSICIÓN DE LA SAL

La acumulación de sal se llevará a cabo de igual forma que se hace actualmente. Se llevará la cinta transportadora hacia la zona occidental por la rampa existente, prolongándola lo necesario en dirección SO hasta alcanzar la cota requerida (510 m s.n.m.). A partir de este momento se irá depositando con lanzadera en avance manteniendo la cota, conformando el depósito previsto. El incremento máximo de longitud de cinta previsto, medido desde el punto más alto de la rampa occidental actual hasta el borde más lejano del depósito al final de la ampliación, es del orden de 350 metros. Para iluminar el nuevo tramo harán falta del orden de 17 nuevos puntos de luz equivalentes a los actuales (pantallas fluorescentes de 2x36 W). En el plano 16 se puede ver una simulación de la evolución temporal de la ampliación del depósito prevista.

6 FASES DEL PROYECTO

Las fases de ejecución del proyecto están relacionadas fundamentalmente con la preparación del terreno y la instalación de los elementos de drenaje. Dado que el crecimiento del depósito se produce en avance vertiendo por gravedad, la ocupación del terreno es progresiva y continua en el tiempo, lo cual hace que los canales perimetrales intermedios tengan un funcionamiento temporal, hasta que el depósito los alcance.

Cómo norma general, los canales ya sean de agua dulce o de agua salada, deben estar pegados al depósito para evitar que las aguas de lluvia que no caen sobre sal se acaben mezclando con las que sí que lo hacen. Sin embargo, como la superficie ocupada por el depósito va cambiando con el tiempo, para mantener esta condición habría que estar moviendo los canales continuamente, lo cual resulta inviable.

La solución reside en establecer una configuración de canales que funcionen durante un tiempo determinado sobre una superficie dada, asumiendo que desde el inicio hasta el final de dicha configuración, se tratará como agua salada toda la que caiga sobre esta superficie aunque solo esté completamente cubierta de sal el final de su periodo de funcionamiento. De este modo, cuando el depósito cubre la superficie de una configuración (o una fase), y antes de que se sobrepase la misma, los canales de agua salada que van a ser cubiertos por el depósito se completan como drenes para favorecer el drenaje interno del depósito, y se realiza la preparación del terreno y configuración de canales y drenes de la siguiente fase.

Teniendo en cuenta el diseño de la red de drenaje, los tiempos de evolución del depósito previstos, y los precedentes existentes en depósitos similares, se han establecido tres fases que se ajustan al desarrollo temporal de la extensión superficial del depósito. En la figura 15 se puede ver la superficie de la zona de ampliación que se vería afectada en cada una de las tres fases consideradas.

Inmediatamente antes de cada una de las tres fases se realizará el acondicionamiento del terreno y la instalación de los elementos de drenaje pertinentes, cuya disposición final se muestra en el plano 6. El alcance de cada una de las fases se describe a continuación.

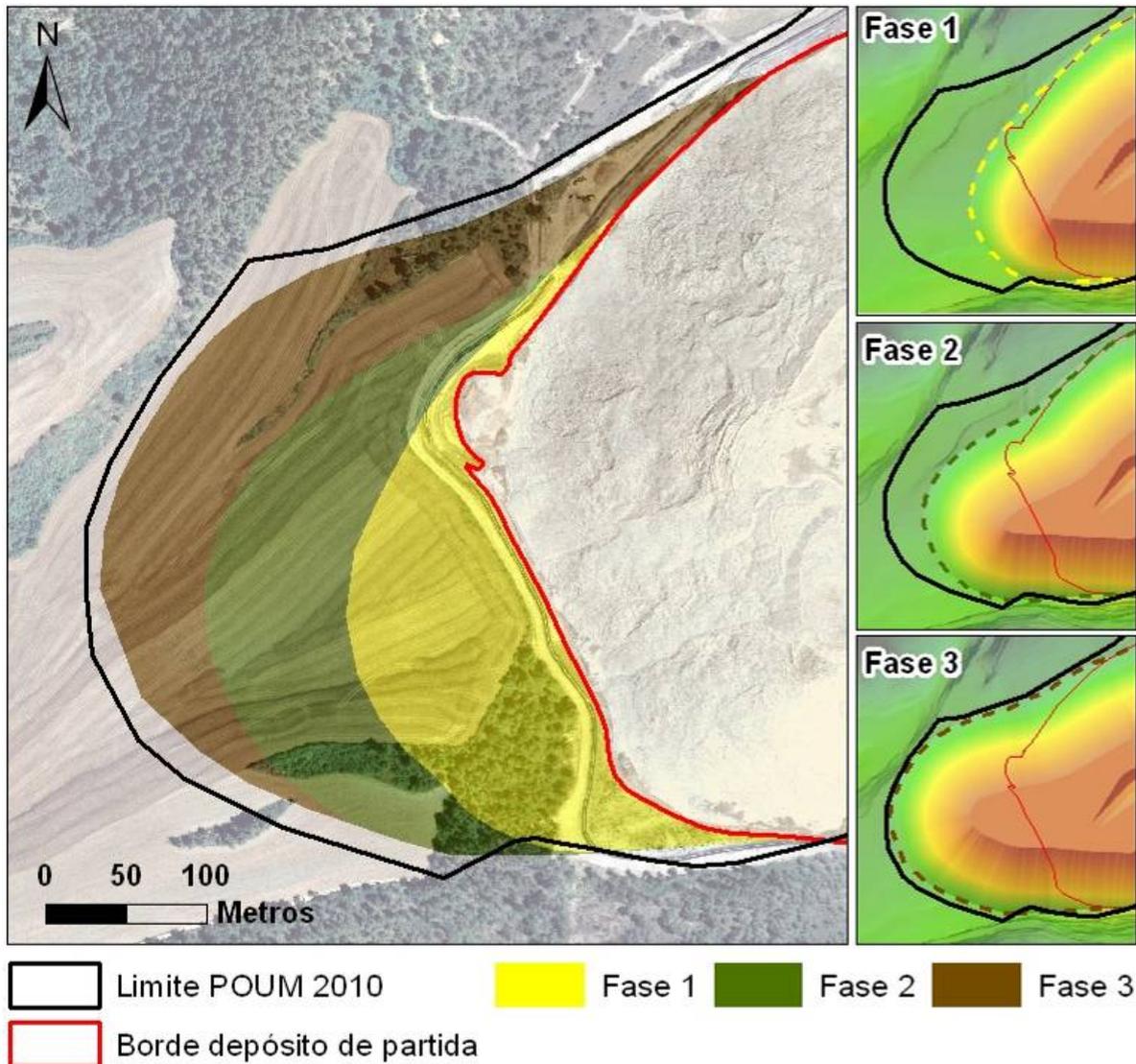


Figura 15. Fases de preparación del terreno.

6.1 FASE 1

El terreno a preparar en la primera fase, junto con los distintos elementos a instalar, se muestra en el plano 13. En la fase inicial se realizará el dren DS5 sobre el canal perimetral actual situado al Suroeste del depósito, además de los drenes DT51, DT52 y DT53 que conectan con este último. Se realizará también el primer canal de agua dulce intermedio (CDF1), y el primer tramo del canal CS4 (48 m), así como la zanja que albergará en la fase siguiente los drenes DS4 y DP, la cual funcionará como canal perimetral en esta fase junto con el tramo inicial de CS4. Para ello, habrá que prolongar la zanja 52 m respecto a la longitud prevista del dren DS4 (258 m), al objeto de conectarla con el primer tramo del canal CS4. La longitud de zanja correspondiente al futuro DP, con el que conecta

el DS4, es de 198 m. El tramo no modificado del canal actual reconvertido en parte en el dren DS5 se podrá conectar con el canal CS4 o introducir en el dren mediante una arqueta de entrada.

El canal CS1 puede también construirse en esta fase para dar salida por la nueva balsa a la escorrentía salina que actualmente se introduce por la arqueta Norte, conectando con él los dos canales que desembocan en la misma. Al final de este canal y de la zanja que actúa como canal perimetral salado en esta fase, se construirá una arqueta de recepción de la cual partirá la tubería (TS), también construida en esta fase, que dirigirá la escorrentía salada hacia la arqueta de entrada a la nueva balsa de regulación, cuya construcción puede ser completa o adaptarse a la demanda real de capacidad de regulación existente en esta fase, tal como se ha mencionado anteriormente. Entre el canal perimetral de agua dulce y la zanja que hará las funciones de canal de agua salada por el Oeste, discurrirá la pista de mantenimiento de esta fase que será prolongación de las existentes. En la tabla 7 se resume en cifras el alcance de la preparación del terreno y la instalación de elementos de drenaje en la primera fase.

