



**ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE RESTAURACIÓN DEL CENTRO DE
TRABAJO DE SALIENT – BALSARENY, ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y
GEOTÉCNICOS**

**Documento nº 5
(MEMORIA Rev 1.0)**

**BALANCES DE AGUA EN EL DEPÓSITO SALINO
EL COGULLÓ**

Realizado por:



Diciembre 2007

Proyecto:	Actualización del programa de restauración del centro de trabajo de Sallent-Balsareny. Estudios hidrológicos y geotécnicos. Diciembre de 2007		
Documento:	<u>Doc 5.-BALANCES DE AGUA EN EL DEPÓSITO SALINO EL COGULLÓ</u>		
Rev	Fecha	Autor	Firma
0.0	1-Nov-2007	L. López Vílchez	

	Nombre	Fecha	Firma
Escrito	L. López Vílchez	1-Nov-2007	
Revisado	L. López Vílchez	30-Nov-2007	
Aprobado	L. López Vílchez	30-Nov-2007	
Conforme	Jesus Artieda	30-Nov-2007	

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	EXTENSIÓN Y LOCALIZACIÓN ACTUAL DEL DEPÓSITO SALINO	3
3	CRITERIOS EMPLEADOS EN LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO SALINO “EL COGULLÓ”	4
4	DESCRIPCIÓN DE LA MORFOLOGÍA, GEOLOGÍA E HIDROGEO-LOGÍA DEL EMPLAZAMIENTO ANTES DE INICIAR EL VERTIDO DE LA SAL	5
4.1	Morfología del emplazamiento	5
4.2	Geología del emplazamiento. Formaciones litológicas	5
4.3	Hidrogeología del emplazamiento	6
5	ADECUACIÓN DEL TERRENO ANTES DE INICIAR EL VERTIDO DE SAL	7
6	PLANTEAMIENTO DEL BALANCE DE AGUA EN EL DEPÓSITO SALINO EL COGULLÓ.....	8
6.1	Entradas de agua en el depósito salino	9
6.1.1	Agua que acompaña a la sal vertida.....	10
6.1.2	Agua de lluvia que se infiltra en el depósito.....	11
6.1.3	Agua de escorrentía superficial que puede entrar en el depósito salino.....	13
6.1.4	Entradas totales de agua en el depósito salino	14
6.2	Salidas de agua del depósito salino.....	15
6.2.1	Perdida de agua por evaporación	15
6.2.2	Drenaje al pie del depósito salino. Año asimilable al 2004	16
6.2.3	Paso de agua subterránea desde el depósito salino a algún nivel permeable infrayacente. Año asimilable al 2004.....	17
6.2.4	Variación del volumen de agua almacenada en el depósito salino	20
7	BALANCE DE AGUA PARA EL AÑO 2004	23

8	EXTRAPOLACIÓN DE LOS BALANCES DE AGUA DEL DEPÓSITO SALINO A LOS AÑOS DEL PERIODO 1996-2003.....	25
9	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	30
10	BIBLIOGRAFÍA.....	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Caudales totales enviados al colector desde el Soldevilla	18
Figura 2.	Escorrentia subterránea en el Soldevilla	20

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Evolución anual del depósito salino	10
Tabla 2.	Agua de lluvia infiltrada en el depósito de El Cogulló	12
Tabla 3.	Volumen de la escorrentía superficial generada aguas arriba del depósito salino	13
Tabla 4.	Entradas totales de agua	14
Tabla 5.	Volúmenes de agua en la Presa de escorrentia	16
Tabla 6.	Volúmenes de agua en Torrente Soldevilla	18
Tabla 7.	Escorrentía subterránea. Volúmenes drenados por las calizas	19
Tabla 8.	Agua retenida con la sal	21
Tabla 9.	Balance de agua	24
Tabla 10.	Entrada de agua con la sal	26
Tabla 11.	Entradas por precipitación	27
Tabla 12.	Salidas por evaporación	27
Tabla 13.	Agua retenida por la sal	28
Tabla 14.	Balance de agua	28
Tabla 15.	Balances anuales de 1996 a 2003	33

1 INTRODUCCIÓN

El depósito salino denominado "El Cogulló", se localiza en el término municipal de Sallent (Barcelona), al suroeste del núcleo urbano, en la margen derecha del río Llobregat. En detalle se sitúa en la ladera izquierda de la subcuenca del afluente Mas de les Coves, muy cerca de la divisoria de ésta con la subcuenca del arroyo Soldevila.

Actualmente ocupa una superficie del orden de 36 hectáreas y alcanza unas cotas máximas próximas a los 510 metros sobre el nivel del mar (m snm), lo que equivale a una altura del orden de cien metros sobre el terreno natural.

La existencia del depósito es consecuencia de la explotación del yacimiento de sales potásicas que se extiende entre el norte del término municipal de Sallent y el sur del término de Balsareny. Actualmente la propiedad pertenece a la empresa minera Iberpotash S.A.

El material que se extrae de la mina esta formado, fundamentalmente, por halita como fracción mayoritaria, y por silvinita, que es la sal potásica. Los dos se comercializan, por lo que se clasifican dentro de los grupos B y C en la Ley de Minas. Presentan, sin embargo, una diferencia importante y es la existente entre el porcentaje del mineral extraído que es vendible a corto plazo. Mientras que para la silvinita éste es prácticamente del 100%, para la halita es del orden del 30 %. Para la halita se precisa, por tanto, su almacenamiento temporal, por lo que el depósito crecerá paulatinamente hasta que termine la extracción de silvinita (y por tanto de la explotación minera). Se iniciará entonces una etapa de decrecimiento del volumen del mismo, ya que continuará la explotación de la halita almacenada, hasta su práctica desaparición. (Este es el caso del depósito salino de Cardona, generado durante la explotación de esa mina, en la que el cese de extracción de silvinita se produjo en los años noventa y la explotación del depósito de halita generado se espera que concluya en esta década).

En cualquier mina, como consecuencia de la propia dinámica de la extracción del mineral beneficiable, la superficie ocupada por la escombrera que genera, así como su altura, morfología y volumen, cambian con el tiempo. Estos cambios, afectan al funcionamiento de las aguas subterráneas incluidas en la misma, de modo que su análisis y evaluación presenta una complejidad mayor que los realizados en otras formaciones permeables, ya que las direcciones del flujo del agua subterránea, la recarga de la misma, la evaporación que puede presentarse, el volumen del depósito y, por tanto, el del agua subterránea que se almacena, en definitiva el balance, varía con los cambios que se producen y, por tanto, con el tiempo.

Esta problemática es aún mayor cuando el material acumulado es soluble, como es el caso del depósito "El Cogulló", ya que características tan importantes como la porosidad y permeabilidad en cualquier punto del mismo, pueden variar en un tiempo relativamente corto, pudiendo pasar de ser muy porosas y

permeables a prácticamente impermeable, lo que no sucede en los materiales insolubles, en los que estos parámetros prácticamente no varían con el tiempo.

