



Hoja de control de firmas

Firma de Instituciones

Firma Institución 1	Firma Institución 2
Firma Institución 3	Firma Institución 4

Firma de Ingenieros

Nombre: Nº Colegiado: Colegio:	Nombre: Nº Colegiado: Colegio:
Nombre: Nº Colegiado: Colegio:	Nombre: Nº Colegiado: Colegio:

# Proyecto de Explotación

**Proyecto Mina Muga (Navarra y Aragón)**

**Anexo 15 - ACRA**

Febrero de 2020

 <p><b>COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE MINAS DEL NORTE</b></p>
<p>Nº.Colegiado: <b>1062 CE</b> Nombre: <b>Juan León Coullaut Sáenz de Sicilia</b> <b>Visado este proyecto con esta fecha, con el nº de visado E0005/20-NA, del libro de registro. 13 de Marzo de 2020</b></p>
<p><b>VISADO</b></p>



# Análisis Cuantitativo de Riesgos Ambientales (ACRA)

Proyecto Mina Muga

Avenida de Europa 26  
Edificio Ática 1, planta 1  
Madrid 28023  
Madrid, Spain

 **Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Norte**  
603876087E-EN-REP-E.03

## Diligencia

Para hacer constar que por el presente visado se ha comprobado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Norte:

I.- La identidad y habilitación profesional del autor del trabajo D. Juan León Coullaut Sáenz de Sicilia colegiado núm. 1062 CE

II.- Que el presente proyecto-trabajo reúne la corrección e integridad formal de la documentación que lo conforma, de acuerdo con lo establecido.

III.- Que el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Norte asumirá en su caso, la responsabilidad subsidiaria a la que hace referencia el Art. 13.3 de la Ley 2/74, de Colegios Profesionales, modificada por la Ley 25/2009, de 22 de diciembre.



**Advisian**

WorleyParsons Group



**Advisian**

WorleyParsons Group

**Geoalcali**  
**Análisis Cuantitativo de Riesgos**  
**Ambientales (ACRA)**  
Proyecto Mina Muga



## Responsabilidad

Este informe se ha preparado en nombre y para el uso exclusivo de Geoalcali, y está sujeto a y expedido en conformidad con el acuerdo entre Geoalcali y Advisian.

Advisian no aceptará ninguna responsabilidad ni obligación relativa a cualquier uso de este informe por terceras partes o las consecuencias derivadas de dicho uso.

Ninguna parte de este informe puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin la autorización de Geoalcali y Advisian.

## Project No: 60387-60387-EN-REP-E.03 – Análisis Cuantitativo de Riesgos Ambientales (ACRA) : Proyecto Mina Muga

Rev	Description	Author	Review	Advisian Approval	Date
A	Borrador	RB, MAM, JS	JS	CS	22/05/18
B	Final	JS	JS	CS	19/06/18
C	Final revisada	JS	JS	CS	29/05/18
D	Modificación	JS	JS	CS	19/06/18



# Índice

- 0 Resumen Ejecutivo..... 6
  - 0.1 Objeto:..... 6
  - 0.2 Aspectos metodológicos:..... 6
  - 0.3 Resultados: ..... 6
  - 0.4 Establecimiento de la garantía financiera del Proyecto Mina Muga:.. 7
- 1 Introducción..... 8
- 2 Resumen del marco reglamentario y metodología..... 9
  - 2.1 Marco reglamentario ..... 9
  - 2.2 Definiciones.....10
  - 2.3 Metodología .....11
- 3 Análisis Cuantitativo de Riesgos Ambientales.....12
  - 3.1 Descripción básica de las instalaciones.....12
    - 3.1.1 Área de Bocamina..... 13
    - 3.1.2 Cintas de transporte..... 13
    - 3.1.3 Planta de beneficio, planta de producción de sal de deshielo y planta de backfilling..... 13
    - 3.1.4 Edificios auxiliares ..... 14
    - 3.1.5 Balsas y Barreras ..... 14
    - 3.1.6 Suministro energético industrial: ..... 15
    - 3.1.7 Gestión de las aguas..... 15
  - 3.2 Caracterización del entorno .....15
    - 3.2.1 Climatología y calidad del aire..... 16
    - 3.2.2 Geología ..... 16
    - 3.2.3 Hidrología e Hidrogeología ..... 17

3.2.4	Espacios Naturales Protegidos.....	19
3.2.5	Especies relevante.....	19
3.3	Identificación de peligros, determinación de Sucesos Iniciaadores y Escenarios Accidentales .....	19
3.3.1	Desarrollo de las sesiones HAZID .....	20
3.3.2	Selección de los Escenarios Accidentales relevantes.....	23
3.3.3	Selección de los escenarios específicos de balsas.....	25
3.4	Cálculo de probabilidades .....	26
3.4.1	Asignación de Probabilidades de los Sucesos Iniciaadores .....	26
3.4.2	Asignación de Probabilidades de los Escenarios Accidentales.....	29
3.5	Cálculo del IDM.....	31
3.6	Cálculo del riesgo y selección del Escenario de Referencia.....	35
3.7	Cuantificación del daño ambiental del Escenario de Referencia .....	38
3.7.1	Umbrales de significatividad.....	38
3.7.2	Modelización.....	38
3.7.3	Cuantificación del daño   unidades biofísicas .....	41
3.8	Monetización del daño y Garantía Financiera .....	41
3.8.1	Monetización del daño   MORA .....	41
3.8.2	Cálculo de la garantía financiera .....	42
3.9	Recomendaciones de tratamiento del riesgo.....	42
4	Referencias .....	44

## Lista de Tablas

Tabla 2-1. Definiciones.....	10
Tabla 3-1 Tabla de valoración semicuantitativa de probabilidad.....	21
Tabla 3-2 Tabla de valoración semicuantitativa de consecuencias.....	22



Tabla 3-3 Matriz de riesgo establecida en la Norma UNE 150.008:2008 ..... 22

Tabla 3-4: Escenarios accidentales seleccionados (otros que balsas) ..... 24

Tabla 3-5. Escenarios accidentales seleccionados (balsas) ..... 25

Tabla 3-6. Frecuencias de los SSII ..... 28

Tabla 3-7. Escenarios y probabilidades finales consideradas ..... 30

Tabla 3-8 Características de las sustancias utilizadas ..... 32

Tabla 3-9 Valores IDM por escenario ..... 33

Tabla 3-10. Probabilidad, Valor de IDM y Riesgo asociado y acumulado a cada escenario ..... 35

Tabla 3-11 Cuantificación del daño ..... 41

Tabla 3-12 Monetización del daño ..... 41

## Lista de Anexos

- Anexo 1 Registro de la sesión HAZID
- Anexo 2 Escenarios Accidentales seleccionados (excepto balsas)
- Anexo 3 Informes del IDM para los Escenarios Accidentales seleccionados
- Anexo 4 Informe MORA
- Anexo 5: Análisis de Riesgos de Contaminación Hídrica (CRS)



## 0 Resumen Ejecutivo

El presente informe de “ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS AMBIENTALES (ACRA) del Proyecto Mina Muga” ha sido realizado por Advisian a petición de Geoalcali, para dar cumplimiento al requerimiento de información adicional por parte del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), durante el trámite de evaluación ambiental del Proyecto Mina Muga y de acuerdo con la normativa vigente en materia de Responsabilidad Medioambiental.

### 0.1 Objeto:

El objetivo del informe es identificar y analizar los Escenarios Accidentales (EEAA) más relevantes del Proyecto y seleccionar el Escenario de Referencia de acuerdo con el R.D. 183/2015, para establecer la garantía financiera del proyecto.

### 0.2 Aspectos metodológicos:

- La metodología seguida responde a lo establecido en el R.D 183/2015 de 13 marzo, por el que se modifica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, aprobado por RD 2090/2008, y que constituye el marco de referencia para la realización de los análisis de riesgos ambientales. Se han utilizado las herramientas desarrolladas por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente para apoyar a los operadores en la realización de los análisis de riesgos (Guía metodológica, aplicación para el cálculo del IDM y MORA)
- Se han estudiado todos aquellos **escenarios significativos de riesgo ambiental** que puedan acaecer durante la fase de operación del proyecto Mina Muga, y que están considerados en la Guía Metodológica (*Proyecto Piloto de Guía Metodológica para los sectores de minería de sulfuros polimetalicos y minería de sales sódicas y potásicas. CTPRDM, 2012*) del sector. También se han valorado otros escenarios (aunque de baja probabilidad de ocurrencia) no incluidos en la mencionada Guía; y que, dada su relevancia en el proyecto, se han incluido en el estudio;
- Se han analizado los escenarios **accidentales** que pudieran suceder durante la fase de operación.
- De acuerdo con el marco reglamentario de referencia, los daños se estiman para los receptores objeto de reparación según la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

### 0.3 Resultados:

- De un total inicial de 95 Sucesos Iniciables se han seleccionado 60 aplicables a la actividad, los que han sido sometidos a una valoración semicuantitativa de probabilidad y consecuencias, de forma a poder seleccionar los más relevantes para el Proyecto. A partir de los escenarios analizados, y de acuerdo con la norma UNE 150.008 y el RD 183/2015, se ha desarrollado la metodología y resultados del análisis cuantitativo de riesgos ambientales, realizándose el



cálculo de probabilidades, Índice de Daño Medioambiental (IDM) y riesgos de cada uno de los EEAA seleccionados, lo que ha permitido identificar el Escenario de Referencia.