Superficie (ha)	Excavación (m ³)	Relleno (m ³)	Longitud canales dulces (m)	Longitud canales salados (m)	Longitud drenes (m)	Longitud tubería (m)	Nº arquetas	Longitud pistas (m)
3,09	3.563	1.902	647	770	639	65	3	501

Tabla 7. Alcance de la primera fase.

Los datos principales del canal dulce perimetral (CDF1) que funcionará en esta fase se incluyen en la tabla 8.

Canal	Longitud (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Calado (m)	Anchura (m)	Volumen excavación (m ³)
CDF1	506	24,61	4,86	1,00	2,00	506

Tabla 8. Características del canal de agua dulce intermedio de la fase 1.

Para la reconversión del canal existente en el dren DS5 se valorará la posibilidad de realizarlo sobre la configuración actual del canal, sin realizar una zanja nueva.

De la tabla 7 se desprende que el volumen de tierras disponible para la conformación del dique de la balsa, es de 1.661 m³, insuficiente para construir el dique completo previsto (4.301 m³), de modo que el resto de tierras se deberán traer de una zona de préstamo teniendo en cuenta las alternativas comentadas anteriormente en el apartado de diseño de la balsa. Se considerará la posibilidad de adecuar el dique al volumen de embalse necesario para esta fase, recreciéndolo en las fases siguientes en función del aumento de capacidad demandada.

6.2 FASE 2

El terreno a preparar en la segunda fase, junto con los distintos elementos a instalar, se muestra en el plano 14. En esta fase se completará el dren DS4 sobre su zanja, excavada en la fase anterior para funcionar como canal de agua salada, y se instalarán los drenes DT41, y DT42 que conectan con él, dejando tal cual el tramo de zanja que conectaba la parte instalada como dren con el primer tramo del canal CS4. Del mismo modo, se completará como dren un tramo de 142 m de los 198 m de zanja del dren principal (DP), que también funciona como canal en la fase anterior, quedando libres los últimos 56 m que en esta fase siguen funcionando como canal. Se instalará además de forma completa un nuevo tramo del DP de 127 m.

El canal de agua dulce de la fase anterior (CDF1) se desechará casi por completo, dejando únicamente operativos los últimos 25 m con los que enlazará el segundo canal de agua dulce intermedio a instalar en esta fase (CDF2), cuyos primeros 96 m coincidirán con el canal CD3. Entre éste y el depósito, dejando espacio para la pista de mantenimiento, se instalará el segundo tramo del canal CS4 (155 m), que junto con las zanjas de los futuros drenes DS2 y DS3, y los tramos de conexión necesarios (48 m entre DS2 y DS3, y 42 m entre DS3 y CS4), conforma el canal perimetral de agua salada de esta fase, que desagua en la zanja descubierta del tramo final del DP.

Igual que en la fase anterior, la pista de mantenimiento de esta fase discurrirá entre los canales perimetrales de agua dulce y agua salada, aprovechando 127 de los extremos del camino construido en la fase anterior, 52 m al Norte y 75 al Sur. En la tabla 9 se resume en cifras el alcance de los trabajos de preparación del terreno e instalación de elementos de drenaje a ejecutar en la segunda fase.

Superficie (ha)	Excavación (m ³)	Relleno (m ³)	Longitud canales dulces (m)	Longitud canales salados (m)	Longitud drenes (m)	Longitud tubería (m)	Nº arquetas	Longitud pistas (m)
2,82	1.313	-	589	623	689	-	-	621

Tabla 9. Alcance de la segunda fase.

Los datos principales del canal dulce perimetral instalado en esta fase (CDF2) se incluyen en la tabla 10.

Canal	Longitud (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)	Calado (m)	Anchura (m)	Volumen excavación (m ³)
CDF2	589	23,30	3,95	1,00	2,00	589

Tabla 10. Características del canal de agua dulce intermedio instalado en la fase 2.

6.3 FASE 3

El terreno a preparar en la última fase, junto con los distintos elementos a instalar, se muestra en el plano 15. En esta fase se realizará el dren DS1 sobre el canal perimetral actual situado al Noroeste del depósito, que desemboca en la arqueta Norte, el cual se conectará al canal CS1 en la primera fase de la ampliación. Se completarán además como drenes el tramo final de la zanja del dren DP, que permanecía abierta en la fase anterior, así como las zanjas de los drenes DS2 y DS3, que funcionaron como canal de agua salada en dicha fase, y se instalarán los drenes DT21, DT22 y DT23 que conectan con DS2, dejando tal cual los dos tramos de zanja que conectaban las partes instaladas como drenes entre ellas, y la zanja del DS3 con el segundo tramo del canal CS4. Se instalará también el tramo que completa el dren principal (DP) que es de 74 m.

Se realizarán los canales de agua dulce finales CD1 y CD2, y se completará el CD3, cuyo tramo inicial (96 m) forma parte del CDF2 construido en la fase anterior. Se instalará también la arqueta que recibe las aguas de los canales CD2 y CD3, y la tubería que desde ésta las conduce a la cuenca del Soldevila.

En cuanto a los canales de agua salada, se construirán el CS2 y el CS3 y se completará el CS4, cuyos primeros 203 m ya fueron construidos en las fases anteriores, así como la arqueta que recibe las aguas de CS3 y CS4 y las introduce en el dren principal (DP).

Siguiendo la pauta de las fases anteriores, la pista de mantenimiento se ubicará entre los canales perimetrales de agua dulce y agua salada, de la que 225 m ya existirán de las fases anteriores, 20 m en el extremo Norte y 205 en el Sur. En la tabla 11 se resume en cifras el alcance de la preparación del terreno y la instalación de elementos de drenaje en la tercera fase.

Superficie (ha)	Excavación (m ³)	Relleno (m ³)	Longitud canales dulces (m)	Longitud canales salados (m)	Longitud drenes (m)	Longitud tubería (m)	Nº arquetas	Longitud pistas (m)
3,39	6.778	5.261	477	565	841	322	2	594

Tabla 11. Alcance de la tercera fase.

Para la reconversión del canal existente en el dren DS1 se valorará la posibilidad de realizarlo sobre la configuración actual del canal, sin realizar una zanja nueva. En función de los datos de la tabla 11, el excedente de tierras excavadas es de 1.517 m³.

7 GESTIÓN DE AGUAS

En el siguiente capítulo se abordan las cuestiones relacionadas con el proceso de gestión de las aguas, como son los cálculos hidrológicos e hidráulicos y el estudio de los balances de agua esperables una vez ampliado el depósito.

7.1 CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

El objeto de este apartado es determinar los caudales máximos previsibles en cada una de las cuencas diferenciables en la situación final de la ampliación prevista, para el periodo de retorno considerado, que es de 25 años. Los resultados obtenidos se consideran como datos de partida para el dimensionamiento de las secciones de los canales.

Se han distinguido dos tipos de cuencas, unas naturales (CN) y otras del depósito salino (CDS). En las cuencas naturales se generará agua dulce que verterá hacia el depósito salino (ver plano 17 y figura 13), y en las del depósito agua salada que escurrirá por su superficie solo en momentos extremos de tormenta.

La metodología seguida para realizar el cálculo de caudales se basa en los métodos propuestos en la publicación del CEDEX "Recomendaciones para el Cálculo hidrometeorológico de avenidas", en relación a los caudales máximos de la cuenca. El cálculo se ha realizado según el método racional modificado mejorado para pequeñas cuencas (Revista de Ingeniería Civil nº 82), ajustado con el suficiente grado de detalle para el área involucrada.

Este método parte básicamente de las mismas hipótesis que el clásico método racional, pero incluye un factor corrector de uniformidad que contempla el reparto temporal del aguacero, cuya duración total se considera equivalente al tiempo de concentración, tal como establece también la fórmula racional clásica.

La hipótesis de lluvia neta constante que ésta establece no es real, y en la práctica existen variaciones en su reparto temporal que favorecen el desarrollo de los caudales punta. Esto complica el problema de obtener una fórmula simple para el análisis de los caudales punta.