Este Documento presenta el balance de agua realizado en el depósito salino El Cogulló. Para soportarlo adecuadamente se ha basado en el estado del "arte" de los estudios hidrogeológicos en estas acumulaciones de sal presentado en el Documento nº 3

2 EXTENSIÓN Y LOCALIZACIÓN ACTUAL DEL DEPÓSITO SALINO

El depósito salino El Cogulló tiene, actualmente, una superficie del orden de 36 hectáreas y se localiza dentro de un rectángulo definido por las siguientes coordenadas UTM:

- Por el norte $Y = 4\ 629\ 500$
- Por el sur $Y = 4\ 628\ 900$
- Por el este $X = 407\ 600$
- Por el oeste $X = 406\ 800$

3 CRITERIOS EMPLEADOS EN LA SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO SALINO "EL COGULLÓ".

La selección del emplazamiento, realizada en el año 1975, se llevó a cabo tras la aplicación de la metodología entonces generalmente admitida y que, en muchos de sus planteamientos, aún sigue vigente. Su conocimiento para estudiar al balance de agua en el depósito salino es importante ya que influye en el comportamiento hidrogeológico del depósito.

Los principales criterios que se utilizaron, fueron los siguientes:

- que los terrenos en los que se localizase se clasificaran como impermeables a escala regional,
- que el emplazamiento estuviera próximo a la divisoria de aguas superficiales entre afluentes del Llobregat. Esta ubicación permitía evitar la presencia de escorrentías superficiales importantes, aguas arriba del depósito a generar que, al ponerse en contacto con la sal, contaminasen sus aguas,
- y que aguas abajo se construyese una presa para gestionar las aguas salobres drenadas.

El principal inconveniente de este emplazamiento era el elevado coste energético que suponía elevar la sal producida desde una cota del orden de 275 m sobre el nivel del mar (fábrica) a cotas del orden de 400 m snm (emplazamiento del depósito).

Para controlar las aguas que se drenasen, así como las escorrentías superficiales que vertiesen contra el depósito, en los fondos de los valles se colocaron tuberías que permitían el paso dl agua y que la enviaban a la mencionada presa de Escorrentías. Estos tubos actúan, por tanto, como drenes del depósito

4 DESCRIPCIÓN DE LA MORFOLOGÍA, GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DEL EMPLAZAMIENTO ANTES DE INICIAR EL VERTIDO DE LA SAL

4.1 Morfología del emplazamiento

La morfología del terreno en que se localiza el depósito, antes de iniciar el envío de halita se caracterizaba por:

- ser un terreno con cotas comprendidas entre 330 y 430 metros sobre el nivel del mar,
- situarse en la cabecera de una subcuenca de un afluente del Llobregat, el arroyo Mas de les Coves. La citada subcuenca está formada por tres cauces en forma de Y: el central con dirección prácticamente norte – sur, se inicia hacia el centro del depósito salino, y los otros dos que confluyen en ese punto, uno con dirección oeste – este y el otro con dirección este – oeste. Los tres se unen, por tanto, aguas arriba de donde se localiza la denominada presa de Escorrentías y cuya finalidad es recoger las aguas salobres que llegan a ese punto y enviarlas al Colector de Salmueras de la Generalitat.

En conjunto, aguas arriba de la presa de Escorrentías se tiene una superficie del orden de 50 hectáreas que presentan un relieve típico de “cuenca de recepción”.

4.2 Geología del emplazamiento. Formaciones litológicas

El conocimiento geológico del emplazamiento se ha obtenido a partir de los estudios de detalle realizados en la última década. La extrapolación necesaria para determinar las formaciones litológicas que están bajo la sal es fácil de realizar debido a la continuidad lateral de las formaciones litológicas.

Se tiene que el depósito de sal se apoya sobre una formación litológica del Terciario y que tiene un espesor total que supera los mil metros. Este conjunto está formado por capas de distintas litologías, todas ellas prácticamente horizontales o subhorizontales a escala regional. Una de ellas está constituida por sales que incluyen las potásicas que son objeto de la actividad minera.

Por encima de las sales potásicas que explota Iberpotash, el Terciario tiene un espesor del orden de trescientos metros. Está formado por niveles de margas y lutitas, de espesor variable, en general del

orden de 15 – 20 metros, separados por niveles de calizas, con espesores, en general, del orden de 2 – 10 metros.

Todos estos niveles presentan un ligero buzamiento hacia el norte, del orden de 2 – 3 grados.

Estas formaciones se encuentran afectadas por una falla (falla del Guix) y una contrafalla, además de otras de escasa importancia. Estas fallas producen un desplazamiento relativo de los bloques situados a ambos lados de las mismas.

4.3 Hidrogeología del emplazamiento

No existe ningún estudio hidrogeológico de detalle de esa zona realizado antes de iniciar el vertido. Ya se ha indicado que a partir de los estudios generales realizados por los organismos oficiales, la zona del emplazamiento, y todo el Terciario del entorno, se consideraba “impermeable o con acuíferos de interés local”. Actualmente se sabe que los niveles calizos existentes presentan cierta capacidad para permitir la circulación de agua subterránea.

Como cuando se inició el vertido, y actualmente, son escasos los pozos que explotan el agua subterránea, el régimen hídrico subterráneo existente en las calizas, puede admitirse al “no influenciado”. Esto permite determinar, a partir de la geología y de la geomorfología de la zona, que el agua subterránea se desplaza desde las zonas de máxima energía, lo que coincide con la divisoria de aguas entre el arroyo Mas de les Coves y Soldevila, a las de menor energía, que a su vez son aquellas que presentan menor cota y están más próximas a las anteriores, es decir, a las zonas en las que el gradiente hidráulico respecto a las primeras sea máximo. Estas últimas zonas coinciden, fundamentalmente con el valle del arroyo Soldevila. Dado que las calizas tienen cierta pendiente hacia el norte, no se considera el valle del arroyo Mas de les Coves ya que éste se encuentra al sur del depósito. Es, por tanto, por el arroyo Soldevila por donde se drenarían fundamentalmente las aguas subterráneas en condiciones no influenciadas.

5 ADECUACIÓN DEL TERRENO ANTES DE INICIAR EL VERTIDO DE SAL

La silvinita y la halita que se extrae de la mina forma un todo-uno que precisa su separación. Esto se consigue moliéndola a un determinado tamaño y vertiéndola en un líquido con una densidad intermedia entre la de ambas sales. Consecuencia de este proceso es que la halita que se envía al depósito tiene cierto contenido de agua muy saturada en sal.

Según los modelos del comportamiento de las acumulaciones salinas disponibles en la década de los setenta, se suponía que éstas eran muy homogéneas y sus propiedades hídricas prácticamente iguales en cualquier punto. Por tanto se esperaba que las aguas que contenían las sales vertidas descendiesen por igual en todo el volumen generado y, al alcanzar el terreno natural mucho menos permeable, se deslizaran hacia los antiguos cauces.

En todos ellos, para controlarlas adecuadamente, se colocaron tubos drenantes que se prolongaban a medida que aumentaba la extensión del depósito. Aguas abajo de todos ellos se construyó la presa de Escorrentías actualmente existente, para la gestión adecuada de las aguas potencialmente afectadas.

Las salmueras controladas en la Presa de Escorrentías se envían al Colector de Salmueras de la Generalitat o a la fábrica para reutilizarlas en el proceso de separación de las sales extraídas de la mina.