- En este punto, cabe destacar que, durante el cálculo de probabilidades y riesgos de cada uno de los escenarios, se han tenido en cuenta los controles existentes: se ha contemplado no solo la posibilidad de que el suceso iniciador en cuestión se produzca, sino de que, además, la sustancia o agente genérico causante del daño llegue a alcanzar el medio, franqueando todas aquellas medidas de seguridad (cubetos, etc.) ya implementadas en el diseño de la instalación. **Por ello, las mayores probabilidades finales calculadas para los escenarios seleccionados están en el entorno de 1E-05 (ver tabla 3.7), con lo que la probabilidad final de afección al medio de cada uno de ellos es mínima.**
- De acuerdo con el R.D. 183/2015, se considera Escenario de Referencia a aquel que, de entre los escenarios con menor IDM que agrupan el 95% del riesgo total, presente un mayor IDM. Por ello, y una vez calculados los IDM y riesgos de cada uno de los 8 escenarios considerados, éstos se han ordenado de menor a mayor IDM y se ha seleccionado el escenario con menor IDM que agrupa el 95% del riesgo, que es el denominado Escenario de Referencia: **Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas.**
- Las consecuencias asociadas al escenario de referencia han sido cuantificadas en términos de cantidad de receptores afectados, utilizando modelos ampliamente contrastados, y monetizadas, para estimar su coste de reparación, montante a partir del cual se establece la garantía financiera.

## 0.4 Establecimiento de la garantía financiera del Proyecto Mina Muga:

Conforme a la legislación vigente, una vez definido el Escenario de Referencia, se ha procedido a la monetización del mismo (mediante el MORA), y que fija la cuantía de la **garantía financiera del proyecto en 6.641.196 €.**



# 1 Introducción

Advisian ha sido contratada por Geoalcali para realizar el ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS AMBIENTALES (ACRA) del proyecto de mina Muga, en Sangüesa (Navarra) y Undués de Lerda (Aragón), de acuerdo con la normativa vigente en materia de Responsabilidad Medioambiental:

- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, que publica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental
- Ley 11/2014, de 3 de julio, por la que se modifica la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado mediante Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre.

Los trabajos realizados dan cumplimiento a los requisitos del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), durante el trámite de evaluación ambiental del Proyecto Mina Muga promovido por Geoalcali. Para ello, se han realizado las siguientes tareas:

- Identificación de peligros ambientales, Identificación de Sucesos Iniciaores (SSII) y Escenarios Accidentales (EEAA). HAZID
- Cálculo de la probabilidad de los EEAA
- Caracterización del entorno y cálculo del IDM
- Cálculo del riesgo e identificación del Escenario de Referencia
- Cálculo de consecuencias del Escenario de Referencia: Unidades Biofísicas y Significatividad del Daño
- Monetización y establecimiento de la Garantía Financiera
- Propuesta de acciones y recomendaciones para gestionar riesgo

El ACRA cubre las instalaciones proyectadas para la mina de potasa y sales sódicas, las zonas industriales para el tratamiento del mineral extraído, las balsas asociadas a los procesos productivos y almacenamiento de residuos<sup>1</sup>, y las instalaciones auxiliares.

De acuerdo con el marco reglamentario de referencia, los daños se estiman única y exclusivamente para los receptores objeto de reparación según la LRM, y no se han contemplado otros receptores ambientales, patrimoniales o de cualquier otra naturaleza.

---

<sup>1</sup> A partir de los trabajos realizados específicamente para estas instalaciones (CRS, 2018)



## 2 Resumen del marco reglamentario y metodología

### 2.1 Marco reglamentario

Este estudio se enmarca en el siguiente contexto reglamentario y técnico:

- **DIRECTIVA 2004/35/CE**, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. Y revisión de sus modificaciones posteriores de la misma:
  - i. **DIRECTIVA 2013/30**, de 12 de junio, sobre la seguridad de las operaciones relativas al petróleo y al gas mar adentro, y que modifica la Directiva 2004/35/CE
  - ii. **DIRECTIVA 2009/31**, de 23 de abril, relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono y por la que se modifican las directivas 85/337, 2000/60, 2001/80, 2004/35, 2006/12, 2008/1 y el Reglamento 1013/2006
  - iii. **DIRECTIVA 2006/21**, de 15 de marzo, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35
- **LEY 26/2007**, de Responsabilidad Medioambiental y el Real Decreto 2090/2008, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley de Responsabilidad Medioambiental
- **REAL DECRETO 2090 / 2008**, de 22 de diciembre, que aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental
- **ORDEN ARM / 1783 / 2011**, de 22 de junio, por el que se establece la orden de prioridad y el calendario para la aprobación de las órdenes ministeriales a partir de las cuáles será exigible la garantía financiera obligatoria prevista en la Ley 26/2007
- **Ley 11/2014**, de 3 de julio, por la que se modifica la ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- **Real Decreto 183/2015**, de 13 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre
- **Orden APM/1040/2017**, de 23 de octubre, por la que se establece la fecha a partir de la cual será exigible la constitución de la garantía financiera obligatoria para las actividades del anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, clasificadas como nivel de prioridad 1 y 2, mediante Orden ARM/1783/2011, de 22 de junio, y por la que se modifica su anexo.
- **NORMA UNE 150008:2008** de análisis de riesgo medioambiental
- **MORA**, Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental
- **RD 840/2015** para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas (Normativa SEVESO, análisis de riesgos y consecuencias para las personas, los bienes y el medio ambiente).

- **Proyecto Piloto de Guía Metodológica para los sectores de minería de sulfuros polimetalicos y minería de sales sódicas y potásicas.** CTPRDM, 2012. (en adelante “Guía Metodológica”)

## 2.2 Definiciones

Con el fin de establecer una terminología común de trabajo, Advisian propone utilizar las siguientes definiciones incluidas en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1. Definiciones**

<b>ESCENARIO ACCIDENTAL</b>	Cada una de las rutas en las que puede evolucionar un accidente particularizado a un equipo y ubicación concreta teniendo en cuenta medidas de contención y sistemas de detección y corte. Es el resultado final de un Suceso Iniciador. El cambio del producto, el suceso iniciador, el equipo, la cantidad implicada o el cambio en la afección final en tipología o extensión se consideraría un escenario distinto.
<b>ESCENARIO REFERENCIA</b>	<b>DE</b> Es el escenario seleccionado para el cálculo de consecuencias (unidades biofísicas), monetización y cálculo de la garantía financiera. De entre los escenarios con menor Índice de Daños Medioambientales (IDM) que agrupan el 95% del riesgo total, es el que presenta un mayor IDM.
<b>ÍNDICE DE DAÑOS MEDIOAMBIENTALES (IDM)</b>	Tiene por objeto estimar el daño asociado a cada escenario accidental, y está basado en una serie de estimadores de la cantidad de recurso dañada y de los costes de reparación de los recursos naturales cubiertos por la Ley 26/2007.
<b>MODELO CONCEPTUAL DE RIESGOS (MCR)</b>	<b>DE</b> Representación tabulada o gráfica simplificada de las posibles combinaciones foco de peligro – ruta de migración – receptor.
<b>SUCESO INICIADOR</b>	Sucesos de pérdida de producto genéricos que se han definido para un foco, localización y producto concreto. Ejemplo de sucesos iniciadores podría ser la rotura total de una línea concreta, la rotura parcial o completa de un tanque de almacenamiento, rebose de balsas, etc. Los sucesos iniciadores genéricos de partida son definidos con apoyo en la bibliografía de referencia de accidentes graves como RIVM (2009) <sup>2</sup> o TNO (2005) <sup>3</sup> .

<sup>2</sup> RIVM (2009). *Reference Manual Bevi Risk Assessments, version 3.2.*

<sup>3</sup> TNO (2005). *Guidelines for quantitative risk assessment “Purple Book”*



## 2.3 Metodología

La realización del Análisis de Riesgos Ambientales sigue un proceso que consta de las siguientes fases:

- Recopilación de información sobre las instalaciones y el entorno
- Identificación de peligros ambientales,
- Identificación de Sucesos Iniciadores (SSII), vías de migración y factores condicionantes
- Definición de Escenarios Accidentales (EEAA).
- Cálculo de la probabilidad de los EEAA
- Cálculo de consecuencias: IDM
- Cálculo del riesgo e identificación del Escenario de Referencia
- Cálculo de consecuencias del Escenario de Referencia: Unidades Biofísicas y Significatividad del Daño
- Monetización
- Establecimiento de la Garantía Financiera
- Propuesta de acciones y recomendaciones para gestionar riesgo

Es de resaltar que el proyecto de mina se encuentra en fase de diseño, no existiendo en la actualidad ninguna de las instalaciones proyectadas objeto del estudio, por lo que todos los trabajos realizados se basan en la información del proyecto de explotación y del entorno (estudio de impacto ambiental) proporcionada por Geoalcali.