Sin embargo este método, dentro de la duración del tiempo de concentración, refleja globalmente la variación de la lluvia neta, refiriendo los caudales punta determinados, considerando esa variación,

a los caudales homólogos calculados con lluvia neta constante. Así, si se denomina K al cociente entre ambos, resulta la ley:

$$Q = \frac{CIA}{3,6} K$$

siendo:

- Q: Caudal punta en m³/s
- I: Máxima intensidad media en el intervalo de tiempo igual al tiempo de concentración en mm/h
- A: Superficie de la cuenca en km²
- C: Coeficiente de escorrentía del intervalo donde se produce I
- K: Coeficiente de uniformidad

El valor de K depende fundamentalmente del tiempo de concentración, aunque puede variar de unos episodios a otros. A efectos prácticos, para su evaluación, este método propone desechar la influencia del resto de variables (torrencialidad, características físicas de la cuenca, etc.) y definirlo únicamente en función del tiempo de concentración mediante la expresión:

$$K = 1 + \frac{Tc^{1,25}}{Tc^{1,25} + 14}$$

obtenida gracias a las comprobaciones empíricas realizadas en diversas estaciones de aforos, y de acuerdo con las conclusiones deducidas de los análisis teóricos desarrollados mediante otros métodos hidrometeorológicos.

7.1.1 Cuencas drenantes

Se han identificado un total de seis cuencas, que influyen en la aportación de caudal a las futuras obras de drenaje. La división de cuencas realizada puede verse en el plano 17 y la figura 13. Así, se pueden distinguir los dos grupos de cuencas que a continuación se describen:

1. Cuencas naturales (no se ha hecho ninguna modificación previa del terreno, vierten sus aguas contra el depósito y la escorrentía que producen es agua dulce). Este grupo de cuencas queda dividido en:
 - Cuenca natural 1 (CN1): Pequeña cuenca perteneciente al torrente Soldevila, situada inmediatamente al Noroeste del depósito salino.

- Cuenca natural 2 (CN2): Cuenca situada al Sur de la anterior y al Oeste del depósito salino. Abarca la porción septentrional de la cabecera de la cuenca del torrente Mas de les Covés.
 - Cuenca natural 2 (CN3): Cuenca situada al Sur de la anterior y al Suroeste del depósito salino. Abarca la porción meridional de la cabecera de la cuenca del torrente Mas de les Covés.
2. Cuencas del depósito salino (cuencas en las que se puede dividir la acumulación de sal cuya superficie se drenará por la zona ampliada, en las que la escorrentía generada es de carácter salino). Este segundo grupo queda dividido en:
- Cuenca depósito salino 1 (CDS1), situada al Norte del depósito, vierte sus aguas hacia la cuenca del Soldevila, e incluye la parte que actualmente se drena por el canal salado que recorre la mayor parte del borde Norte del depósito actual, ya que dicho canal se conectará con el que recoja el agua del resto de esta cuenca, correspondiente a la zona ampliada.
 - Cuenca depósito Salino 2 (CDS2), situada al Oeste de la anterior, pertenece toda ella a la zona ampliada y vierte igualmente hacia el Soldevila.
 - Cuenca depósito Salino 3 (CDS3), situada al Oeste del depósito, drena sus aguas hacia la cuenca del Mas de les Covés, que presenta pendiente contraria a la del depósito.
 - Cuenca depósito Salino 3 (CDS4), abarca la porción suroccidental del depósito ampliado y vierte también al Mas de les Covés. Incluye una parte que actualmente se drena por el canal salado que recorre el borde Suroeste del depósito actual, ya que dicho canal se podrá conectar con el que recoja el agua del resto de esta cuenca.

Una vez identificadas las distintas cuencas drenantes, se ha obtenido su superficie, el desnivel máximo en ellas, su longitud máxima y la pendiente media. En la tabla 12 incluida a continuación se muestra un resumen de estas subdivisiones y las características de cada una de ellas.

CUENCAS	SUPERFICIE (m ²)	COTA MAXIMA (m)	COTA MINIMA (m)	DESNIVEL (m)	LONGITUD MAXIMA (m)	PENDIENTE MEDIA
CN1	4.790	407	395	12	90,94	13,20%
CN2	41.367	414	396	18	294,95	6,10%
CN3	77.605	420	397	23	374,85	6,14%
CDS1	185.125	510	400	110	383,29	28,70%
CDS2	42.591	510	388	122	269,46	45,28%
CDS3	17.061	510	399	111	188,26	58,96%
CDS4	73.950	510	398	112	213,80	52,39%

Tabla 12. Características físicas de las cuencas.

7.1.2 Cálculo de la lluvia de proyecto

Para el cálculo de las precipitaciones se emplea el método descrito en la publicación "Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular", de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, mediante el uso de la aplicación MAXPLU. Dicha aplicación dispone de las siguientes posibilidades generales para el análisis de máximas lluvias diarias en la España peninsular:

- Obtención del valor medio de la máxima precipitación diaria anual \bar{P} y del coeficiente de variación Cv.
- Estimación de la precipitación diaria máxima correspondiente a diferentes periodos de retorno, partiendo del valor de su media y su coeficiente de variación, asumiendo una distribución SQRT-ET máxima.

Para ambas posibilidades se parte de coordenadas geográficas o coordenadas UTM referidas a los Husos 29, 30 ó 31. En este caso se ha hecho uso de la segunda de las posibilidades (precipitación diaria máxima para diferentes periodos de retorno), a partir de las coordenadas UTM referidas al Huso 31.

7.1.3 Precipitación

Las máximas lluvias diarias esperables, en función del período de retorno considerado, tienen los valores que se muestran en la tabla 13, mostrada a continuación.

COORDENADAS		PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA - Pd (mm)						
UTM X	UTM Y	5	10	15	25	50	100	500
406998,00	4628993,00	72,00	86,00	95,00	107,00	123,00	140,00	184,00

Tabla 13. Precipitación máxima diaria Pd (mm).

El valor medio de la cuenca así deducido debe ajustarse mediante un factor de reducción en función de su área, que se justifica por la no simultaneidad de las precipitaciones de un mismo periodo de retorno en todos los puntos de la cuenca. Este factor es, siendo A el área de la cuenca, el siguiente:

$$\begin{aligned}
 K_A &= 1 && \text{si } A \text{ (km}^2\text{)} < 1 \\
 K_A &= 1 - (\log A)/15 && \text{si } 1 \leq A \text{ (km}^2\text{)} \leq 3000
 \end{aligned}$$

Puesto que la superficie de todas las cuencas analizadas es inferior a 1 km², el factor de reducción areal tiene como valor la unidad y las máximas lluvias diarias a considerar son las que se han mostrado en la tabla 13.

7.1.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo necesario para que llegue al punto más bajo el máximo caudal de la cuenca considerada, es decir, la precipitación caída en los lugares más alejados de la misma, y se obtiene de la fórmula:

$$T_c = 0.3 \left[\frac{L}{J^{0.25}} \right]^{0.76}$$

siendo:

- T (h): tiempo de concentración
- L (km): la longitud del cauce principal
- J (m/m): su pendiente media

Los tiempos de concentración obtenidos a partir del análisis de cada una de las cuencas consideradas y las características de éstas son los mostrados en la tabla 14.

CUENCAS	SUPERFICIE	LONGITUD MAX (Km)	PDTE MEDIA (m/m)	Tc (h)	Tc (min)
CN1	4.790,00	0,09094	0,1320	0,0713	4,3
CN2	41.367,00	0,29495	0,0610	0,2018	12,1
CN3	77.605,00	0,37485	0,0614	0,2419	14,5
CDS1	185.125,00	0,38329	0,2870	0,1835	11,0
CDS2	42.591,00	0,26946	0,4528	0,1287	7,7
CDS3	17.061,00	0,18826	0,5896	0,0932	5,6
CDS4	73.950,00	0,2138	0,5239	0,1050	6,3

Tabla 14. Tiempos de concentración.

7.1.5 Intensidad de precipitación

La intensidad de lluvia a considerar para el cálculo del caudal según la fórmula propuesta, se refiere a un valor medio a lo largo del intervalo de duración igual al tiempo de concentración. Para su estimación el método empleado propone las mismas fórmulas y curvas de la Instrucción 5.2-I.C. de Drenaje Superficial de Carreteras (M.O.P.U., 1990), si bien se considera que la precipitación media diaria ha sido corregida en función del factor de reparto areal, ya descrito en el apartado anterior (Ka). Las expresiones para su cálculo son:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

donde:

$t(h)$: Duración del intervalo al que se refiere I_t en horas .