6 PLANTEAMIENTO DEL BALANCE DE AGUA EN EL DEPÓSITO SALINO EL COGULLÓ

De lo previamente indicado, así como de lo descrito en el Documento nº 3, Estado del arte del conocimiento de la hidrogeología de los depósitos salinos, se deduce que las entradas de agua en El Cogulló se deben a la humedad con la que es depositada la sal, a la lluvia caída sobre el mismo y a escorrentías superficiales que vieran contra el depósito.

Parte de esta agua quedará retenida con la sal, parte se perderá por procesos de evaporación y parte alcanzará la base del mismo y entrará a los tubos drenantes, o emergerá en el contacto de la sal con el Terciario, o se infiltrará en las calizas y emergerá, fundamentalmente, por el Soldevila.

Por tanto, la realización de balances del agua subterránea existente en una estructura precisa determinar las entradas y salidas de agua que se producen durante el periodo de tiempo considerado, así como la variación producida en el volumen de agua almacenada. En particular, en el depósito salino hay que determinar:

- Entradas:
 - o Agua que acompaña al material vertido
 - o Infiltración del agua de lluvia
 - o Infiltración de agua de escorrentías superficiales
- Salidas
 - o Agua perdida por evaporación
 - o Agua que surja en la base de la acumulación salina
 - o Agua que pueda pasar a acuíferos infrayacentes
- Variaciones en el volumen de agua almacenada en el depósito, incluidas las de cristalización y la que queda retenida con la sal.

En síntesis, el balance de agua puede presentarse mediante la siguiente ecuación:

$$P + H + S = E + D_{\text{superf}} + D_{\text{subter}} + W$$

Siendo:

P la precipitación,

- H el agua que acompaña a la sal vertida,
- S la escorrentía superficial que pueda entrar en el depósito,
- E el agua perdida por evaporación,
- Dsuperf el agua drenada al pie del mismo,
- Esubter el agua que podría pasar del depósito salino a estratos permeables subyacentes,
- W la variación del volumen del agua almacenada (que puede ser positiva o negativa, según aumente o disminuya en el tiempo ese volumen).

En el caso del depósito salino “El Cogulló” la situación de partida es la siguiente:

Agua que acompaña al material vertido.- Se conoce con bastante precisión a partir de los resultados de los análisis realizados en el laboratorio de la mina.

Infiltración del agua de lluvia.- La precipitación se conoce a partir del pluviómetro de la mina. La infiltración se puede acotar con un valor máximo, que sería el obtenido al suponer que se infiltra toda.

Infiltración de agua de escorrentías superficiales.- Dada la escasa dimensión de la superficie de la subcuenca del arroyo en que se localiza la acumulación de sal, aguas arriba de la misma, la escorrentía superficial que puede generarse en ese sector se considera despreciable.

Agua perdida por evaporación.- Se ha realizado un ensayo en esta escombrera.

Agua que surge en la base.- Se conoce el caudal drenado a la Presa de Escorrentías desde febrero de 2004, fecha en que se instaló un contador.

Agua que puede pasar a niveles permeables infrayacentes.- Este valor puede obtenerse por diferencia entre las entradas al depósito salino y las restantes salidas de agua, estimando, además, la variación del volumen de agua almacenado durante el periodo del balance.

Variación del volumen de agua subterránea almacenada en el depósito salino.- No se conoce con precisión pues no existen datos piezométricos del mismo.

En los siguientes subapartados se analizan los distintos componentes del balance que se realiza para el periodo marzo de 2004 a febrero de 2005, fechas en las que existen contadores volumétricos estratégicamente colocados, lo que permite conocer con precisión términos del balance.

6.1 Entradas de agua en el depósito salino

Los valores estimados para cada una de ellas se desarrollan a continuación.

6.1.1 Agua que acompaña a la sal vertida

En el proceso de separación de la sal potásica (silvinita) de las otras sales (halita), se utilizan salmueras con una densidad intermedia. Posteriormente las dos sales obtenidas se someten a un proceso de secado, por calefacción el CIK y, por paso a través de filtros de vacío a través de banda, el CINA, hasta alcanzar la final una humedad del orden del 8 – 9%.

Las toneladas anuales de sal vertida y su humedad media, a partir del año 1996, se indican en la tabla siguiente, en la que la primera columna se refiere al año, la segunda a las toneladas vertidas, la tercera a la humedad media de la sal en ese año y la cuarta a los m³ de agua calculados para cada año.

Agua con la sal. Depósito salino "El Cogulló"			
Año	t sal/año	humedad media	m3 agua/año
1996	1.928.376	8,8	169.697
1997	2.068.308	8,4	173.738
1998	1.844.445	9,9	182.600
1999	2.082.976	9,4	195.800
2000	1.920.109	9,0	172.810
2001	1.327.693	9,4	124.803
2002	916.224	8,9	81.544
2003	1.373.081	8,7	119.458
2004	1.578.568	8,4	132.600

Tabla 1. Evolución anual del depósito salino

Se tiene, por tanto, que junto a la sal se vierten cada año unos volúmenes de agua que en el periodo 1996 – 2004 han oscilado entre unos 81.500 y unos 195.800 m³, en función de la producción de sales potásicas y de la ley de mineral de cada año.

La acumulación de sal, como ya se ha indicado, actúa en parte como un acuífero ya que tiene cierta capacidad para regular en el tiempo las escorrentías subterráneas generadas por esos volúmenes. Así, si toda ella se drenase por la base, los caudales obtenidos, lógicamente, no variarían en una proporción de 1 a 2,4, que es como lo hace el volumen de agua anual enviado con la sal, sino que oscilaría en torno al caudal medio que es del orden de 150.300 m³ anuales, y serían más abundantes en los años con grandes producciones, y más escaso en los años con bajas producciones. Este comportamiento se debe a que – como se ha sintetizado en los capítulos sobre el estado del “arte” – un porcentaje del agua se drena en tiempos relativamente cortos, y el resto lo hace en periodos más largos.

6.1.2 Agua de lluvia que se infiltra en el depósito

Dado que el agua de lluvia presenta unos contenidos salinos muy bajos y que la sal es un material muy soluble, se admite que:

- que durante el año no se producen lluvias torrenciales que pudiesen superar la capacidad de infiltración, y
- que toda el agua de lluvia caída sobre el depósito, se infiltra.

Por tanto, los metros cúbicos anuales que entran por este concepto, dependerán de la precipitación y de la superficie que ocupa la acumulación de la sal. Estos dos parámetros, junto con el año correspondiente, se presentan en la siguiente tabla en las tres primeras columnas. En la última se indican los metros cúbicos de agua que cada año entrarían por este concepto.

Agua de lluvia infiltrada. En el depósito salino El Cogulló			
Año	Precipitación (mm/año)	Superf. escom(ha)	Agua lluvia(m³/año)
1994	490,2	19,5805	95.984
1995	678,0	21,8921	148.428
1996	971,1	23,7295	230.437
1997	551,5	25,6443	141.428
1998	296,9	28,0481	83.275
1999	657,7	29,9447	196.946
2000	524,1	31,5483	165.345
2001	398,4	31,7819	126.619
2002	603,0	33,9361	204.635
2003	615,1	35,0051	215.316
2004	510,7	35,1526	179.524

Tabla 2. Agua de lluvia infiltrada en el depósito de El Cogulló

Tal como se ha indicado, estos volúmenes, aunque se infiltran en periodos relativamente cortos (los días de lluvia), la acumulación salina los transforma en caudales suficientemente continuos en el tiempo. Así, si todo lo infiltrado en el año 2004 se drenase por un punto de la base el caudal medio sería del orden de 5,7 litros por segundo y cuyos caudales instantáneos variarían, de modo más o menos continuo, siguiendo ecuaciones del tipo de agotamiento.