## 3 Análisis Cuantitativo de Riesgos Ambientales

Esta sección presenta la metodología y resultados del análisis cuantitativo de riesgos ambientales, de acuerdo con la norma UNE 150.008 y el RD 183/12015.

### 3.1 Descripción básica de las instalaciones

La información relativa a la descripción de las instalaciones que se expone en los siguientes apartados, ha sido extraída del Estudio de Impacto Ambiental refundido (EIA)<sup>4</sup> suministrado por Geoalcali.

La huella mineral a explotar tiene una superficie de 2.404 ha con unas profundidades que oscilan entre los 200 m y los 1.500 m y será explotada a lo largo de 18 años. Dicha explotación se llevará a cabo mediante minería subterránea, aplicando de forma mayoritaria el método de cámaras y pilares.

El acceso a los diferentes horizontes mineros se hace a través de dos rampas cuyas instalaciones asociadas son:

- **Ventilación principal** mediante un pozo de ventilación en la rampa oeste.
- **Instalación eléctrica:** centros de transformación en rampas alimentados desde subestación Santa Eufemia en exterior de mina mediante un anillo de media tensión.
- **Salas de bombeo:** Ejecución de 3 salas de bombeo por rampa para almacenar y bombear al exterior las aguas.

El mineral extraído es la Silvinita, de la cual se extrae mediante procesos físicos de trituración y flotación, el cloruro de potasio (KCl), también conocido como MOP (Muriato de Potasio); cuya aplicación principal es su uso como fertilizante.

Como productos secundarios aprovechables, se obtiene:

- Halita durante las labores de avances de las cámaras subterráneas (sal de estructura). Procesado para sal de deshielo y finalmente venta.
- Tailings (concentrado de halita, halita no pura). Procesado para sal de deshielo y finalmente venta.
- Lamas principalmente insolubles (52%), KCl, NaCl y en menor medida MgCl. Para el relleno de los huecos mineros (método de backfilling).

---

<sup>4</sup> Estudio de Impacto Ambiental Refundido (EIA). Proyecto Mina Muga (Navarra y Aragón, España). Documento 1: memoria. TYPESA, Ingenieros, Consultores y Arquitectos, 28 de abril de 2017.



### **3.1.1 Área de Bocamina**

Durante la Fase de Explotación del Proyecto el área de bocamina contendrá las siguientes instalaciones auxiliares necesarias para la producción mineral:

- Zona para el control de mina y telecomunicaciones.
- Centro de transformación.
- Torre de transferencia y cinta de transporte mineral asociadas a rampa este.
- Zona de almacén de fungibles.
- Zona de depósitos de agua.
- Zona de depósitos de combustible.
- Punto limpio para el almacenamiento de residuos inertes y peligrosos.
- Desarenador y separador de hidrocarburos.
- Balsa de recogida de aguas pluviales de la plataforma de bocamina. Estas aguas serán conducidas mediante sendos colectores a las balsas de proceso.
- Subestación eléctrica Santa Eufemia.

### **3.1.2 Cintas de transporte**

Las cintas proyectadas extraerán durante la Fase de Explotación el mineral extraído en mina hasta la superficie, donde discurrirá a lo largo de la zona industrial.

Se proyecta la instalación de 5.417 m de longitud total de cintas transportadoras de los cuales 2.694 m serán instalados en mina y 2.723 m en superficie (incluyendo las que discurren dentro de los edificios).

### **3.1.3 Planta de beneficio, planta de producción de sal de deshielo y planta de backfilling**

En su conjunto la zona industrial incluye 20 edificios, 6 de ellos principales, dedicados al proceso y 14 restantes auxiliares. Los principales edificios de proceso se exponen a continuación:

- Edificio ROM
- Edificio de trituración y flotación
- Edificio de secado, compactado y glazing (S, C, y G)
- Planta de backfilling
- Planta de sal de deshielo
- Edificio GMOP



### 3.1.4 Edificios auxiliares

En la instalación minera se dispone de 13 edificios auxiliares, ubicados en la zona industrial. Estos se enumeran a continuación:

- Sala eléctrica ROM
- Sala eléctrica Trituración y Flotación
- Sala eléctrica S, C, y G
- Sala eléctrica GMOP
- Sala control de accesos
- Edificio de logística
- Edificio de laboratorio y control
- Edificio de trommel
- Edificio de carga de camiones
- Edificio de reactivos
- 2 Talleres de mantenimiento
- Nave de almacén de repuestos
- Área de oficinas centrales

### 3.1.5 Balsas y Barreras

Las instalaciones de superficie incluyen las siguientes balsas:

- **Balsa de agua** dulce conformada por dos vasos, con capacidad total de almacenamiento de 300.000 m<sup>3</sup>.
- **Balsas de evaporación**, incluyen seis vasos con capacidad total de almacenamiento de capacidad 631.000 m<sup>3</sup>.
- **Balsa reguladora de salmuera** formada por 2 vasos con una capacidad total de 310.000 m<sup>3</sup>.
- **Balsas de pluviales**. Incluye una balsa para recogida de pluviales de la plataforma minera en bocamina con capacidad de 1.335 m<sup>3</sup> cuya función será derivar sus caudales hacia las balsas de almacenamiento de la zona de planta. Además se cuenta con una balsa de pluviales en zona de planta de 20.000 m<sup>3</sup> y a la que llegarán las escorrentías que se organicen en el área industrial y una balsa de 10.000 m<sup>3</sup> ubicada junto al parque de acopio de sal de deshielo que recogerá las pluviales de la zona.
- **Balsa de lixiviados del depósito temporal de materiales valorizables**, con una capacidad total de 60.000 m<sup>3</sup> que recogerá las aguas de infiltración y escorrentía que se generen en el depósito temporal. El agua recogida será bombeada a la balsa reguladora de salmuera.

Se incluyen también dos barreras de materiales inertes procedentes del movimiento de tierras.



- **Barrera visual norte**, formada por dos terraplenes con una altura media de 13 m y una longitud total de 768 m, separados por el cerro de Ongay, con funciones de pantalla visual para evitar ver las instalaciones desde el Camino de Santiago.
- **Barrera de protección sur**, con una altura máxima de 10 m y una longitud total de 2.982 m englobando todas las instalaciones al sur de la Planta de tratamiento.

### 3.1.6 Suministro energético industrial:

- **Energía eléctrica.** Línea eléctrica de Alta Tensión (66 kV) que parte desde la subestación eléctrica de Sangüesa. Dos subestaciones eléctricas de abonado.
- **Energía térmica:** Gas Natural Licuado para procesos de secado del proceso industrial y Energía Renovable para la demanda de ACS en un 50%.
- **Energía Fósil** para suministro de combustible a maquinaria y vehículos de transporte. Dos depósitos de gasoil, de doble pared fabricados e instalados de acuerdo con RD 1523/1999, y sus Instrucciones MI-IP03 y MI-IP04.

### 3.1.7 Gestión de las aguas

La fuente principal son aguas generadas por la actividad (achique minero, pluviales etc.), y como complementaria se dispone de la captación de aguas subterráneas y superficiales (Canal de Bárdenas).

Se prevé un consumo anual de 807.784 m<sup>3</sup> y se dispone de una garantía de almacenamiento de 3 meses de autosuficiencia sin captación de aguas públicas.

Los equipos de depuración de los que se dispone son:

- EDAR tratamiento terciario con desodorización
- Clarificador de las aguas de achique minero
- Separador de Hidrocarburos
- Balsa de Decantación.

Las aguas salinas generadas se gestionan a través de eliminación en balsas de evaporación y reutilización en Planta de Beneficio y Backfilling.

Se prevé un vertido "cero" de aguas del proceso industrial, y un vertido de aguas sanitarias de la EDAR al arroyo de Valdeborro (11.673 m<sup>3</sup>/año). Las aguas de escorrentía externas a la zona de implantación se desviarán para evitar el contacto con las instalaciones industriales.

## 3.2 Caracterización del entorno

La información relativa a la caracterización del entorno que se expone en los siguientes apartados, ha sido extraída de la Evaluación de impacto Ambiental suministrada por Geoalcali.



### 3.2.1 Climatología y calidad del aire

El **clima** en la zona de estudio se engloba dentro del contexto climático de la zona media de Navarra (cuencas prepirenaicas de Pamplona y Aoiz-Lumbier). En ellas se suceden climas de transición entre el oceánico del norte y el mediterráneo del sur de Navarra, con una temperatura media anual de entre 12-13 ° C y una precipitación anual en el entorno de 560-600 mm. La **calidad atmosférica** es buena en rasgos generales y no se aprecian signos de contaminación del aire, lumínica, electromagnética o acústica.