$I_d = \frac{Pd}{24} \times K_A$ (mm/h): Intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado. Es igual a $Pd/24$.

Pd (mm): Precipitación total diaria correspondiente a dicho período de retorno.

$\frac{I_1}{I_d}$: Cociente entre la intensidad horaria y la diaria.

El valor de la razón (I_1/I_d) depende de la zona de estudio, siendo el cociente entre la intensidad horaria y diaria, independientemente del período de retorno. Se obtiene por medio del mapa de isóneas mostrado en la figura 16 (M.O.P.U., 1990) que corresponde a la figura 2.2 de la Instrucción 5.2-I.C. Su valor en el presente caso es: $I_1/I_d=10,7$.

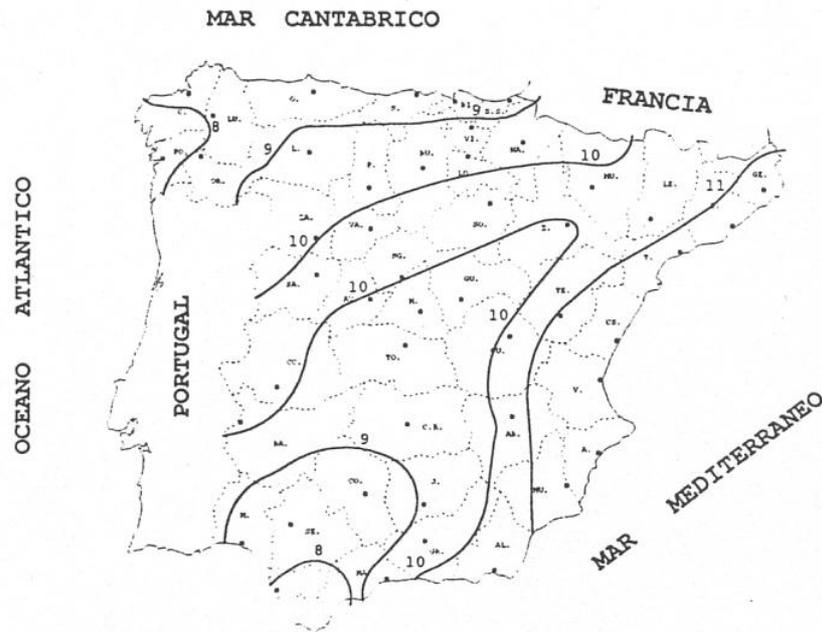


Figura 16. Mapa de isóneas del factor I_1/I_d .

A partir de esta expresión se puede calcular la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia, obteniendo la relación entre la intensidad de lluvia y el intervalo de tiempo de referencia que se esté considerando en cada momento, para la frecuencia, o su inverso, para el periodo de retorno considerado que es de 25 años.

Para el cálculo del caudal punta se ha de utilizar una duración del episodio de lluvia igual al tiempo de concentración. El tiempo de concentración de una cuenca, T_c , se divide en un tiempo de escorrentía T_e , que es el tiempo que una gota de lluvia tarda en alcanzar la primera salida a la red de drenaje, y un tiempo de recorrido T_r , que es el tiempo que una gota de agua tarda en alcanzar la sección de estudio, circulando por la red de drenaje. Por lo que $T_c = T_e + T_r$.

Aplicando la Fórmula del punto 2.3 de la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial de Carreteras se calcula, para un período de retorno de 25 años, y un episodio de lluvia de duración igual al tiempo de concentración de cada una de las cuencas consideradas, dentro del sector de actuación, la intensidad o lluvia de proyecto mostrada en la tabla 15.

CUENCA	T_c (h)	T_c (min)	Id (T_r) (mm/h)	$(28^{0.1-t_c^{0.1}}) / (28^{0.1-1})$	I (mm/h)
			25		25
CN1	0,0713	4,3	4,46	1,5870	191,77
CN2	0,2018	12,1		1,3740	115,76
CN3	0,2419	14,5		1,3346	105,44
CDS1	0,1835	11,0		1,3944	121,49
CDS2	0,1287	7,7		1,4687	144,89
CDS3	0,0932	5,6		1,5341	169,19
CDS4	0,1050	6,3		1,5102	159,87

Tabla 15. Intensidades máximas de precipitación.

7.1.6 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía define la porción de la intensidad de lluvia que genera escorrentía superficial. La formulación que propone este método coincide con la de la Instrucción 5.2-I.C. y está basada en las relaciones lluvia-escorrentía propuestas por el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S. 1972) definidas como:

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23 \cdot P_o)}{(P_d + 11 \cdot P_o)^2}, \text{ para } P_d > P_o$$

$$C = 0, \text{ para } P_d \leq P_o$$

siendo:

Po: umbral de escorrentía (mm)

P: precipitación acumulada (mm)

E: escorrentía superficial (mm)

La ley toma como punto de partida la ley derivada de aquella otra del U.S. Soil Conservation Service (SCS) que determina la escorrentía E de un aguacero en función de la lluvia P:

$$E = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4 \cdot P_o}, \text{ para } P > P_o. \quad E = 0, \text{ para } P < P_o.$$

La única variable de que depende el coeficiente de escorrentía es P_d/P_o , y a través de ella se representa correctamente en la ley la lógica influencia que debe tener la lluvia, de forma que C crece con el período de retorno, y es tanto mayor cuanto más agresivo es el clima y más abundantes sus aguaceros.

El parámetro P_o define el umbral de precipitación a partir del cual se inicia la escorrentía, y es función del complejo suelo-vegetación de la cuenca según tablas del SCS. Para una misma cuenca el valor de P_o varía de unas fechas a otras en función de la humedad inicial del suelo. En los estudios de carácter estadístico y no determinístico, como es el caso de las leyes de frecuencia obtenidas por el método racional, el valor del P_o de la tabla deberá afectarse en cada región de un factor acorde con las condiciones habituales de humedad del suelo en las épocas fuertes de aguaceros. Así, por ejemplo, en la España mediterránea ese factor es del orden de 2, como corresponde a suelo seco, mientras en la zona más húmeda del Norte está próximo a 1.

El contraste empírico en cuencas aforadas ha mostrado que los valores de P_o a utilizar en el cálculo de caudales no son muy diferentes en las regiones húmedas y secas, lo cual se explica por los efectos contrapuestos que tienen la humedad del suelo y la vegetación. En relación con el de las zonas áridas, el P_o de las húmedas debería ser menor en razón al contenido de agua en el suelo, pero mayor a causa de la vegetación más abundante. El rango de valores más frecuentes es

$$24 < P_o < 35 \text{ mm}$$

El valor del umbral de escorrentía depende de las condiciones de humedad dadas por el complejo suelo-vegetación y de las características de la cuenca en cuanto a: capacidad de infiltración, uso del suelo y actividades agrarias y pendiente del terreno. La obtención de este parámetro está cuantificada experimentalmente y para su obtención se utilizan los valores de las tablas 16 y 17 incluidas a continuación.

Grupo	Infiltración (cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillo-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el Grupo D

Tabla 16. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía.

Uso de la Tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo				
			A	B	C	D	
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4	
		N	17	11	8	6	
	< 3	R/N	20	14	11	8	
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6	
		N	25	16	11	8	
	< 3	R/N	28	19	14	11	
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8	
		N	32	19	12	10	
	< 3	R/N	34	21	14	12	
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6	
		N	28	17	11	8	
	< 3	R/N	30	19	13	10	
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9	
		N	42	23	14	11	
	< 3	R/N	47	25	16	13	
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6	
		Media	53	23	14	9	
		Buena	*	33	18	13	
		Muy buena	*	41	22	15	
	< 3	Pobre	58	25	12	7	
		Media	*	35	17	10	
		Buena	*	*	22	14	
		Muy buena	*	*	25	16	
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10	
		Media	*	34	19	14	
		Buena	*	42	22	15	
	< 3	Pobre	*	34	19	14	
		Media	*	42	22	15	
		Buena	*	50	25	16	
		Muy clara	40	17	8	5	
		Clara	*	24	14	10	
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)	Media	*	34	22	16		
	Espesa	*	47	31	23		
	Muy espesa	*	65	43	33		
	Tipo de terreno		Pendiente (%)	Umbral de escorrentía (mm)			
	Rocas Permeables	≥ 3	3				
Rocas Impermeables	< 3	5					
Firmes granulares sin pavimento	≥ 3	2					
Adoquinados	< 3	4					
Pavimentos bituminosos o de hormigón		2					
		1,5					
		1					

N: Denota cultivo según las curvas de nivel. R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente.
 *: Denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida.
 Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100

Tabla 17. Estimación inicial del umbral de escorrentía.