6.1.3 Agua de escorrentía superficial que puede entrar en el depósito salino

Ya se ha indicado que se localiza en la cabecera de unos afluentes del Mas de les Coves, próxima a la divisoria con el arroyo Soldevila. Inicialmente el vertido se ubicó en un pequeño valle, dejando aguas arriba la cabecera del mismo. Para que las escorrentías superficiales que se generasen en este sector no se interrumpiesen con el depósito, antes de iniciar el vertido se colocaron tubos de desagüe hasta la presa de Escorrentías, de modo que esa agua, que potencialmente podrían contaminarse, se controlasen adecuadamente.

A medida que la superficie ocupada aumentó, las extensiones de las subcuencas localizadas aguas arriba disminuyeron, ya que el aumento se produjo, fundamentalmente, en esa dirección. Así, para la fecha en la que se realiza este balance, se tiene una única subcuenca cuya superficie es de 22 hectáreas, superficie prácticamente igual que la de 1999 periodo en el que la superficie ocupada no tuvo apenas modificaciones.

La escorrentía que las lluvias pueden generar en esta subcuenca depende de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración. Ésta última, para esta zona, se estima que es del orden del 85% de la primera. En la siguiente tabla se indica la lluvia útil calculada. En la última columna se indican los volúmenes anuales estimados generados y que entrarían en los tubos localizados bajo el depósito.

Volumen de la escorrentía superficial generada aguas arriba del depósito salino			
Año	Superficie subcuenca (ha)	Lluvia útil (mm)	Volumen agua (m³)
1999	22	99	2.170
2000	22	79	1.730
2001	22	60	1.315
2002	22	90	1.990
2003	22	92	2.030
2004	22	77	1.685

Tabla 3. Volumen de la escorrentía superficial generada aguas arriba del depósito salino

Es decir, la escorrentía estimada para el año 2004, sería del orden de 0,05 litros por segundo, valor que se considera en el cálculo a pesar de ser prácticamente despreciable.

6.1.4 Entradas totales de agua en el depósito salino

La cantidad total de aguas que constituyen las entradas al depósito salino, sin considerar la procedente de escorrentías superficiales, son por tanto las siguientes (datos en m³):

Año	Con la humedad de la sal	Con la lluvia	Total
1996	169.697	230.437	400.134
1997	173.738	141.428	315.166
1998	182.600	83.275	265.875
1999	195.800	196.946	392.746
2000	172.810	165.345	338.155
2001	124.803	126.619	251.422
2002	81.544	204.635	286.179
2003	119.458	215.316	334.774
2004	132.600	179.524	312.124

Tabla 4. Entradas totales de agua

Se tiene, por tanto, que las entradas totales de agua en el periodo 1996 – 2004 oscilan entre unos 251.500 y algo más que 400.000 m³.

6.2 Salidas de agua del depósito salino

Como ya se ha indicado las salidas de agua son fundamentalmente las tres siguientes:

- Evaporación.
- Drenaje al pie.
- Paso de agua subterránea desde el depósito salino a algún nivel permeable infrayacente

Previamente se ha indicado que el depósito se localiza sobre lutitas y areniscas (que son prácticamente impermeables) y calizas a las que puede filtrarse agua desde el depósito.

El comportamiento del agua subterránea es el siguiente: Cuando alcanza la base del depósito salino en zonas con lutitas, el agua subterránea discurre por las mismas siguiendo los trayectos de máxima pendiente, hasta alcanzar el fondo de los antiguos valles, en donde entra en los tubos de drenaje existentes y, a través de estos, alcanza la Balsa de Escorrentías.

Por el contrario, cuando el agua subterránea alcanza a las calizas, parte puede pasar a esta formación que, como se ha indicado, presentan cierto buzamiento hacia el norte.

En síntesis, el agua subterránea del depósito salino, al alcanzar la base, parte se dirige hacia la presa de Escorrentías y parte se infiltra en las calizas. Estas últimas se drenan fundamentalmente por el arroyo de Soldevila. La surgencia de éstas últimas se evidenció en la década de los años ochenta y la entonces propiedad minera solicitó y obtuvo autorización para recogerlas y enviarlas al Colector de Salmueras

En los siguientes subapartados se analizan los valores medidos y se acotan, en lo posible, los estimados. Primero se hace para el año 2004 que es el que presenta datos más fiables, pues en esa fecha se colocaron contadores de agua en puntos adecuados, y después se generalizan los resultados a una serie de años más larga.

6.2.1 Pérdida de agua por evaporación

En el Documento nº 3, Estado del arte del conocimiento de la hidrogeología de los depósitos salinos, se evalúan las pérdidas por evaporación de las aguas subterráneas de El Cogulló, que resultan ser de 121 mm/año.

Con este resultado, la salida de agua por evaporación en todo el depósito salino, teniendo en cuenta que tiene una extensión del orden de 35 hectáreas, será del orden de 42.535 metros cúbicos anuales.

Dado que la evaporación está ligada, en gran parte, con la temperatura ambiental, y que ésta no varía sensiblemente de un año a otro, se puede asumir que la que se produce en otros años será suficientemente parecida a la calculada para el año en que se ha realizado la experiencia.

6.2.2 Drenaje al pie del depósito salino. Año asimilable al 2004

Todo el drenaje que se produce al pie se canaliza a través de los drenes colocados en los fondos de los valles antes del vertido de sal, drenes que terminan en la presa de Escorrentías.

En febrero de 2004 se instaló un contador de agua para determinar con precisión los caudales drenados al pie. En la siguiente tabla se inclúyelos datos mensuales entre marzo de 2004 y febrero de 2005, es decir un año que podría asimilarse, en relación con el vertido de sal, al 2004 (diez meses son de ese año)..

	Presa de Escorrentía (Datos en m ³)
Marzo-2004	11.409
Abril-2004	17.120
Mayo-2004	15.760
Junio-2004	12.413
Julio-2004	12.994
Agosto-2004	12.918
Septiembre-2004	13.349
Octubre-2004	13.539
Noviembre-2004	11.583
Diciembre-2004	11.379
Enero-2005	10.836
Febrero-2005	9.277
TOTAL	152.577

Tabla 5. Volúmenes de agua en la Presa de escorrentia

Es decir, se puede estimar que el agua controlada en la presa de Escorrentías es del orden de 152.600 m³, lo que equivale a un caudal constante del orden de 5 litros por segundo. Parte de este agua se envía directamente al Colector y parte después de haber pasado por fábrica donde se utiliza en el proceso de separación de la silvinita de la halita.

En el año 2004 se enviaron al Colector de Salmueras, desde el centro de Sallent, 1.294.669 m³, por lo que lo enviado en ese año, a partir de la presa de Escorrentías, es del orden del 12% del total.