### 3.2.2 Geología

Desde el **punto de vista geológico**, la Mina Muga se encuentra en la denominada zona Surpirenaica Occidental, en el dominio del sinclinorio de Guara, formado por los sedimento de la Cuenca de Jaca-Pamplona, con edades Eoceno y Oligoceno. Se caracteriza por estar integrada por materiales mesozoicos y cenozoicos fundamentalmente, formando pliegues y cabalgamientos con vergencia general al sur. El entorno del yacimiento potásico está formado al norte por el frente de cabalgamiento de la sierra de Leire, que discurre con rumbo casi E-W y donde afloran rocas carbonatadas del Cretácico Superior y de Paleoceno a Eoceno Inferior. Hacia el sur aparecen los relieves de las Sierras Exteriores, formadas por una gruesa alternancia de areniscas y margoluitas.

La secuencia estratigráfica está constituida esencialmente por margoluitas (Oligoceno-Eoceno Superior) que presentan frecuentes intercalaciones arenosas que se van haciendo más abundantes hacia la base de la serie del Oligoceno, formadas en un ambiente continental. Por debajo de un tramo esencialmente arenoso, aparece una serie lacustre margosa que pasa a una serie evaporítica, que contiene las potasas. Debajo de ella aparece una secuencia margosa formada en un ambiente marino. Por debajo no se tiene información por haberse sobrepasado el tramo de interés económico.

Desde el punto de vista estructural, existen una serie de fallas que delimitan el área de la explotación, como la falla de la Cardonera, la Meridional o la de Ruesta. Desde el punto de vista de la sismicidad, la zona se caracteriza por una escasa actividad sísmica. El único episodio relevante fue el de la Canal de Berdún 1923-25 (sismo de Martes), al cual se le ha calculado una momento sísmico escalar de  $1.5 \times 10^{17}$  Nm que corresponde a una Magnitud momento (Mw) de  $5.4 \pm 0.2$ ". La gran profundidad de este sismo, la intensidad y magnitud establecidas así como su rápida atenuación, le otorgan una peligrosidad sísmica muy baja. Ampliando el ámbito de estudio en un contexto regional, hay evidencias objetivas de que la falla de Loiti no ha tenido actividad reciente en los últimos 100.000 años. Además, la falla de Leire tampoco ha tenido actividad reciente en los últimos 4.425 años ni la de La Trinidad en los últimos 100.000 años.

Se ha realizado un estudio específico de sismicidad, entre cuyas conclusiones más importantes se pueden destacar las siguientes: que no se ha identificado una relación entre sismicidad y pluviometría a lo largo del tiempo, que no se ha evidenciado sismicidad inducida ocasionada por el llenado y el vaciado del embalse de Yesa, y que no hay posibilidad de potencial interacción entre la explotación minera proyectada y la presa de Yesa.



Desde el **punto de vista geomorfológico**, la zona objeto de estudio se localiza al sur del río Aragón, siendo la sierra más cercana la de La Sarda al noreste. El relieve regional de la zona de estudio es variado, pudiendo distinguirse tres áreas con diferentes características. El sector septentrional de relieve alomado de la que forman parte las estribaciones de los montes próximos a Javier y Sangüesa. El sector meridional, más montañoso, destacando las elevaciones de la Sierra de San Pedro al Oeste y Peña de Santo Domingo al Este. Y el Valle de los ríos Aragón y Onsella, enlace entre las zonas anteriores, constituyendo un área deprimida por la que discurren dichos cursos de agua en su salida a la Depresión del Ebro. Aquí es donde se encuentran las mínimas alturas, que alcanzan cotas por debajo de los 400 m.”

Predominan las formas estructurales y las formas fluviales, siendo escasas las formas poligénicas. Las primeras están constituidas principalmente por las trazas de capa que forman resaltes (capas duras), especialmente visibles en todo el territorio. Las formas fluviales, destaca una importante red de incisión que da lugar a barrancos en “v”. En el ámbito de estudio no se identifican procesos erosivos o deposicionales significativos, distintos a los propios de la dinámica fluvial, representada fundamentalmente por el río Onsella.

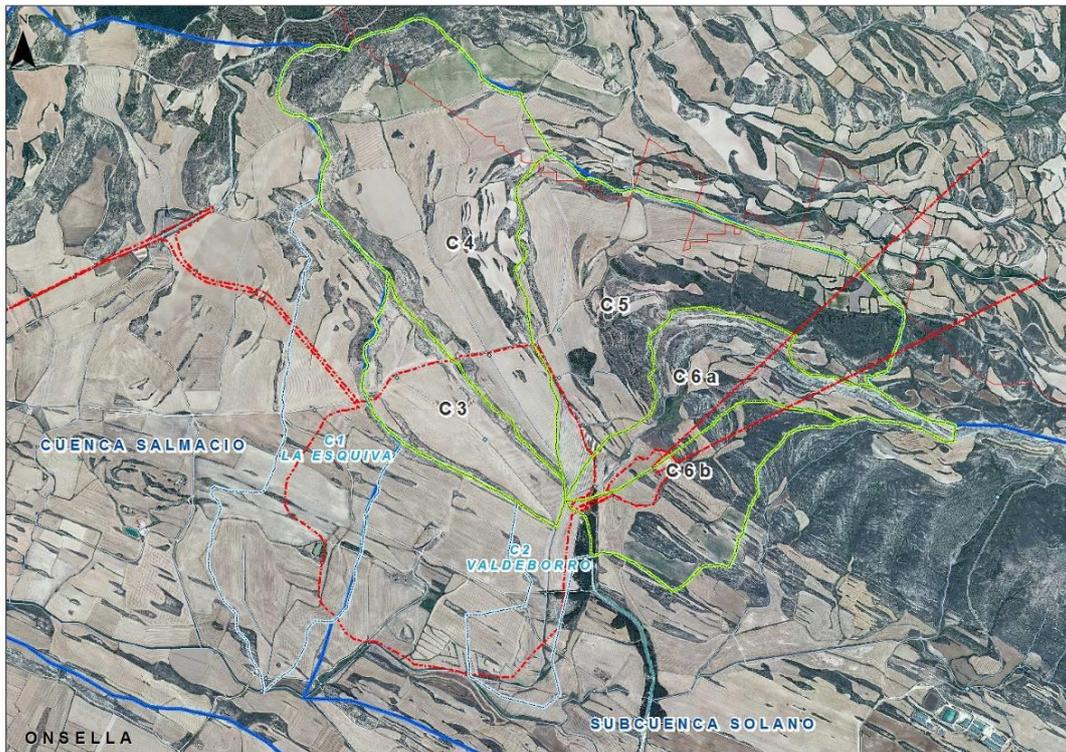
### **3.2.3 Hidrología e Hidrogeología**

**Hidrológicamente**, la zona de proyecto forma parte de la cuenca hidrográfica del río Aragón, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Ebro. En concreto el Proyecto Mina Muga se localiza en los interfluvios de las vertientes de la margen izquierda del río Aragón y vertiente derecha del río Onsella, delimitados al Este por la cuenca del Regal. Las instalaciones de superficie se localizan en la vertiente derecha del río Onsella, principalmente en la subcuenca del arroyo Valdeburro tributario del Solano que es a su vez tributario del Salmacio. Así, se han diferenciado 2 grandes subcuencas: cuenca del desagüe de la Esquiva y cuenca del Valdeborro, el cual a su vez incluye cuatro subcuencas (Valdemoliner, Valdeborro, Arbea y Santa Eufemia) (Figura 3-1). Todas las subcuencas son estacionales.

El agua presenta unas características bicarbonatadas sulfatadas (arroyos de Santa Eufemia, Arbea, La Salada y El Solano), sulfatadas bicarbonatadas (arroyos de Valdeburro, Valdemoliner y parte del Santa Eufemia y al río Onsella) y finalmente cloruradas y cloruradas-bicarbonatadas.



**Figura 3-1 Subcuencas de la zona de Proyecto en superficie. En verde las subcuencas hidrológicas de la cuenca de Valdeborro: C3 a C6**



**Hidrogeológicamente**, la zona presenta materiales con permeabilidad baja para el sustrato y para los depósitos superficiales que se extienden por la zona del estudio. Las formaciones identificadas (rocas sedimentarias terciarias, areniscas con pasadas margosas, lutitas, evaporitas, arcillas y margas fajeadas) son impermeables en términos hidrogeológicos, en las que la circulación subterránea se produce exclusivamente a favor de la fracturación (fundamentalmente NNE-SSO) y en los conjuntos suelo/zonas de alteración.