Según el estudio del CEDEX, en las estaciones pluviométricas españolas, la ley que relaciona la precipitación P máxima en el intervalo considerado cumple la ley:

$$P_{\text{máx. intensidad}} = b \times Pd$$

siendo $b \approx 0,5$

Esta formulación debe ser corregida en los casos de aguaceros de pequeña magnitud puesto que en estos casos no se cumple sistemáticamente la hipótesis básica: el máximo caudal no está asociado al intervalo de máxima intensidad y duración T_c , ya que dicha precipitación quedará absorbida íntegramente por el terreno al ser menor que el umbral de escorrentía.

En estos casos, el intervalo generador del máximo caudal, y con él, el punto intermedio indicativo del coeficiente de escorrentía, se desplazan en el tiempo hacia la zona final del aguacero, en espera de condiciones más favorables de la humedad del suelo que las correspondientes al intervalo de máxima intensidad.

Este problema se aborda modificando la ley anterior, en el entorno de los pequeños valores, haciéndola despegar del eje $C = 0$ para $P_d = P_o$, para tender posteriormente a confundirse con la curva primitiva, proponiéndose finalmente la siguiente expresión definitiva, suficientemente ajustada:

$$C = \frac{((P_d / P_o) - 1) \times ((P_d / P_o) + 23)}{((P_d / P_o) + 11)^2}$$

En la estimación del parámetro P_o debe considerarse además las condiciones de humedad previas del suelo esperable en la cuenca en la época del año en que habitualmente se presenta la crecida. En España puede considerarse que se dan condiciones medias de humedad en el Norte de España y secas en el Centro y Mediterráneo Septentrional. El Centro de Estudios Hidrográficos publicó, en febrero de 1992, un estudio para el cálculo de caudales máximos en el que se establece el factor multiplicador del umbral P_o (ver figura 17). Para la zona de proyecto el factor corrector es:

$$K_p = 2,5. \quad P'o = P_o \times K_p.$$

Para la situación final, una vez concluida la ampliación del depósito salino, se considera que las cuencas naturales se asimilan a un suelo tipo D (arcillas y margas), y las cuencas pertenecientes al depósito salino a un suelo tipo A (arenas). En la tabla 18 se presentan los datos correspondientes a la determinación de P_o , obtenidos a partir de las tablas 16 y 17.

CUENCA	SUPERFICIE (m2)	TIPO DE SUELO	PENDIENTE %	USO DE LA TIERRA	Po Básico (mm)	Coef corrector	Po Corregido (mm)
CN1	4.790,00	D	>3	Masa forestal Media	16	2,5	40
CN2	41.367,00	D	>3	Cultivos(Cereales)	11	2,5	27,5
CN3	77.605,00	D	>3	Cultivos(Cereales)	11	2,5	27,5
CDS1	185.125,00	A	>3	Sin cultivo (Barbecho)	17	2,5	42,5
CDS2	42.591,00	A	>3	Sin cultivo (Barbecho)	17	2,5	42,5
CDS3	17.061,00	A	>3	Sin cultivo (Barbecho)	17	2,5	42,5
CDS4	73.950,00	A	>3	Sin cultivo (Barbecho)	17	2,5	42,5

Tabla 18. Umbral de escorrentía corregido.

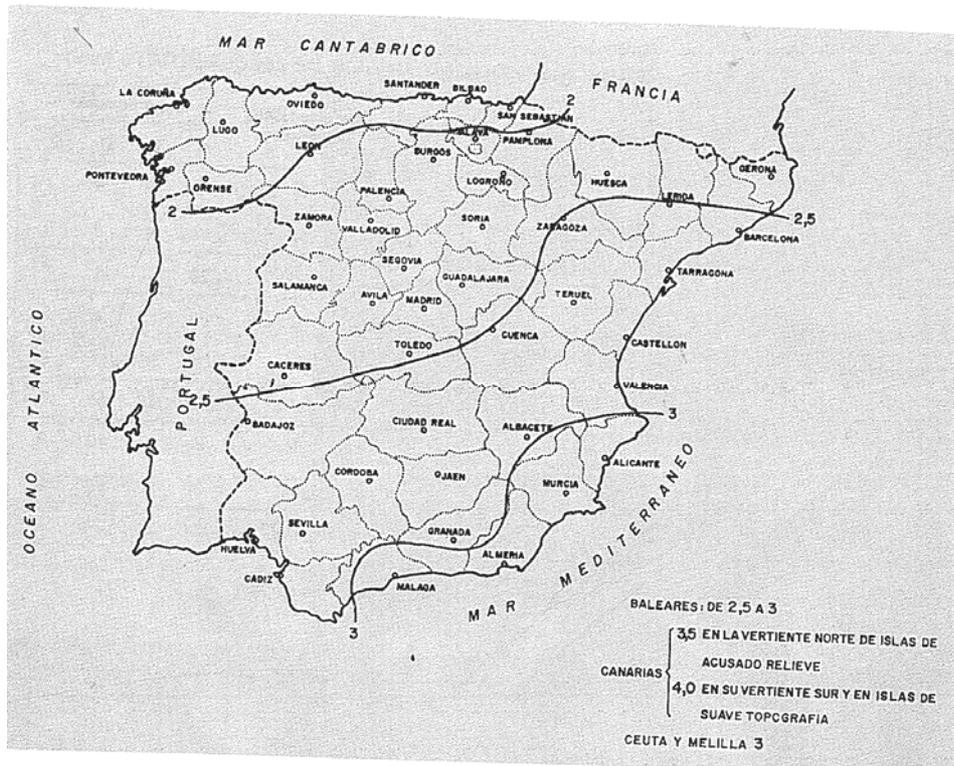


Figura 17. Multiplicador del umbral Po. Coeficiente de humedad inicial.

De este modo, el coeficiente de escorrentía calculado para el periodo de retorno considerado (25 años) es el mostrado en la tabla 19.

CUENCA	Po	Pd (Tr)/Po	Coeficiente de escorrentía (C)
		25	25
CN1	40	2,68	0,23
CN2	27,5	3,89	0,35
CN3	27,5	3,89	0,35
CDS1	42,5	2,52	0,21
CDS2	42,5	2,52	0,21
CDS3	42,5	2,52	0,21
CDS4	42,5	2,52	0,21

Tabla 19. Coeficiente de escorrentía, de acuerdo al método Racional Modificado.

7.1.7 Caudales punta

Según lo indicado anteriormente, el caudal punta de cálculo responde a la expresión siguiente:

$$Q = \frac{CIA}{3,6} K$$

En la tabla 20 incluida a continuación se muestran los caudales punta calculados en cada una de las cuencas consideradas, para un periodo de retorno de 25 años.

CUENCA	SUPERFICIE (m ²)	C		K	Q(m ³ /s)
		Tr =25 años	Tr = 25 años		
CN1	4.790,00	0,230	191,77	1,00	0,0588
CN2	41.367,00	0,351	115,76	1,01	0,4708
CN3	77.605,00	0,351	105,44	1,01	0,8064
CDS1	185.125,00	0,212	121,49	1,01	1,3353
CDS2	42.591,00	0,212	144,89	1,01	0,3653
CDS3	17.061,00	0,212	169,19	1,00	0,1706
CDS4	73.950,00	0,212	159,87	1,00	0,6990

Tabla 20. Caudales de cálculo para T=25 años.

7.2 CÁLCULOS HIDRÁULICOS

7.2.1 Criterios de diseño

El dimensionamiento de los elementos de drenaje a instalar (canales, drenes y tuberías) se ha calculado a partir de la fórmula de Manning:

$$Q = S \times 1/n \times R^{2/3} \times J^{1/2}$$

siendo:

Q: caudal en m³/s

S: sección en m²

n: coeficiente de rugosidad de Manning

R: radio hidráulico en m = S/Pm, siendo S la sección y Pm el perímetro mojado

J: pendiente en m/m

Los canales de agua dulce se excavarán en tierra y los de agua salada irán revestidos con hormigón o con lámina de PEAD (polietileno de alta densidad). En ambos casos la sección será triangular y las paredes del canal tendrán pendiente 1H:1V. Todos ellos se situarán lo más próximo posible al depósito para minimizar el agua salada a gestionar.