6.2.3 Paso de agua subterránea desde el depósito salino a algún nivel permeable infrayacente. Año asimilable al 2004

El arroyo Soldevila se puede clasificar como arroyo poco regulado naturalmente, por lo que su caudal es muy variable y depende de las lluvias caídas. Por las razones ya indicadas, del depósito se infiltran aguas a las calizas y éstas, a su vez, se drenan al Soldevila afectando a sus aguas. Para que las del Llobregat no se afectasen, la empresa minera construyó en el Soldevila una pequeña presa desde la que se bombean sus aguas y se envían al Colector de Salmueras. Cuando tras unas lluvias intensas se producen crecidas importantes, las aguas salobres que drenan las calizas, quedan muy diluidas, por lo que todas ellas pueden enviarse al Llobregat sin riesgos de afección

En febrero de 2004 se colocó un contador del agua enviada desde el Soldevila al Colector de Salmueras. Los resultados entre marzo de 2004 y febrero de 2005 se presentan en la siguiente tabla. (Datos en m³ mensuales):

Se tiene por tanto que desde el Soldevila se enviaron al Colector de Salmueras unos 233.500 m³, lo que equivale a un caudal continuo del orden de 7,4 litros por segundo y al 18% del caudal enviado al Colector de Salmueras desde el centro de Sallent.

Lógicamente parte de estos caudales pertenecen a aguas superficiales. En el gráfico de la página siguiente se representan los caudales en m³/mes en función del tiempo.

Para acotar el caudal que puede proceder del drenaje de las calizas se ha partido del hidrograma mostrado en el gráfico y se ha considerado que la máxima escorrentía subterránea se produce al final del periodo de lluvias, hacia mayo-junio. A partir de entonces el drenaje decrece paulatinamente hasta un valor mínimo, lo que coincide con el inicio del nuevo periodo de lluvias.

	Torrente Soldevilla (m ³)
Marzo-2004	20.278
Abril-2004	70.315
Mayo-2004	47.864
Junio-2004	18.592
Julio-2004	13.380
Agosto-2004	11.492
Septiembre-2004	11.557
Octubre-2004	8.137
Noviembre-2004	7.297
Diciembre-2004	7.857
Enero-2005	10.296
Febrero-2005	6.478
TOTAL	233.543

Tabla 6. Volúmenes de agua en Torrente Soldevilla

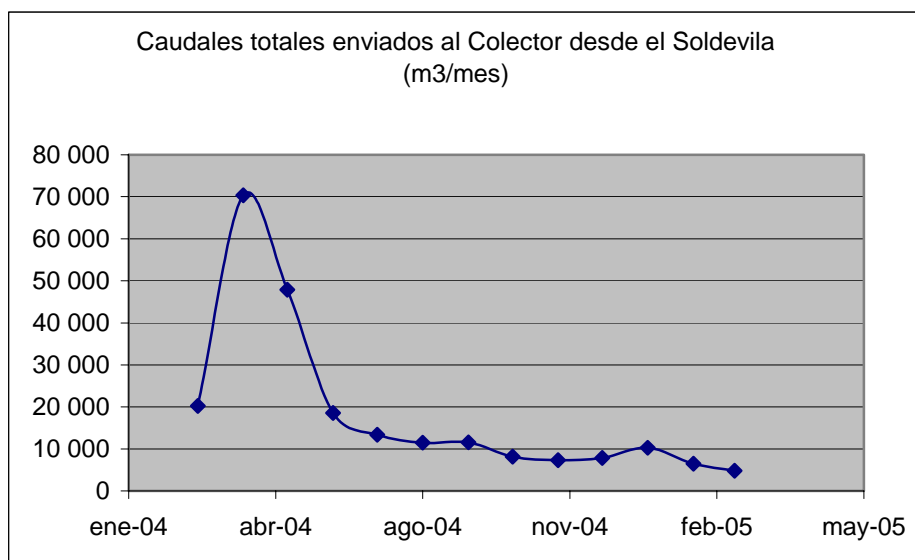


Figura 1. Caudales totales enviados al colector desde el Soldevilla

Con estos criterios, los volúmenes mensuales bombeados en el Soldevila que proceden del drenaje de las calizas son los indicados en la siguiente tabla. Los volúmenes mensuales debidos exclusivamente a la escorrentía superficial, serían los que se obtienen al sustraer de la tabla anterior, los de ésta.

Escorrentía subterránea. Volúmenes drenados por las calizas		
Mes	(m³/mes)	(litros/seg)
mar-04	6.000	2,2
abr-04	9.000	3,5
may-04	13.000	4,9
jun-04	13.000	3,5
jul-04	12.000	4,5
ago-04	10.500	3,9
sep-04	9.000	3,5
oct-04	8.000	3,0
nov-04	7.000	2,7
dic-04	6.700	2,5
ene-05	6.500	2,4
feb-05	6.400	2,6

Tabla 7. Escorrentía subterránea. Volúmenes drenados por las calizas

Se observa que la escorrentía subterránea del Soldevila se ha estimado que oscila entre unos 13.000 y unos 6.000 m³ mensuales, lo que equivale a unos caudales medios que oscilan entre unos 4,9 y unos 2,2 litros por segundo. El volumen anual resultante para la escorrentía subterránea resulta ser de 107.100 m³.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución en el tiempo de la escorrentía subterránea calculada.

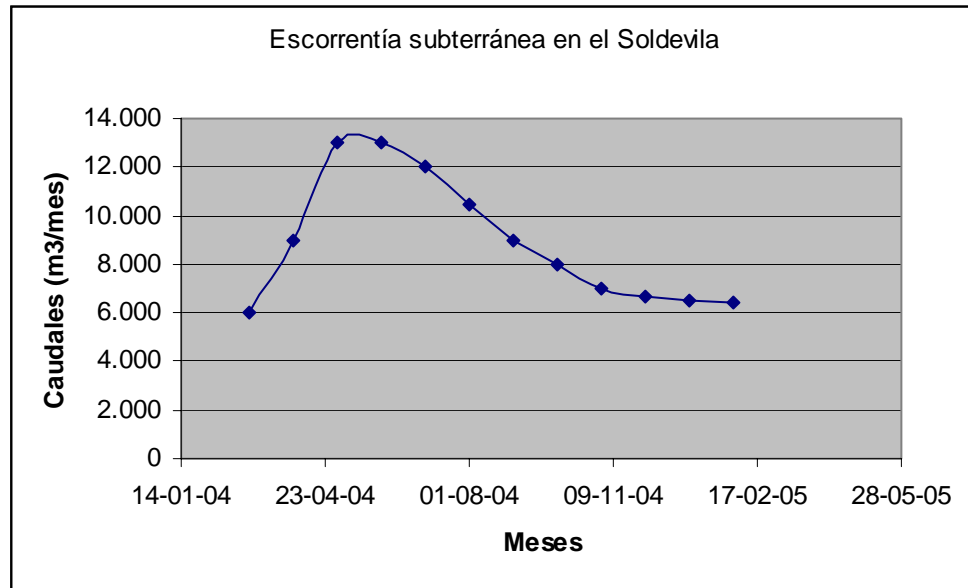


Figura 2. Escorrentía subterránea en el Soldevilla

Dado que en cualquier formación natural, características tales como la permeabilidad, porosidad, etc, no varían con el tiempo, el drenaje que originan depende, fundamentalmente, del gradiente hidráulico subterráneo existente en la formación Éste, a su vez, depende de la recarga que se produce. Dadas las características de la zona, en la que prácticamente no existen explotaciones artificiales, el gradiente debe variar poco de un año hidrológico a otro, por lo que el drenaje de estos niveles permeables tampoco debe variar sensiblemente entre los distintos años.