La recarga se produce por la infiltración directa de la lluvia sobre la unidad superior constituida por depósitos cuaternarios y suelos de alteración. Esta unidad hidrogeológica de pocos metros de espesor (zonas de alteración con espesor aproximado de 9 m) transfiere el agua hacia los niveles más profundos, funcionando como un acuífero continuo de espesor variable y funcionamiento libre. Es necesario destacar que en la mayor parte de la extensión de la masa de agua subterránea del *Sinclinal de Jaca-Pamplona* no existen presiones significativas por lo que la probabilidad de riesgo de contaminación es baja. Desde el punto de vista hidroquímico, las aguas analizadas presentan una gran variedad de facies, siendo las más comunes: bicarbonatada magnésico-cálcica, sulfatada cálcico-magnésica, sulfatada sódico-cálcica y clorurada sódico-cálcica.



### 3.2.4 Espacios Naturales Protegidos

Cuatro son los **hábitats de interés comunitario** que se pueden encontrar en el área de estudio del EIA, todos ellos con una superficie muy pequeña y ninguno de carácter prioritario. Se trata de Pastizales salinos mediterráneos (*Juncetalia maritimi*) (código 1410), Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del *Molinion-Holoschoenion* (código 6420), Bosques de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia* (código 9340) y Bosques galería de *Salix alba* y *Populus alba* (código 92A0). Ninguno es prioritario.

### 3.2.5 Especies relevante

La **flora** identificada en el ámbito de estudio del EIA está compuesta por unas 250 plantas vasculares que en su mayor parte corresponden a taxones mediterráneos abundantes y de amplia distribución. Solo 15 especies pueden catalogarse como raras y de ellas, 9 están federadas a hábitats con suelo salobre o humedales sobre suelos temporalmente inundados. Se han identificado 13 tipos de vegetación, de los que 6 corresponden a la serie de la encina carrasca (*Quercion rotundifoliae*) 4 a terrenos con intensa actividad humana, 2 a los hábitats antes mencionados con flora rara y 1 ligado a vegetación de ribera o ligada al agua en sentido amplio. Se trata de encinares, coscojares, tomillares, aulagares, lastonares y pastos de junquillo. Junto a estas unidades destacan las ligadas a los cauces de agua, manantiales y acequias (choperas y saucedas, carrizales, juales), los eriales y las plantaciones de especies exóticas.

En cuanto a la **fauna**, en el ámbito de estudio del EIA, se han identificado 171 vertebrados (9 anfibios, 15 reptiles, 114 aves y 33 mamíferos). Aunque existen algunos catalogados *En peligro de extinción*, ninguna de ellas ni de otras categorías de amenaza relevantes se encuentran en el ámbito geográfico de la planta y sus instalaciones, incluyendo la línea eléctrica. Por otro lado, las mayores abundancias de aves se encuentran en aquellas zonas de menor altitud donde el paisaje está constituido por una matriz agrícola enriquecida por gran cantidad de parches de vegetación natural. Esta vegetación natural está dominada por arbustos y árboles de bajo porte, típicamente mediterráneos. En las zonas altas, el hábitat dominante está constituido por vegetación mediterránea de porte arbustivo, presentan valores de abundancia y riqueza menores. No obstante, estas zonas son también las que presentan una comunidad de aves más diferenciada respecto al resto.

## 3.3 Identificación de peligros, determinación de Sucesos Iniciadores y Escenarios Accidentales

Según lo establecido en la UNE 150008:2008 se deben identificar, caracterizar y determinar las posibles fuentes de peligro y los propios peligros de una instalación. Los peligros ambientales de una organización están relacionados principalmente con las sustancias utilizadas, así como con las condiciones y actividades de almacenamiento, procesamiento y eliminación, y con las fuentes de energía que utilizan.



La identificación, caracterización y determinación de las fuentes de peligros y de los peligros en la instalación, permite identificar los Sucesos Iniciares (SSII) y Escenarios Accidentales (EEAA). Estas tareas se han realizado mediante las siguientes acciones:

- Análisis del listado de posibles escenarios considerados en la Guía Metodológica del sector<sup>5</sup>. El listado fue revisado y completado por el grupo de trabajo Advisian y Geoalcali como punto de partida de una reunión de trabajo HAZID (Hazard Identification). En esta reunión de trabajo se revisó sistemáticamente los peligros, las causas y los posibles sucesos iniciadores y escenarios accidentales que podían darse en las instalaciones, con la excepción de los asociados a balsas. (ver Sección 3.3.1)
- Selección de los escenarios más relevantes, para su posterior análisis detallado (3.4 y 3.5), durante la segunda fase de la sesión HAZID (ver Sección.3.3.2)
- Identificación de peligros y sucesos iniciadores, y selección de escenarios accidentales elaborados para las balsas y depósitos temporales. Esta tarea fue realizada en paralelo en trabajos no ejecutados por Advisian, si bien se incluyen sus resultados en este informe (ver Sección 3.3.3).

### **3.3.1 Desarrollo de las sesiones HAZID**

Las sesiones HAZID tuvieron lugar durante los días 3 y 4 de Mayo del 2018 en las oficinas del proyecto en Pamplona. En los trabajos realizados en las sesiones HAZID participó todo el grupo de trabajo Advisian-Geoalcali. Esto incluye analistas de riesgos senior de Advisian, el personal técnico y responsables del proyecto de Geoalcali.

Como base de trabajo para las sesiones HAZID, se partió de la tabla con el listado de causas y peligros y sucesos iniciadores incluido en el documento de referencia "Proyecto piloto de guía metodológica: Sectores: Minería de sulfuros polimetálicos y minería de sales sódicas y potásicas", de la Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (CTPRDM, 2012).

El proceso de identificación de peligros en las sesiones HAZID persiguió:

- La revisión de la tabla con el listado de causas, peligros y sucesos iniciadores de la guía, para identificar cuáles eran de aplicación a las instalaciones objeto del estudio.
- Añadir a la tabla genérica y común para el sector algunas causas, peligros y sucesos iniciadores que se han considerado relevantes para el caso concreto objeto de estudio.

Adicionalmente durante el HAZID se estimó de manera semicuantitativa la probabilidad y las consecuencias de los sucesos identificados aplicables al proyecto de la Mina Muga. Esto se realizó para facilitar el cribado y la definición de los Sucesos Iniciares a contemplar en las fases posteriores del ARA.

---

<sup>5</sup> Proyecto piloto de guía metodológica: Sectores: Minería de sulfuros polimetálicos y minería de sales sódicas y potásicas, Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales - Octubre 2012 (CTPRDM, 2012)



La metodología implicada en este proceso está basada en la norma UNE 150.008 y se describe a continuación. Consta de tres fases:

- A. Elaboración de listado de Sucesos Iniciadores y Escenarios Accidentales Asociados basado en la identificación de peligros desarrollada durante el HAZID. En la reunión HAZID preliminarmente se identificaron 95 SSII, a partir de la guía metodológica (CTPRDM, 2012) y la experiencia del personal de Geoalcali y Advisian. De estos, 35 se consideraron no aplicables directamente a la actividad específica desarrollada en la mina o se consideraron relacionados con balsas (ver Sección 3.3.3).
- B. Cada uno de los 60 SSII remanentes aplicables en las instalaciones se valoraron semicuantitativamente con un nivel de probabilidad y consecuencias entre 1 y 5. Los criterios de valoración se incluyen en la Tabla 3-1 y se desarrollaron basándose en la norma UNE 150.008 (AENOR, 2008) y en la Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 (DGPC, 2004). Como apoyo en la asignación de valores se empleó adicionalmente los valores de probabilidad incluidos en el Purple Book (TNO, 2005) y en el manual Bevi (RIVM, 2009).

**Tabla 3-1 Tabla de valoración semicuantitativa de probabilidad**

<b>Probabilidad</b>				
<b>Muy Baja (1)</b>	<b>Baja (2)</b>	<b>Media (3)</b>	<b>Alta (4)</b>	<b>Muy Alta (5)</b>
Improbable, Insignificante	Remotamente probable, Dificilmente Probable	Ocasional	Probable	Frecuente, Se espera
Muy Poco probable que ocurra, similar a terremoto	Muy improbable, no se espera que ocurra en el orden de cientos de años-miles de años	No se espera que ocurra durante las operaciones, podría ocurrir en periodos de decenas de años-100 años	Se espera que ocurra alguna vez durante las operaciones	Ocurrirá varias veces durante las operaciones



**Tabla 3-2 Tabla de valoración semicuantitativa de consecuencias**

Consecuencias				
Insignificante (1)	Menor (2)	Moderado (3)	Mayor (4)	Catastrófico (5)
No hay impacto sobre el medio ambiente de referencia. Localizado en el punto de origen. No se requiere la recuperación	Localizado dentro de los límites del recinto o a pocos metros. Se entiende como recinto la planta/instalación/balsa/e scombrera pero no toda la explotación. Recuperación de la zona al mes del impacto	Daño moderado con efectos más amplios (rango cientos de metros-1km fuera instalación/hasta 1 hectárea en superficie) . Recuperación de la zona en 1 año	Daños significativos con efectos escala local (varios km o hectáreas) Recuperación de la zona mayor de 1 año	Daños Significativos con efectos generalizados. Posibilidad de afección a más de 10 km o hectáreas. Recuperación de la zona mayor a un año. Limitada posibilidad de la recuperación completa de la zona