Las tuberías tanto de agua dulce como de agua salada serán de PVC. Se toma una pendiente mínima (J) para los canales de agua dulce (CD) y agua salada (CS) del 1%, al igual que para la tubería (TD) que desagua hacia el Soldevila el agua dulce de las cuencas naturales CN2 y CN3.

Para los drenes interiores (DP, DS, DT) y la tubería final de agua salada (TS), que entrega las aguas drenadas del depósito a la nueva balsa, se toma una pendiente mínima del 1,5%. Esta pendiente es mayor que en los elementos que drenan agua dulce, para tratar de evitar la formación de precipitados salinos dentro de las tuberías, favoreciendo aún más la circulación del agua, lo que previene posibles obstrucciones.

Se ha considerado que las condiciones reales de funcionamiento de los canales de agua dulce y agua salada serán con un nulo o escaso mantenimiento, al igual que las tuberías, por lo que se ha optado por tomar un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,013 en el caso de los canales revestidos, de 0,030 en los excavados en tierra, y de 0,009 en el caso de las tuberías, por tratarse de PVC, valores suficientemente representativos para las condiciones que se van a dar en la realidad.

Según las recomendaciones usualmente aceptadas para este tipo de obras, con carácter general la velocidad máxima en los canales revestidos y las tuberías no superará los 6 m/s, y en los canales en tierra será inferior a 3 m/s. A la salida del canal y la tubería de agua dulce que vierten a la cuenca del Soldevila se colocará una protección de escollera para evitar erosiones.

El caudal que cede el depósito a los drenes de la zona de ampliación se considera constante y, en función del balance de aguas realizado más adelante, es del orden de 3,3 l/s. Los caudales de diseño de todos los elementos de drenaje y regulación se corresponden con los asimilables a una lluvia máxima en 24 horas con periodo de retorno de 25 años.

7.2.2 Canales

A partir de la fórmula de Manning se deduce que:

$$Q \times n / J^{1/2} = S \times R^{2/3}$$

donde Q, n y J son conocidos. Por otro lado, según se aprecia en la figura 18, el ancho de lámina (B), la sección del canal (S) y el perímetro mojado (Pm), dependen de la altura de lámina (y) y de la pendiente de las paredes del canal (z):

$$\begin{aligned} B &= 2 \times y \times z \\ S &= z \times y^2 \\ Pm &= 2 \times y \times (1 + z^2)^{0.5} \end{aligned}$$

De este modo, partiendo de una pendiente de las paredes de 1:1 (z=1), se calcula el valor de "y" que hace cierta la fórmula de Manning y que despeja el resto de valores de las ecuaciones

planteadas. En la tabla 21 se muestran los valores obtenidos para los distintos canales estudiados, considerando las pendientes mínimas citadas anteriormente.

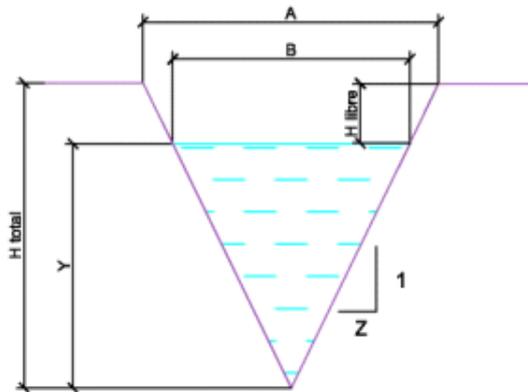


Figura 18. Sección de los canales.

Canal	Q (m ³ /s)	n	J (m/m)	z	y (m)	B (m)	S (m ²)	Pm (m)	R (m)	v = Q/S (m/s)
CD1	0,059	0,030	1,00%	1	0,285	0,57	0,081	0,806	0,101	0,73
CD2	0,471	0,030	1,00%	1	0,623	1,25	0,388	1,762	0,220	1,21
CD3	0,806	0,030	1,00%	1	0,761	1,52	0,579	2,152	0,269	1,39
CS1	1,335	0,013	1,00%	1	0,673	1,35	0,453	1,904	0,238	2,95
CS2	0,365	0,013	1,00%	1	0,412	0,82	0,170	1,165	0,146	2,15
CS3	0,171	0,013	1,00%	1	0,310	0,62	0,096	0,877	0,110	1,78
CS4	0,699	0,013	1,00%	1	0,527	1,05	0,278	1,491	0,186	2,52

Tabla 21. Dimensionamiento de los canales con pendientes mínimas.

En la última columna se ha incluido la velocidad del agua (v) para comprobar que en todos los casos se cumple que es inferior a los criterios establecido en las condiciones de diseño.

El diseño anterior responde a las pendientes mínimas, si bien el terreno, al que se deberán adaptar los canales en la medida de lo posible, presenta en general unas pendientes mayores (ver planos 7 y 8), exceptuando el canal CS1 donde el terreno es prácticamente plano, de modo que se ha considerado una pendiente inferior, del 0,5% para minimizar la excavación. En la tabla 22 se muestra el dimensionamiento adaptado a las pendientes del terreno.

Canal	Q (m ³ /s)	n	J (m/m)	z	y (m)	B (m)	S (m ²)	Pm (m)	R (m)	v = Q/S (m/s)
CD1	0,059	0,030	5,54%	1	0,210	0,42	0,044	0,594	0,074	1,34
CD2	0,471	0,030	3,52%	1	0,491	0,98	0,241	1,389	0,174	1,95
CD3	0,806	0,030	5,36%	1	0,555	1,11	0,308	1,570	0,196	2,62
CS1	1,335	0,013	0,50%	1	0,766	1,53	0,587	2,167	0,271	2,28
CS2	0,365	0,013	6,53%	1	0,290	0,58	0,084	0,820	0,103	4,34
CS3	0,171	0,013	3,34%	1	0,250	0,50	0,063	0,707	0,088	2,74
CS4	0,699	0,013	5,44%	1	0,385	0,77	0,148	1,089	0,136	4,72

Tabla 22. Dimensionamiento de los canales con pendientes reales.

Como se observa en la tabla anterior, todos los canales siguen cumpliendo el criterio de velocidad. Para establecer las dimensiones finales de construcción de los canales se ha partido de los valores de diseño obtenidos a partir de las pendientes reales, considerando un resguardo (H libre) del orden de 0,3 m (excepto en el canal CS1 que es del orden de 0,25), y comprobando que sobre los valores de calado con pendiente mínima el resguardo es como poco del orden de 0,15 m, incrementándolo en caso contrario hasta cumplir esta premisa, al objeto de contemplar la presencia de tramos de baja pendiente. De este modo, los valores de profundidad (H) y ancho de canal (A) obtenidos se muestran en la tabla 23.

Canal	Diseño pendiente mínima			Diseño pendiente real			H(m)	A (m)
	y (m)	B (m)	H libre (m)	y (m)	B (m)	H libre (m)		
CD1	0,285	0,570	0,22	0,210	0,420	0,29	0,50	1,00
CD2	0,623	1,246	0,18	0,491	0,982	0,31	0,80	1,60
CD3	0,761	1,522	0,14	0,555	1,110	0,35	0,90	1,80
CS1	0,673	1,346	0,33	0,766	1,532	0,23	1,00	2,00
CS2	0,412	0,824	0,19	0,290	0,580	0,31	0,60	1,20
CS3	0,310	0,620	0,24	0,250	0,500	0,30	0,55	1,10
CS4	0,527	1,054	0,17	0,385	0,770	0,32	0,70	1,40

Tabla 23. Dimensiones constructivas de los canales.

Con el mismo criterio de diseño, los canales de agua dulce intermedios se excavarán en tierra con un calado del orden de 1 m y un ancho de 2 m. La velocidad calculada en el canal de la fase 2 (2,92 m/s) queda dentro del límite citado en las condiciones de diseño (3 m/s), mientras que en la fase 1 lo supera ligeramente (3,37 m/s). En principio se considera admisible, aunque se deberá controlar su comportamiento por si se produjeran erosiones o desbordamientos que requirieran la instalación de elementos de disipación de energía.