6.2.4 Variación del volumen de agua almacenada en el depósito salino

En este concepto hay que incluir dos tipos de agua. La primera corresponde con el agua que queda retenida por la sal y que no circula a través de los poros existentes, y la segunda es la que puede moverse a través de los poros y que corresponde con la denominada agua gravífica.

En relación con la que queda retenida por la sal, en el Documento nº 3, estado del "arte", se ha indicado que los estudios realizados en universidades canadienses han evidenciado que, tras el proceso experimentado por la sal desde el vertido hasta su consolidación, queda retenida por la sal una parte del agua y que esta cantidad, porcentualmente, puede ser del orden del uno por ciento.

Al aplicar este valor a los vertidos producidos entre los años 1996 y 2004 , y dado que la salmuera tiene una densidad de 1,2 t/m³, se obtienen los volúmenes indicados en la siguiente tabla.

Agua retenida con la sal		
Años	t sal vertidas	m³ agua retenida
1996	1.928.376	16.070
1997	2.068.308	17.236
1998	1.844.445	15.370
1999	2.082.976	17.358
2000	1.920.109	16.001
2001	1.327.693	11.064
2002	916.224	7.635
2003	1.373.081	11.442
2004	1.578.568	13.155

Tabla 8. Agua retenida con la sal

Además de estos volúmenes inmovilizados, de un año a otro pueden producirse cambios en el del agua gravífica. Sin embargo, al carecer de datos de la evolución piezométrica del depósito salino, este valor no es posible determinarlo. *A priori*, como las variaciones de vertido de sal, de humedad de la misma, de precipitación, etc son porcentualmente poco significativas, se considera que el proceso es suficientemente continuo y que, por consiguiente, las variaciones del volumen almacenado de agua gravífica son despreciables para periodos del orden del año. Esto sería aceptablemente correcto si no variase con el tiempo el volumen y superficie del depósito.

Al variar la superficie del almacenamiento de sal, la asunción anterior se coloca en el lado de la seguridad, ya que al aumentar la superficie, aumenta la extensión que puede almacenar agua gravífica y por tanto el volumen acumulado de la misma aumenta con el tiempo. La variación no puede ser nula.

Expresado de otra forma, si en el balance no se consideran estos incrementos de agua gravífica, estos volúmenes tienen que drenarse por la base o pasar a estratos permeables subyacentes.

7 BALANCE DE AGUA PARA EL AÑO 2004

Como se indicó previamente se presenta separadamente el balance del año 2004 pues es el que tiene datos más fiables en cuanto a los caudales drenados por el depósito hacia la presa de Escorrentías y hacia el arroyo Soldevila, ya que para esas fechas se instalaron contadores de agua.

Los resultados que se obtienen se incluyen en la siguiente tabla. Los datos de partida son los deducidos previamente. De los mismos también se ha indicado lo siguiente:

Respecto a las entradas de agua:

- El tonelaje de sal y su humedad se conocen con precisión. Responden a muchas medidas y análisis de laboratorio.
- La precipitación se determinó en una estación oficial situada a unos pocos centenares de metros del depósito.
- La escorrentía superficial, aguas arriba del depósito salino, es poco significativa. Se calculó a partir de métodos suficientemente contrastados.

Todos estos datos se consideran suficientemente correctos.

Respecto a las salidas:

- Los valores de la Presa de Escorrentías están medidos en contador de agua.
- El caudal bombeado del Soldevila se ha medido en contador. Incluye escorrentía exclusivamente superficial y otra que procede del drenaje de las calizas.
- La evaporación se ha estimado a partir de una experiencia de tres meses de duración y del contraste con la estación evaporimétrica del INM localizada en Manresa.
- El inmovilizado en la sal se ha estimado a partir de datos obtenidos en publicaciones científicas.
- La variación de agua gravífica se ha considerado nula.

Balance obtenido para el año 2004 (Datos en m³)	
Entradas:	
Como humedad de la sal	132.600
Infiltración de lluvia	179.524
Escorrentía superficial	1.685
Total	313.809
Salidas:	
Presa de escorrentías	152.577
Al Soldevila	107.100
Por evaporación	42.535
Inmovilizada en la sal	13.155
Total	315.367
Diferencia entre entradas y salidas	-1.558

Tabla 9. Balance de agua

Se tiene, por tanto, que para el año 2004 se considera que la entrada de agua al depósito salino, fue del orden de 313.800 m³. La mayor parte de esta agua se desplaza por el interior del depósito, por su franja más superficial, de modo que unos 152.500 m³ se drenan al pie del depósito por la presa de Escorrentías, unos 107.000 se infiltran a las calizas infrayacentes al depósito y resurgen en el Soldevila, unos 42.500 retornan a la atmósfera por evaporación, y unos 13.000 quedan retenidos en la sal.

Como en todas las determinaciones de balances de agua que se realizan en los estudios hidrogeológicos clásicos, en éste se obtiene una pequeña diferencia de cierre cifrada en 1.558 m³. Estas diferencias se deben a la complejidad de los procesos que afectan a las aguas subterráneas y que, parcialmente, se han sintetizado en el documento nº 3.

8 EXTRAPOLACIÓN DE LOS BALANCES DE AGUA DEL DEPÓSITO SALINO A LOS AÑOS DEL PERIODO 1996-2003

Previamente a la instalación de contadores se conocían los caudales totales enviados por el centro minero de Sallent al Colector de Salmueras, pero no el porcentaje procedente de la fábrica y su recinto, de la presa de Escorrentías y del Soldevila. Estas se conocen desde la instalación de contadores realizada a partir de 2004, lo que ha permitido realizar el balance anterior para el año 2004.

En este capítulo se presenta una extrapolación de los conceptos y valores definidos para una serie anual que se extiende desde 1996 hasta el 2003. Lógicamente, al no tratar datos directos de drenaje, la precisión de los nuevos resultados obtenidos será diferente a la anteriormente calculada.

Los datos de entrada de cada año de la serie considerada tienen igual precisión que los del año 2004. Dada la escasa significación de las escorrentías superficiales generadas aguas arriba del depósito, (0,5% de las entradas), no se consideran en estos balances.

Respecto a las salidas, el caudal de drenaje al Soldevila depende del gradiente hidráulico en las calizas y de la transmisividad de las mismas. El segundo valor no varía con el tiempo y el primero puede modificarse muy ligeramente de un año a otro, en función de la precipitación y del aporte total de agua a la acumulación salina. El resultado es que el drenaje al Soldevila se puede considerar suficientemente constante y ser del orden de 107.100 m³/año.

Las pérdidas por evaporación dependen de la superficie del depósito, y de la temperatura, velocidad del viento y otras características climáticas que varían poco de un año a otro. Por tanto la evaporación en el depósito por unidad de superficie, en los distintos años debe ser similar al valor calculado para 2004. Como, además, éste estaba en el lado conservador, se considera que la cifra de 121 litros/m²/año es extrapolable a todos los años del periodo 1996 - 2003.