C. Todos los SSII y Escenarios accidentales asociados se valoraron en cuanto al nivel de riesgo (combinación de su probabilidad de ocurrencia y los daños potenciales esperables). El resultado fue que todos presentaban un nivel de riesgo bajo o moderado, de acuerdo con la matriz de evaluación utilizada, que se presenta en la Tabla 3-3:

**Tabla 3-3 Matriz de riesgo establecida en la Norma UNE 150.008:2008**

		Consecuencias					
		Insignificante	Menor (2)	Moderado (3)	Mayor (4)	Catastrofico (5)	
Probabilidad	Muy Baja (1)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Riesgo muy alto: de 21 a 25 Riesgo alto: de 16 a 20 Riesgo medio: de 11 a 15 Riesgo moderado: de 6 a 10 Riesgo bajo: de 1 a 5
	Baja (2)	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado	
	Media (3)	Bajo	Moderado	Moderado	Medio	Medio	
	Alta (4)	Bajo	Moderado	Medio	Alto	Alto	
	Muy Alta (5)	Bajo	Moderado	Medio	Alto	Muy Alto	

En el Anexo 1 se ha incluido la tabla con los trabajos realizados durante el HAZID. La tabla incluye los siguientes campos:

- Zonas o actividades con peligro asociado
- Causas de peligro
- Sucesos iniciadores
- Aplicabilidad a la mina objeto de estudio
- Agente genérico causante del daño



- Principales sustancias implicadas y su peligrosidad asociada
- Formato de almacenamiento de las sustancias
- Medidas de prevención y evitación principales
- Estimación de la Probabilidad de ocurrencia
- Estimación de las Consecuencias
- Valor y nivel del riesgo en el proceso de cribado
- Selección del escenario a analizar en fases posteriores del ARA (si/no), ver sección 3.3.2

### **3.3.2 Selección de los Escenarios Accidentales relevantes**

En la segunda fase de la sesión HAZID, se llevó a cabo un cribado y selección de los escenarios más relevantes, siguiendo los siguientes criterios:

- Escenarios con las consecuencias más altas
- Escenarios con el nivel de riesgo más alto
- Escenarios representativos de acuerdo con criterio experto del equipo de trabajo

El grupo de trabajo seleccionó cinco (5) escenarios accidentales no relacionados directamente con balsas, para su estudio más detallado en las fases posteriores del ARA. Estos escenarios se consideran representativos del perfil del riesgo de la instalación.

Los escenarios de balsas fueron tratados independientemente en otros estudios no realizados por Advisian<sup>6</sup>. De estos, tres (3) fueron seleccionados en estos estudios para ser incorporados en las siguientes fases de este informe (ver Sección 3.3.3)

Los cinco EE.AA seleccionados en esta primera parte se presentan en la tabla Tabla 3-4 siguiente, y se encuentran detallados en el Anexo 2:

---

<sup>6</sup> Análisis de Riesgos de Contaminación Hídrica. CRS, mayo 2018.

**Tabla 3-4: Escenarios accidentales seleccionados (otros que balsas)**

Nº	Escenario	Probabilidad, P (1 a 5)	Consecuencias, C (1 a 5)	Riesgo=PxC	Tolerabilidad	Comentarios generales al escenario seleccionado
01	Incendio motor de cabeza de cinta con propagación y afección exterior	2	3	6	Moderado	Cómo caso más desfavorable se considera la evolución del incendio hacia el escenario de propagación y afección al elemento natural exterior más significativo de las proximidades (zona de pinar)
02	Rotura catastrófica espesadores planta de flotación y vertido final a arroyo estacional	1	3	3	Bajo	Se considera la pérdida del producto, y el fallo de la contención disponible (cubeto con bombeo y la balsa final de pluviales en la red de drenaje) con afección final al arroyo estacional
03	Fuga a largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado y afección suelo y aguas subterráneas	3	2	6	Moderado	Se considera una fuga a largo plazo, y el fallo de la contención y detección disponible (tanque doble pared y sistema detección fuga)
04	Fuga de la cisterna de gasoil por accidente de tráfico en entorno arroyo estacional	2	3	6	Moderado	La rotura se considera en tramo más desfavorable, sobre arroyo y se considera que no hay posibilidad de contención
05	Rotura total de línea de retorno de salmuera desde filtración y vertido final a arroyo estacional	3	3	9	Moderado	La rotura se considera en una zona sin medidas de contención donde por escorrentía se puede alcanzar el arroyo estacional



### 3.3.3 Selección de los escenarios específicos de balsas

Los escenarios relativos a las balsas han sido elaborados y seleccionados en estudios independientes (ver Anexo 5). Los tres (3) escenarios más relevantes, a incluir en las fases posteriores del ARA, se presentan en la Tabla 3-5:

**Tabla 3-5. Escenarios accidentales seleccionados (balsas)**

Nº	Escenario	Comentarios generales al escenario seleccionado
06	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a suelos y aguas subterráneas	Se considera rotura de la lámina plástica y fallo de sistema de drenes de detección y de las capas de impermeabilización artificiales incluidas en el diseño (capas de arcillas parte inferior de la balsa) con afección al suelo natural y a las aguas subterráneas bajo la balsa
07	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de suelos y aguas subterráneas	Se considera rotura de la lámina plástica y fallo de sistema de drenes de detección y de las capas de impermeabilización artificiales incluidas en el diseño (capas de arcillas parte inferior de la balsa) con afección al suelo natural y a las aguas subterráneas bajo la balsa
08	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación y de evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas <sup>7</sup>	Se considera rotura de la lámina plástica y fallo de sistema de drenes de detección y de las capas de impermeabilización artificiales incluidas en el diseño (capas de arcillas parte inferior de la balsa) con afección al suelo natural y a las aguas subterráneas bajo la balsa

<sup>7</sup> Este escenario está desglosado en dos escenarios distintos en el estudio de riesgos de contaminación hídrica realizado por CRS, de manera a considerar individualmente el riesgo de rotura en las balsas de regulación y las de evaporación. A efectos del presente ARA, se han considerado conjuntamente los dos tipos de balsas, siendo éstas similares del punto de vista del riesgo de infiltración por el fondo.



## 3.4 Cálculo de probabilidades

### 3.4.1 Asignación de Probabilidades de los Sucesos Inicialores

La asignación de frecuencia de los ocho (8) SSII seleccionados en las fases anteriores se realiza en esta sección por aplicación de valores extraídos de bases de datos disponibles y con empleo de criterio experto<sup>8</sup>.

La guía metodología para la Minería de sulfuros polimetálicos (CTPRDM, 2012), establece en su sección IX la posibilidad de utilizar para determinar la probabilidad un método semicuantitativo basado en la determinación de factores cualitativos o el empleo de publicaciones de referencia como el Manual BEVI (RIVM, 2009) o el Purple Book (TNO, 2005). En ambos casos la labor debe ser realizada por un equipo de expertos que apoyen esta asignación mediante su criterio.

Para el presente estudio se ha realizado las asignaciones de probabilidad, mediante la asignación de valores procedente de publicaciones de referencia. Esta asignación ha sido realizada por un equipo de expertos, aportando su criterio y experiencia en la asignación o adaptación de los valores a la realidad de la planta cuando ha sido necesario.

En la selección de valores de frecuencia de las fuentes de referencia, se tiene en cuenta:

- Adoptar el valor que más se acerca a la tipología de instalación objeto del estudio. Las probabilidades asignadas son probabilidades estándar de fallo de los equipos e instalaciones para condiciones de construcción, operación y mantenimiento normal
- Emplear un número de fuentes discreto para mantener coherencia de datos.
- Asignar el valor teniendo en cuenta particularidades de la planta, como la presencia o ausencia de medidas preventivas.

Para la asignación de valores de frecuencias se han consultado, entre otras, las siguientes fuentes de información:

- TNO, 2005: Guidelines for quantitative risk assessment "Purple Book",
- RIVM, 2009: Reference Manual Bevi Risk Assessments, version 3.2
- Frank P. Lees, 1996: Loss prevention in the process industries. Hazard identification, Assessment and control.
- Dirección General de Protección Civil (DGPC), 1994: Guía Técnica. Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos.
- AENOR, 2006: Norma UNE-EN 61511, Seguridad Funcional, Sistemas instrumentados de seguridad para la industria de procesos, Parte 3.

---

<sup>8</sup> A diferencia de las fases anteriores, en estas fases se estima, para el SI y el escenario accidental asociado, una frecuencia de ocurrencia cuantitativa más detallada en veces/año frente a la probabilidad semicuantitativa en escala 1-5 de la fase de cribado del HAZID



- INSHT, 2010: NTP 619 Fiabilidad humana: evaluación simplificada del error humano (I). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT).