A priori, debido a la contrapendiente del terreno no es necesario construir canales de agua salada en las fases intermedias. No obstante, en los estadios finales de las dos primeras fases, cuando el depósito se acerque al canal de agua dulce, existe el riesgo de que parte del agua superficial que escurra por las paredes del depósito termine en el canal de agua dulce. Para evitar esto se puede remodelar la pendiente de esta zona y/o hacer una cuneta en el lado interno de la pista que existirá entre el depósito y el canal de agua dulce. Otra solución que se considera más adecuada es realizar un canal por dentro de la pista con la geometría, impermeabilizado y dimensiones del cajeadado de los drenes futuros que discurrirán por el mismo trazado, de manera que cuando vayan a ser reconvertidos en tales, solo sea necesario limpiarlos, colocar los tubos y el material granular, desechando los canales intermedios de agua dulce excavados en tierra.

7.2.3 Tuberías y drenes

En este caso la sección de cálculo es circular, de modo que, desarrollando la fórmula de Manning, el diámetro del tubo será igual a:

$$D \text{ (m)} = (3,208 \times Q \times n / J^{1/2})^{3/8}$$

El caudal de la tubería de agua dulce (TD) será la suma del de los canales CD2 y CD3, mientras que el de la de agua salada (TS) será la suma de todos los caudales salados que recibe. El dren principal (DP) deberá desaguar la suma de los caudales de los canales CS3 y CS4. Para el diseño de los drenes secundarios (DS) se considera un caudal punta de 0,25 m³/s, correspondiente al máximo esperable en los primeros estadios de las distintas fases, momentos en los que aun no están cubiertos por el depósito de sal, y para los terciarios (DT) de 0,1 m³/s.

Con estas premisas, y considerando las pendientes mínimas citadas en las condiciones de diseño, el cálculo de los diámetros necesarios y su conversión en los correspondientes diámetros comerciales a instalar se muestra en la tabla 24.

Tubería	Q (m ³ /s)	n	J (m/m)	D (m)	D adoptado (m)
TD	1,28	0,009	1,00%	0,69	0,8
TS	2,57	0,009	1,50%	0,83	1,0
DP	0,87	0,009	1,50%	0,55	0,6
DS	0,25	0,009	1,50%	0,35	0,4
DT	0,10	0,009	1,50%	0,25	0,3

Tabla 24. Dimensionamiento de las tuberías y drenes con pendientes mínimas.

Si se tiene en cuenta la pendiente real del terreno sobre el cual se instalarán los tubos, los diámetros obtenidos son los mostrados en la tabla 25, en la que para los drenes secundarios (DS) y terciarios (DT) se han considerado las pendientes máximas y mínimas de los mismos.

Tubería	Q (m ³ /s)	n	J (m/m)	D (m)	D adoptado (m)
TD	1,28	0,009	1,70%	0,62	0,8
TS	2,57	0,009	12,83%	0,55	0,8
DP	0,87	0,009	2,87%	0,49	0,6
DS pend. max.	0,25	0,009	8,53%	0,25	0,4
DS pend. min.	0,25	0,009	2,04%	0,33	0,4
DT pend. max.	0,10	0,009	9,69%	0,17	0,3
DT pend. min.	0,10	0,009	5,22%	0,19	0,3

Tabla 25. Dimensionamiento de las tuberías y drenes con pendientes reales.

En la tabla anterior se aprecia que los diámetros a adoptar son prácticamente los mismos que en el caso de pendientes mínimas, salvo en la tubería de agua salada, donde debido a la elevada pendiente, el diámetro necesario disminuye notablemente. Sin embargo, el diámetro comercial

seleccionado (0,8 m) es el inmediatamente superior al que le correspondería (0,6 m) por motivos de seguridad, dado que es el elemento final de la red que recoge el conjunto del volumen de agua salada drenado en la zona ampliada del depósito y lo conduce a la nueva balsa.

Por último, hay que determinar la velocidad máxima (V_{max}) y la altura hidráulica (h) que alcanzará el agua dentro del tubo, lo cual se muestra en la tabla 26.

Tubería	D adoptado (m)	V lleno (m/s)	Q lleno (m ³ /s)	Q/Q lleno	h/D	h (m)	V max/V lleno	V max (m/s)
TD	0,8	4,95	2,49	0,51	0,506	0,32	1,00	4,95
TS	0,8	13,62	6,84	0,38	0,426	0,24	0,93	12,66
DP	0,6	5,32	1,50	0,58	0,55	0,27	1,03	5,48
DS pend. max.	0,4	6,99	0,88	0,28	0,36	0,09	0,86	6,01
DS pend. min.	0,4	3,42	0,43	0,58	0,55	0,18	1,03	3,52
DT pend. max.	0,3	6,15	0,43	0,23	0,324	0,06	0,82	5,05
DT pend. min.	0,3	4,52	0,32	0,31	0,381	0,07	0,89	4,02

Tabla 26. Cálculo de velocidad máxima y altura hidráulica en tuberías y drenes.

La tabla anterior muestra que las velocidades son admisibles en todos los casos, incluido el dren secundario con pendiente máxima (DS5) en donde se alcanza el máximo aceptable, salvo en la tubería de agua salada (TS) donde es más del doble. Para bajar esta velocidad, a nivel constructivo se deberá diseñar elementos de disipación de energía, bien sea manteniendo la condición de tubería o bien realizando la conexión con la balsa a través de un canal que presente el diseño y dimensionamiento adecuado.

El tramo de canal perimetral de agua salada situado actualmente en el extremo suroccidental del depósito, podrá conectarse al canal perimetral de la ampliación o al dren secundario DS5, ya que ambos están suficientemente dimensionados para ello.

7.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA BALSA

Con la construcción de una nueva balsa en las inmediaciones de la zona de ampliación del depósito, se pretende regular el caudal procedente del drenaje salado de la zona ampliada, generado en momentos de tormenta.

7.3.1 Cálculo del volumen necesario

Para el cálculo del volumen de la nueva balsa de regulación se analizan los siguientes parámetros:

- Régimen de aportaciones, en este caso para una tormenta con un periodo de retorno (T) igual a 25 años.
- Régimen de demandas. Se toma como caudal de salida máximo un caudal de 50 l/s que es el mismo que el caudal máximo bombeado en la presa de escorrentías existente.

Se han tomado estos parámetros como condicionantes básicos para el cálculo del volumen de la balsa, aunque existen otra serie de condicionantes de tipo morfológico, de disponibilidad del suelo, geotécnicos, de seguridad, etc.

El caudal de entrada a la nueva balsa para una tormenta de T=25 años, será la suma de los caudales generados por las cuencas del depósito salino que desembocan en la misma, que es 2,57 m³/s, más el caudal continuo cedido por el depósito a los drenes interiores que se estima en unos 3,3 l/s, el cual a efectos de cálculo se considera despreciable frente al caudal de tormenta.

A partir de estos datos, el volumen de embalse necesario se ha calculado para un aguacero de 25 años de período de retorno y una duración de 30 minutos:

$$V = 2,57 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.800 \text{ s} = 4.626 \text{ m}^3$$

Considerando la capacidad de bombeo citada, durante ese tiempo se podrían extraer 180 m³, de manera que el volumen de embalse necesario es de **4.446 m³**.

7.3.2 Evaluación del efecto del incremento de caudal sobre el colector de salmueras

Según establece la autorización de vertido al Colector de salmueras de las instalaciones de Iberpotash en Sallent, se debe disponer de un depósito de retención de aguas saladas previo a su entrada al colector, cuya capacidad permita el almacenamiento de la producción de agua salada equivalente a 24 horas.

Actualmente existen dos balsas de retención de 9.720 m³ cada una, de las que, debido a su estado, sólo se puede utilizar el 70% de su capacidad. Por lo tanto, la capacidad real de almacenamiento será:

$$V = 9.720 \times 2 \times 0,7 = 13.608 \text{ m}^3$$

En el caso más desfavorable en el que se desaguase tanto desde la actual presa de escorrentías como desde la nueva balsa, a su máxima capacidad (100 l/s en total), el volumen que habría que almacenar sería:

$$V_{24h} = 100 \text{ l/s} \times 60 \times 60 \times 24 / 1000 = 8.640 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento previa al colector es suficiente para asumir el máximo caudal previsible procedente del depósito salino en el supuesto más extremo. Por otro lado, el incremento de superficie que experimentará el depósito supondrá un aumento medio de generación de agua salada al cabo del año de 42.594 m³ (lluvia media anual menos evaporación media anual calculada sobre el incremento de superficie que experimenta el depósito), lo que supone el 3,83% del volumen anual de vertido autorizado actualmente (1.111.159 m³/año).