Para el término del agua inmovilizada por la sal se sigue igual criterio: suponer que representa el 1% de la sal vertida y que la densidad de la salmuera es de 1,2 t/m³. No se considera el incremento del volumen de agua gravífica almacenado, porque dados los tiempos de drenaje del agua en los depósitos salinos, las variaciones anuales del volumen de agua almacenada se ha considerado que se compensan entre sí.

El tramo que puede admitir mayor variación es el correspondiente al agua drenada a la presa de Escorrentías, pues este es el término de la ecuación del balance que precisa menos energía para emerger.

A partir de todo lo indicado se han obtenido los resultados que se presentan en las siguientes tablas.

a).- Entrada de agua como humedad de la sal

Agua con la sal. Depósito salino "El Cogulló"			
Año	t sal/año	humedad media	m3 agua/año
1996	1.928.376	8,8	169.697
1997	2.068.308	8,4	173.738
1998	1.844.445	9,9	182.600
1999	2.082.976	9,4	195.800
2000	1.920.109	9,0	172.810
2001	1.327.693	9,4	124.803
2002	916.224	8,9	81.544
2003	1.373.081	8,7	119.458

Tabla 10. Entrada de agua con la sal

b).- Entradas de agua por precipitación

Entradas por precipitación			
Año	Precipitación (mm)	Superficie (ha)	Volumen (m³)
1996	971,1	23,73	230.437
1997	551,5	25,64	141.428
1998	296,9	28,05	83.275
1999	657,7	29,94	196.946
2000	524,1	31,55	165.345
2001	398,4	31,78	126.619
2002	603,0	33,94	204.635
2003	615,1	35,01	215.316

Tabla 11. Entradas por precipitación

c).- Salidas por drenajes al Soldevila.- Se consideran constantes a iguales a 107.100 m³ anuales

d).- Salidas por evaporación

Salidas por evaporación		
Año	Superficie (ha)	Evaporación (m³)
1996	23,73	28.713
1997	25,64	31.030
1998	28,05	33.938
1999	29,94	36.233
2000	31,55	38.173
2001	31,78	38.456
2002	33,94	41.063
2003	35,01	42.356

Tabla 12. Salidas por evaporación

e).- Agua drenada a la Presa de Escorrentías.- Se desconocen estos datos, ya que en este periodo no existían contadores. Para cada año se ha estimado por diferencia entre las entradas y las restantes salidas, de modo que el balance cierre a cero.

f).- Agua retenida por la sal

Agua retenida con la sal		
Años	t sal vertidas	m ³ agua retenida
1996	1.928.376	16.070
1997	2.068.308	17.236
1998	1.844.445	15.370
1999	2.082.976	17.358
2000	1.920.109	16.001
2001	1.327.693	11.064
2002	916.224	7.635
2003	1.373.081	11.442

Tabla 13. Agua retenida por la sal

A partir de los datos de entrada y de las premisas de funcionamiento indicadas, se obtendrían los siguientes balances para cada uno de los años indicados:

		Años							
		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Entradas	Con la sal	169.697	173.738	182.600	195.800	172.810	124.803	81.544	119.458
	Precipitación	230.437	141.428	83.275	196.946	165.345	126.619	204.635	215.316
	Total	400.134	315.166	265.875	392.746	338.155	251.422	286.179	334.774
Salidas	Soldevila	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100
	Evaporación	28.713	31.030	33.938	36.233	38.173	38.456	41.063	42.356
	Presa	248.251	159.800	109.467	232.055	176.881	94.802	130.381	173.876
	Inmovilizada sal	16.070	17.236	15.370	17.358	16.001	11.064	7.635	11.442
	Total	400.134	315.166	265.875	392.746	338.155	251.422	286.179	334.774

Tabla 14. Balance de agua

Los resultados obtenidos están dentro de los órdenes esperables para cada año, por lo que se considera que son admisibles. Las entradas y salidas de agua se enmarcan en valores que oscilan entre unos 250.000 m³/año y unos 400.000 m³/año. Las entradas principales se producen a partir de la precipitación y del contenido en agua de la sal vertida y las salidas principales lo son a la presa de Escorrentías y al Soldevila. Actualmente ambas se envían al Colector de Salmueras de la Generalitat.

9 RESUMEN Y CONCLUSIONES

1.- La mina de sal, localizada entre los términos municipales de Sallent y Balsareny, extrae un mineral compuesto en un 77% por halita y un 23% por silvinita. Las dos sustancias se clasifican en los grupos B y C de la Ley de Minas.

2.- El ritmo de venta de ambos productos es muy desigual. El 100% de la silvinita (sal potásica) extraída se vende en un periodo de tiempo muy corto. Por el contrario sólo una fracción de la halita (sal sódica) extraída se vende en ese periodo. La restante es preciso almacenarla. Esta es la razón del depósito salino.

3.- El vertido de sal se inició en 1978. Actualmente ocupa una extensión del orden de 36 hectáreas. El depósito salino se sitúa sobre materiales geológicos del Terciario, formados por alternancias de lutitas y calizas. Estos estratos presentan, a nivel regional, un ligero buzamiento hacia el norte.

4.- Antes del inicio del vertido en la zona, se acondicionó el terreno aplicando el conocimiento disponible. En particular colocando tubos de drenaje en el fondo de los valles y construyendo una presa aguas debajo de los mismos donde se recoge, para su gestión, las aguas salobres que se producen.

5.- En 2004 se colocaron contadores de agua a la salida de la presa de Escorrentías. Entre marzo de 2004 y febrero de 2005 el volumen de agua recogida en la presa y enviada al Colector de Salmueras, o a la fábrica de potasas, fue de 152.577 m³.

6.- Se admite que en los depósitos salinos existe un núcleo que ocupa gran parte de su volumen y que es prácticamente impermeable, y una franja de borde, que es por donde circula el agua infiltrada. Este agua en parte se pierde por evaporación y en parte se drena por la base.

7.- Aplicando estos criterios, y basados en el mejor conocimiento que se tiene actualmente sobre la geología del entorno del emplazamiento, se han realizado balances de agua correspondientes a los años comprendidos entre 1996 y 2004.

8.- El agua que entra en el depósito salino procede de:

- la humedad con que se vierte la sal,
- la lluvia caída sobre el mismo,
- las escorrentías superficiales generadas aguas arriba y que entren en contacto con la misma.

9.- El agua que sale del mismo se debe a lo siguiente:

- pérdidas por evaporación,
- drenajes en la base del depósito que se envían a la presa de Escorrentías,
- infiltración a niveles permeables infrayacentes.

10.- Una parte del agua que entra al depósito, queda en el mismo retenida por diversos procesos físico-químicos. Otra parte queda como incremento del agua gravífica almacenada debido al aumento de la superficie y volumen. En este estudio, con el fin de ponerse en el lado de la seguridad, se ha considerado que la primera representa el 1% de la sal vertida y que la segunda, por unidad de volumen del depósito, que es nula.