En la asignación de frecuencias, además se tiene en cuenta que por definición en estos estudios, la probabilidad de un suceso es la probabilidad de ocurrencia de un suceso en un año y en un emplazamiento. Para los sucesos iniciadores cuya frecuencia en la fuente bibliográfica viene fijada por operación, por hora, por equipo o por metro, es necesario corregir el valor a uno anual por emplazamiento. En este caso, la probabilidad del suceso viene definida por:

$$P_{suceso} = 1 - (1 - P_{ref})^n$$

Donde

$P_{suceso}$  = probabilidad del SIC, por año y por emplazamiento;

$P_{ref}$  = probabilidad de referencia, por operación, por hora, por equipo, por metro, otros;

$n$  = Factor de finido por el número de operaciones, horas etc. por año, o número de equipos, metros etc. para el emplazamiento concreto.

En la Tabla 3-6 se incluyen los resultados de la asignación de probabilidades de los sucesos iniciadores considerados.

**Tabla 3-6. Frecuencias de los SSII**

Nº	SIC	Comentarios generales SIC	FRECUENCIA BASE	UNIDADES	NOTAS FRECUENCIA BASE Y ADOPTADA <sup>9</sup>	FACTOR número	por Probabilidad SIC·año <sup>-1</sup>
01	Incendio motor de cabeza de cinta	Motor asociado a la cinta transportadora adyacente a zonas de cultivo y matorral y en torno a 80 m del bosque de pinos	3,00E-04	equipo <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Se considera como fallo eléctrico de conexión que además produce incendio del equipo	1 equipo	3,00E-04
02	Rotura catastrófica espesadores planta de flotación	Se elige dado que es la que puede posibilitar alcanzar el medio y receptores exteriores. Equipos de aproximadamente 2500 m <sup>3</sup> . Están en el exterior de la planta, al lado de viales con un cubeto con foso y bombeo de recogida	5,00E-06	equipo <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Se considera como rotura catastrófica de depósito.	2 equipos	1,00E-05
03	Fuga a largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado	Se considera como el caso más desfavorable y representativo de fallo de tanque enterrado. Tanques de 60 m <sup>3</sup>	1,00E-03	equipo <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Valor estimado para orificio de 1 mm, que se considera como el de referencia de la fuga a largo plazo	2 equipos	2,00E-03
04	Fuga de la cisterna de gasoil por accidente de tráfico	Vuelco en curva en el tramo bocamina zona industrial y vertido al arroyo Valdeborro	1,24E-08	km <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Se considera la rotura de la cisterna de 24 m <sup>3</sup> . Al estar compartimentada se estima la pérdida parcial de 6 m <sup>3</sup> . La rotura se considera en tramo más desfavorable, sobre arroyo (se considera con carácter conservador un tramo de 1 km)	28 repostajes, al año	3,47E-07
05	Rotura total de línea de retorno de salmuera desde filtración	Mezcla de salmuera con sal e insolubles (inorgánicos)	5,00E-07	m <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Se considera con carácter conservador la fuga de línea. La línea considerada es el retorno de salmuera a planta desde filtración, estimándose una longitud total en torno a 200 metros	200	1,00E-04
06	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros	Se considera rotura de unos centímetros de la impermeabilización/membrana plástica inferior	1,00E-04	equipo <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Valor estimado a partir de la fuga por orificio de un centímetro, que se considera en la referencias para fuga en depósito atmosférico, considerando la impermeabilización plástica en el fondo del depósito	1 depósito temporal	1,00E-04
07	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados	Se considera rotura de unos centímetros de la impermeabilización/membrana plástica inferior	1,00E-04	equipo <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Valor estimado a partir de la fuga por orificio de un centímetro, que se considera en la referencias para fuga en depósito atmosférico, considerando la impermeabilización plástica en el fondo de la balsa	1 balsa lixiviados del depósito temporal	1,00E-04
08	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación	Se considera rotura de unos centímetros de la impermeabilización/membrana plástica inferior	1,00E-04	equipo <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>	Valor estimado a partir de la fuga por orificio de un centímetro, que se considera en la referencias para fuga en depósito atmosférico, considerando la impermeabilización plástica en el fondo de la balsa, 8 balsas de regulación/evaporación	8 balsas de regulación /evaporación	8,00E-04

<sup>9</sup> Con carácter general las probabilidades asignadas son probabilidades estándar de fallo de los equipos e instalaciones para condiciones de construcción, operación y mantenimiento normal. En el caso concreto del presente estudio las instalaciones están pendientes de construcción, por lo que se considera que efectivamente se dan estas circunstancias.



### 3.4.2 Asignación de Probabilidades de los Escenarios Accidentales

Los EEAA son el resultado final de un SSII (fuga, rotura, fallo humano, otros), cuya evolución viene condicionada por determinados Factores Condicionantes (FFCC).

El producto de las frecuencias de los SSII y de las probabilidades de los FFCC, determina la frecuencia de los escenarios accidentales.

En esta sección se analiza, por medio de una técnica similar a la del árbol de sucesos, la evolución de los SSII en escenarios accidentales, según el tipo de sustancia y las condiciones del entorno. Para las probabilidades de los FC considerados se emplean la misma metodología y bases de datos mencionadas en la sección anterior.

Esta técnica sirve para la identificación de las diferentes posibilidades de evolución desde que se produce el SI hasta que tiene lugar el EA, teniendo en cuenta el papel que juegan los FFCC, como posibles medidas de reducción de la probabilidad de dicho accidente.

El análisis de los FFCC se suele hacer por orden cronológico de evolución del EA, si bien este criterio puede no ser de aplicación en algunos casos.

Con carácter general consideran las siguientes tipologías de FFCC genéricos para el desarrollo del análisis, si bien en el estudio se han particularizado a cada escenario concreto:

- **Detección temprana y actuaciones de control:** Indica la posibilidad de que se realice una detección temprana y se intervenga para evitar el desarrollo hasta desencadenar el accidente, o limitar sus daños.
- **Condiciones meteorológicas:** Indica la posibilidad de que se den condiciones meteorológicas que minimicen las consecuencias o por el contrario que se den condiciones que agraven el escenario
- **Contención primaria:** Indica la presencia funcional de equipos como cubetos de contención, balsas de contención, redes de drenaje, obturadores en redes de drenaje, válvulas abiertas y cerradas.
- **Conducción a receptor final:** Indica la posibilidad de que el vertido, una vez producido, alcance las aguas superficiales o afecte al suelo.

Como resultado de la metodología desarrollada se obtiene el listado de EEAA relevantes así como su probabilidad de ocurrencia. Los cálculos realizados y los FFCC por escenario quedan recogidos en la Tabla 3-7.