7.4 BALANCE HÍDRICO

Una vez se alcance la situación final propuesta en el proyecto, el balance de aguas del conjunto del depósito para un año medio, considerando las mismas entradas y salidas que en los balances actuales mencionados al hablar del punto de partida, y haciendo cero la variación de almacenamiento dado que lo que se evalúa son las condiciones medias en las que este parámetro tiende a cero, sería el siguiente:

- **Entradas**

- *Infiltración de agua de lluvia.* Dado que la superficie del depósito será de 48,8 ha, para una lluvia media de 579 mm, correspondiente a la estación pluviométrica de Sallent-Potasses localizada en las proximidades del depósito, la lluvia anual caída sobre el depósito será de 282.552 m³.
- *Agua que acompaña a la sal.* Con una producción media anual estimada en 1,25 Mt y una humedad del 7,8%, equivalente al promedio de los últimos 5 años, se obtiene un volumen de agua aportada de 97.500 m³.

- **Salidas**

- *Perdidas por evaporación.* Se considera el dato medio obtenido de forma empírica en 2004, que es de 121 mm/año, el cual multiplicado por la superficie del depósito arroja un volumen de 59.048 m³.
- *Agua retenida.* En función de la producción media estimada y el porcentaje de agua retenida considerado (1%), el volumen asignable a este concepto sería de 10.417 m³.

- Infiltración subterránea. Como la superficie por donde se puede producir la infiltración coincide con la actual, ya que toda la zona de ampliación estará impermeabilizada, y los niveles piezométricos serán bastante parecidos a los actuales, se estima que la infiltración será similar, si bien pudiera ser menor debido a que cesa la introducción de agua libre a través de las arquetas que conectan los canales perimetrales con los drenes preexistentes. Se ha considerado un volumen de 53.224 m³, equivalente al promedio de los últimos 5 años (dato de captación de la escorrentía de base del torrente Soldevila).
- Drenaje al pie. El volumen de agua que se drenará al pie del depósito responderá al valor necesario para cuadrar el balance en función de los datos fijados anteriormente. Este volumen es de 257.363 m³, y parte del mismo se drenará hacia la actual presa de escorrentías), y parte hacia la nueva balsa. La distribución de este volumen por estas dos salidas se realiza considerando que por la nueva balsa se drena aproximadamente la parte proporcional al 40% de la superficie del depósito, y no solo a la superficie de nueva ocupación, ya que el sistema de drenaje a instalar inducirá un flujo que atraerá parte del agua contenida en la zona más occidental del depósito actual. De este modo, el volumen anual medio evacuado por la nueva balsa sería de 102.945 m³ y por la presa de escorrentías de 154.418 m³.

En la tabla 27 incluida a continuación se muestran de forma conjunta las cifras del balance.

ENTRADAS (m ³)		SALIDAS (m ³)				
Infiltración de agua de lluvia	Agua que acompaña a la sal	Perdidas por evaporación	Agua retenida	Infiltración subterránea	Drenaje al pie	
					Nueva Balsa	Presa de escorrentías
282.552	97.500	59.048	10.417	53.224	102.945	154.418
380.052		380.052				

Tabla 27. Balance anual medio del depósito ampliado.

En cualquier caso, al objeto de realizar los balances anuales como hasta ahora, con datos reales, es necesario continuar con las medidas de caudales que se llevan a cabo actualmente, incorporando nuevos puntos de medida, de acuerdo con las modificaciones introducidas en el drenaje. En este sentido, se propone además mejorar las medidas realizadas actualmente, registrando el agua que circula por los distintos canales al objeto de diferenciarla de aquella que llega a los elementos de retención a través de los drenes.

8 PRESUPUESTO

UD	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (euros)	IMPORTE (euros)
PRESUPUESTO				3.484.984,56 €
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
M2	Despeje y desbroce del terreno	100.000,00	2,00	200.000,00
M3	Excavación en zanja con medios mecánicos	4.253,00	12,00	51.036,00
M3	Excavación a cielo abierto	7.416,00	13,50	100.116,00
M2	Compactación del suelo	100.000,00	2,00	200.000,00
M3	Relleno de zanja con material procedente de la excavación	7.163,00	6,50	46.559,50
<i>TOTAL MOVIMIENTO DE TIERRAS.....</i>				597.711,50 €
IMPERMEABILIZACIÓN TERRENO				
M2	Geotextil 300g/m2	114.000,00	5,00	570.000,00
M2	Lamina de PEAD	106.000,00	9,00	954.000,00
<i>TOTAL OBRAS DE IMPERMEABILIZACIÓN TERRENO.....</i>				1.524.000,00 €
INSTALACION DRENES, CANALES Y TUBERÍAS				
M3	Grava capa drenante	1.510,00	22,00	33.220,00
M3	Carga y transporte material acopio	1.510,00	0,90	1.359,00
MI	Tubería Drenaje PVC D=600mm	401,00	70,00	28.070,00
MI	Tubería Drenaje PVC D=400mm	1.121,00	51,00	57.171,00
MI	Tubería Drenaje PVC D=300mm	649,00	40,00	25.960,00
M2	Perfilado cauce canales	6.366,00	0,95	6.047,70
MI	Tubería PVC D=800mm, colocado en zanja sobre cama y relleno de arena	387,00	165,00	63.855,00
<i>TOTAL OBRAS INSTALACIÓN DRENES, CANALES Y TUBERÍAS</i>				215.682,70 €
PRESA DE REGULACIÓN AGUAS SALINAS				
M2	Despeje y desbroce del terreno	3.200,00	2,00	6.400,00
M3	Formación de terraplenes	4.301,00	3,50	15.053,50
M2	Geotextil	2.300,00	5,00	11.500,00
M2	Lámina de PEAD	2.300,00	9,00	20.700,00
M2	Hidrosiembra protección talud exterior	750,00	3,00	2.250,00
M2	Perfilado y refino de taludes	1.230,00	1,00	1.230,00
M2	Rasanteo y refino coronación y taludes	1.530,00	1,15	1.759,50
M3	Excavación en zanja con medios mecánicos	71,00	12,00	852,00
M2	Perfilado cauce canales	200,00	0,95	190,00
<i>TOTAL PRESA DE REGULACIÓN AGUAS SALINAS.....</i>				59.935,00 €
OBRAS COMPLEMENTARIAS				
UD	Aletas y solera canal	2,00	2.500,00	5.000,00
UD	Arquetas	5,00	1.800,00	9.000,00
<i>TOTAL OBRAS COMPLEMENTARIAS.....</i>				14.000,00 €
VARIOS				
	Seguridad y Salud durante las Obras de Construcción	1,00	26.000,00	26.000,00
	Ensayos de control de calidad durante la ejecución	1,00	26.000,00	26.000,00
	Gestión de los residuos generados en las obras	1,00	18.500,00	18.500,00
<i>TOTAL VARIOS.....</i>				70.500,00 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL				2.481.829,20 €
<i>13 % Gastos Generales + 6% Beneficio Industrial</i>		0,19	2.481.829,20	471.547,55
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA				2.953.376,75 €
<i>18 % IVA</i>		0,18	2.953.376,75	531.607,81
SUMA TOTAL				3.484.984,56 €

PLANOS

- Plano 1. Localización.
- Plano 2. Topografía inicial.
- Plano 3. Topografía final.
- Plano 4. Modificación de la topografía inicial.
- Plano 5. Litología de la zona de ampliación.
- Plano 6. Sistemas de drenaje a instalar.
- Plano 7. Perfiles longitudinales de los canales de agua dulce.
- Plano 8. Perfiles longitudinales de los canales de agua salada.
- Plano 9. Perfiles longitudinales de los drenes principal y secundarios.
- Plano 10. Perfiles longitudinales de los drenes terciarios.
- Plano 11. Perfiles longitudinales de las tuberías.
- Plano 12. Nueva balsa.
- Plano 13. Fase 1 de ejecución del proyecto.
- Plano 14. Fase 2 de ejecución del proyecto.
- Plano 15. Fase 3 de ejecución del proyecto.
- Plano 16. Evolución del depósito.
- Plano 17. Cuencas de drenaje.