11.- Entre los niveles infrayacentes, sólo las calizas tienen cierta capacidad para permitir la circulación de agua subterránea. Estos niveles tienen buzamientos hacia el norte y se cortan en la ladera de la margen derecha del arroyo Soldevila, afluente del Llobregat, situado al norte del depósito.

12.- En la década de los ochenta comenzó a surgir agua salada por esos niveles. De acuerdo con la autoridad competente, la empresa minera entonces propietaria del yacimiento, instaló un dispositivo para

recoger estas aguas y enviarlas al Colector de Salmueras. Estas aguas incluyen, además, las escorrentías superficiales generadas en el arroyo, sin relación con la sal almacenada.

13.- Para la realización de los balances de agua, el año con más datos es el de 2004, pues en él se poseen medidas directas del drenaje a la Presa de Escorrentías y una estimación del agua que a través de las calizas puede llegar al Soldevila. Estas medidas corresponden a las registradas en los contadores de agua instalados que, en el caso del Soldevila incluyen, como se ha indicado, aguas de escorrentía superficial del arroyo.

14.- Para el año 2004 el balance de agua que se ha deducido ha sido el siguiente (Datos en m³)

Entradas de agua:

- Como humedad de la sal.....	132.600
- Infiltración de lluvia.....	179.524
- Escorrentía superficial.....	1.685
Total.....	313.809

Salidas de agua:

- A Presa de Escorrentías.....	152.577
- Al Soldevila.....	107.100
- Por evaporación.....	42.535
- Inmovilizada con la sal.....	13.155
Total.....	315.367

La diferencia obtenida entre las entradas y salidas, que en este caso es de solamente 1.558 m³, es normal en los balances de agua que se realizan en los estudios hidrogeológicos, y se deben a la complejidad de los procesos que afectan a las aguas subterráneas.

15.- La extrapolación a los años 1996 a 2003 se ha realizado suponiendo que los datos de entrada se calculan con igual criterio que en 2004 y que se consideran válidos, igual que los datos de salida relativos a la evaporación y al inmovilizado de la sal. Se ha supuesto que el drenaje al Soldevila debe mantenerse constante en el tiempo pues depende de la transmisividad de las calizas (que no varía con el tiempo) y del gradiente (que varía poco entre iguales meses de los distintos años). El drenaje a la presa de Escorrentías se ha considerado que es el que fundamentalmente responde a las variaciones que se produzcan en las condiciones de entrada y por tanto que es el más variable. Por esta razón, al no existir

contadores en estos años, este drenaje a pie del depósito salino se ha obtenido por diferencias. Con estos criterios, los resultados obtenidos para los balances anuales del periodo 1996 – 2003 han sido los siguientes:

		Años							
		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Entradas	Con la sal	169.697	173.738	182.600	195.800	172.810	124.803	81.544	119.458
	Precipitación	230.437	141.428	83.275	196.946	165.345	126.619	204.635	215.316
	Total	400.134	315.166	265.875	392.746	338.155	251.422	286.179	334.774
Salidas	Soldevila	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100	107.100
	Evaporación	28.713	31.030	33.938	36.233	38.173	38.456	41.063	42.356
	Presa	248.251	159.800	109.467	232.055	176.881	94.802	130.381	173.876
	Inmovilizada sal	16.070	17.236	15.370	17.358	16.001	11.064	7.635	11.442
	Total	400.134	315.166	265.875	392.746	338.155	251.422	286.179	334.774

Tabla 15. Balances anuales de 1996 a 2003

10 BIBLIOGRAFÍA

Acceptable salinity, sodicity and pH values for boreal forest reclamation. Darleno Howat, Alberta. 2000.

Assesment of the reliability of tailings dam structures by centrifuge modeling. E. De Souza, A. P. Dirige. Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production. 2000

Assessment of unsaturated soil properties for seepage modeling through tailings and mine waste. Murray D. Fredlund, Delwyn G. Fredlund, Sandra L. Houston, William (Bill) Houston

A study of evaporation from hypersaline tailings. T.A. Newson, Y. Fujiyasu, M. Fahey. Proceedings of the Fourteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Volume 3.

Conceptual model for estimating water recovery in tailins impoundments. C. Wels, A.MacG. Roberson.

Control of sodium-rich brine inflows at Central Canada Potash. A.M.Code, E.M.de Souza. CIM Mining Technology.

Draft Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. European Commission. 2003

Engineering and envirnmental considerations in salt tailings management and disposal underground. Euler de Souza.

Environmental Magement Strategies for Salt Tailings. Euler de Souza,

Field Investigation of Evaporation from Freshwater Tailings. Yoshimasa Fujiyasa, MartinbFahey, Tim Newson. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Volume 126, nº. 6. 2000.

Geotechnical and environmental benefits of salt tailings disposal underground. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. 1992.

La fin des activités minières. Rapport au Président de la République suivi des réponses des Administrations et des Organismes intéressés. 2000

Le traitement des anciens terrils de sel en Alsace. Ré Zurbach.

Measurement of evaporation from saline tailings storages. T.A. Newson, M. Fahey. Engineering Geology. Volume 70 nos. 3-4. 2003.

Modeling of flow through potash tailings piles. D.K.H. Wong, S.L. Barbour, D.G. Fredlund. 1987.

Programa de restauración de las instalaciones de Súría K, S.A. R.S.E. 1998.

Programa de restauración de Potasa del Llobregat. Institut Cartogràfic de Catalunya. Uiversitat Politècnica de Catalunya, Remote Sensing Europe, S. A. 1998

Salt backfill as a support system for soft rock mines. Euler M. De Souza. Rock Support in Mining and Undergrad Construction. 1992.

Solving tailings impoundment water balance problems with 3-D seepage software. Maritz Rykaart, Murray Fredlund, Jason Stianson.

The Alpha, Beta, Gamma of Evaporation From Saline Water Bodies. Atul M. Salhotra, E. Eric Adams d R.F. Harleman. Water Resources Research, Vol 23 no. 9, 1987.

The chemical and hydrological evolution of an ancient potash-forming evaporite basin as constrained by mineral sequence, fluid inclusion composition, and numerical simulation. Carlos Ayora, Javier García-Veigas, Juan José Pueyo. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol.58, no 16. 1994

The effect of brine dissolution on the strength behaviour of evaporites. R. Lee, E. De Souza. Rock Mechanics. 1996

The Effect of brine on the hydro-geotechnical behavior of tailings backfill, Rod S. Winsor, Euler de Souza. 97th Annual General Meeting of C.I.M. Rock Mechanics and Strata Control Session. 1995.

The geochemistry of brines and minerals from the Asse Salt Mine, Germany. A. Nishri, H.J. Herbert, N. Jockwer, W. Stichler. Applied Geochemistry. Vol 3. 1988

Unidades Hidrogeológicas de la España Peninsular e Islas Baleares. Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU), Instituto Tecnológico GeoMinero de España (hoy Instituto Geológico y Minero de España). 1990.

Water balance approach to prediction of seepage from mine tailings impoundments. Keith A. Ferguson, A.M. ASCE, Ian P.G. Hutchison, Robert L. Schiffman, M.ASCE. Seepage and Leakage from dams and impoundments. Edited by Richard L. Volpe and William E. Kelly.

Madrid, diciembre de 2007

Luis López Vílchez Ingeniero de Minas Colegiado nº C.849 CE.