**Tabla 3-7. Escenarios y probabilidades finales consideradas**

N°	Escenario	Comentarios generales al escenario seleccionado	Pr. SIC-año <sup>1</sup>	Factores condicionantes considerados	Cálculo P escenario	Probabilidad escenario final año <sup>-1</sup>
01	Incendio motor de cabeza de cinta con propagación y afección exterior	Cómo caso más desfavorable se considera la evolución del incendio hacia el escenario de propagación y afección al elemento natural exterior más significativo de las proximidades (zona de pinar)	3,00E-04	A: Condiciones meteorológicas que propaguen el incendio al exterior a zona vulnerable (viento del NO a SE): 19,5% B: Proximidad parque de bomberos. Existe parque de bomberos próximo en Sangüesa, se considera fallo humano a demanda siguiendo procedimiento operativo para que fallen y se propague incendio: 1,00E-02	3,00E-04*0,195*1,00E-02	5,85E-07
02	Rotura catastrófica espesadores planta de flotación y vertido final a arroyo estacional	Se considera la pérdida del producto, y el fallo de la contención disponible (cubeto con bombeo y la balsa final de pluviales en la red de drenaje) con afección final al arroyo estacional	1,00E-05	A: Fallo de cubeto de contención con bombeo: Se considera como equivalente a fallo doble contención en depósito: 1,00E-01 B: Balsa final de pluviales llena. Se considera como fallo humano a demanda siguiendo procedimiento operativo que hace que la balsa esté llena y no pueda contener vertido: 1,00E-02	1,00E-05*1,00E-01*1,00E-02	1,00E-08
03	Fuga a largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado y afección suelo y aguas subterráneas	Se considera una fuga a largo plazo, y el fallo de la contención y detección disponible (tanque doble pared y sistema detección fuga)	2,00E-03	A: Fallo de doble pared: Se considera como equivalente a fallo doble contención en depósito: 1,00E-01 B: Fallo detección. Se considera como equivalente a sistema de detección y corte no automático: 1,00E-01	2,00E-03*1,00E-01*1,00E-01	2,00E-05
04	Fuga de la cisterna de gasoil por accidente de tráfico en entorno arroyo estacional	La rotura se considera en tramo más desfavorable, sobre arroyo y se considera que no hay posibilidad de contención	3,47E-07	No se consideran	3,47E-07	3,47E-07
05	Rotura total de línea de retorno de salmuera desde filtración y vertido final a arroyo estacional	La rotura se considera en una zona sin medidas de contención donde por escorrentía se puede alcanzar el arroyo estacional	1,00E-04	Tras un primer cálculo del análisis de riesgos dónde se identificó este riesgo como elevado y una oportunidad de mejora, se decidió implementar una medida de mejora como la doble pared en la línea o medida equivalente (canaleta, canalización por drenaje o similar) que evite la escorrentía directa en caso de rotura hacia el exterior. Se considera por tanto un factor de contención adicional de 1,00E-01	1,00E-04*1,00E-01	1,00E-05
06	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a suelos y aguas subterráneas	Se considera rotura de la lámina plástica y fallo de sistema de drenes de detección y de las capas de impermeabilización artificiales incluidas en el diseño (capas de arcillas parte inferior de la balsa) con afección al suelo natural y a las aguas subterráneas bajo la balsa	1,00E-04	A Fallo del sistema de detección con drenajes y de la impermeabilización artificial con arcillas : Se considera en conjunto el fallo de la detección y la impermeabilización como similar a fallo de pared adicional en equipo enterrado 7,5*1,00E-04	1,00E-04*7,50E-04	7,50E-08
07	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de suelos y aguas subterráneas	Se considera rotura de la lámina plástica y fallo de sistema de drenes de detección y de las capas de impermeabilización artificiales incluidas en el diseño (capas de arcillas parte inferior de la balsa) con afección al suelo natural y a las aguas subterráneas bajo la balsa	1,00E-04	A Fallo del sistema de detección con drenajes y de la impermeabilización artificial con arcillas : Se considera en conjunto el fallo de la detección y la impermeabilización como similar a fallo de pared adicional en equipo enterrado 7,5*1,00E-04	1,00E-04*7,50E-04	7,50E-08
08	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación y de evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas	Se considera rotura de la lámina plástica y fallo de sistema de drenes de detección y de las capas de impermeabilización artificiales incluidas en el diseño (capas de arcillas parte inferior de la balsa) con afección al suelo natural y a las aguas subterráneas bajo la balsa	8,00E-04	A Fallo del sistema de detección con drenajes y de la impermeabilización artificial con arcillas : Se considera en conjunto el fallo de la detección y la impermeabilización como similar a fallo de pared adicional en equipo enterrado 7,5*1,00E-04	8,00E-04*7,50E-04	6,00E-07

### 3.5 Cálculo del IDM

El Índice de Daños Medioambientales (IDM) tiene por objeto estimar el daño asociado a cada EA, y está basado en una serie de estimadores de la cantidad de recurso dañada y de los costes de reparación de los recursos naturales cubiertos por la Ley 26/2007, de 23 de octubre, ofreciendo un resultado semicuantitativo, pero que permite ordenar por orden de magnitud los escenarios accidentales en función de los potenciales daños medioambientales que pueden generar. La fórmula propuesta por el MAPAMA, e incluida en el RD 183/2015, es la siguiente:

$$IDM = \sum_{i=1}^n [(Ecf + A \times Ecu \times (B \times \alpha \times Ec) + p \times M_{acc}^q + C \times Ecr) \times (1 + Ecc)]_i + (\beta \times Eca)$$

Siendo:

**Ecf** estimador del coste fijo del proyecto de reparación para la combinación agente causante de daño-recurso potencialmente afectado *i*

**A** multiplicador del estimador del coste unitario del proyecto de reparación, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan a los costes unitarios (MA<sub>j</sub>) para cada combinación agente-recurso *i*. A su vez se calcula como:

$$A = \prod_{j=1}^m M_{A_j}$$

Donde  $M_{A_j}$  es un modificador que aplica a cada grupo de combinación agente – recurso. El valor del modificador viene incluido en el ANEXO III del proyecto de Real Decreto para la modificación de la Ley de Responsabilidad Ambiental

**Ecu** estimador del coste unitario del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso *i*

**B** multiplicador del estimador de cantidad, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan al estimador de cantidad (MB<sub>j</sub>) para cada combinación agente-recurso *i*. A su vez se calcula como:

$$B = \prod_{j=1}^m M_{B_j}$$

Donde  $M_{B_j}$  es un modificador que aplica a cada grupo de combinación agente – recurso. El valor del modificador viene incluido en el ANEXO III del proyecto de Real Decreto para la modificación de la Ley de Responsabilidad Ambiental

**$\alpha$**  cantidad de agente involucrado en el daño

**Ec** relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño para cada combinación agente-recurso *i*

**p** constante que únicamente adquiere un valor distinto de cero para los daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales

**Macc** cantidad de agente asociada al accidente, medida en toneladas, en el caso de daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales. En las restantes combinaciones agente-recurso este parámetro adquiere valor cero

**q** constante que adquiere valor 1 para todas las combinaciones agente-recurso, salvo para aquéllas que implican daños al lecho marino o al lecho de las aguas continentales en las que adopta un valor específico

**C** multiplicador del estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación, siendo el resultado de multiplicar los valores de los modificadores que afectan al estimador del coste de revisión y control (MC<sub>j</sub>) para cada combinación agente-recurso *i*. A su vez se calcula como:

$$C = \prod_{j=1}^m M_{C_j}$$

Donde  $M_{C_j}$  es un modificador que aplica a cada grupo de combinación agente – recurso. El valor del modificador viene incluido en el ANEXO III del proyecto de Real Decreto para la modificación de la Ley de Responsabilidad Ambiental

**Ecr** estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación para la combinación agente-recurso *i*



- Ecc** estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación, expresado en tanto por uno, para la combinación agente-recurso  $i$
- i** hace referencia a cada una de las combinaciones agente-recurso  $i$
- n** número total de combinaciones agente-recurso que el analista considere relevantes para el escenario que esté siendo evaluado
- $\beta$**  distancia desde la zona a reparar a la vía de comunicación más cercana expresada en metros. En caso de escenarios que impliquen exclusivamente daños al agua marina, al lecho de las aguas continentales o al lecho del mar se asigna un valor igual a 0
- Eca** estimador del coste de acceso a la zona potencialmente afectada por el daño medioambiental, siendo su valor igual a 6,14

Para cada escenario, se ha determinado la combinación agente-recurso, y se ha calculado el IDM utilizando el módulo de estimación creado por el MAPAMA y ubicado en la sección de Responsabilidad Medioambiental de su página web.

Las características de las sustancias utilizadas en el cálculo se presentan en la Tabla 3-8. El resto de datos utilizados se encuentran en los informes de IDM adjuntos en el Anexo 3.

**Tabla 3-8 Características de las sustancias utilizadas**

Sustancia	Características IDM					
	Agente	Degradabilidad	Viscosidad	Volatilidad	Solubilidad	Toxicidad
<b>Sales disueltas</b>	Sustancias inorgánicas	Baja	Sustancia poco/medianamente viscosa <sup>10</sup>	Media	Muy soluble	Baja
<b>Gasoil</b>	COSV no halogenado	Media	Sustancia poco viscosa	Media	Insoluble	Media

En la Tabla 3-9 que se presenta a continuación, se hace un resumen de los resultados de Índice de Daño Medioambiental obtenidos para cada escenario, con algunos comentarios sobre las principales asunciones que se han considerado.

<sup>10</sup>Se considera que la disolución salina es “Medianamente viscosa” en la zona de espesadores (E.A 02) y “Poco viscosa” en la rotura de línea de salmuera (E.A 05), para diferenciar entre las dos sustancias, que aunque tengan los mismos componentes, están en diferente proporción y por tanto sus propiedades difieren.



**Tabla 3-9 Valores IDM por escenario**

Nº Escenario	Comentarios generales al IDM escenario seleccionado	IDM
01	<p>Incendio motor de cabeza de cinta con propagación y afección exterior</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se considera arbolado Joven no amenazado ya que son coníferas replantadas</li> <li>Se ha hecho una estimación de la densidad mediante el análisis de foto aérea</li> <li>Información climatológica extraída del EIA</li> </ul>	18.504,98
02	<p>Rotura catastrófica espesadores planta de flotación y vertido final a arroyo estacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se considera que las sales que se vierten en los esperadores son "Medianamente viscosas"</li> <li>Como asunción conservadora, se considera que todo el volumen vertido llega al receptor, pudiendo afectar suelo, agua y agua subterránea. Se ha considerado en probabilidad el fallo de los sistemas de contención.</li> <li>El IDM hacer un reparto automático del volumen vertido entre el suelo y el agua subterránea</li> </ul>	480.354,67
03	<p>Fuga a largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado y afección suelo y aguas subterráneas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se considera una "Fuga continua" ya que el caudal liberado se mantiene constante a lo largo del tiempo, es un escenario de fuga a largo plazo</li> <li>Para estimar el volumen fugado, se asume una altura del líquido de 2 m</li> <li>El IDM hacer un reparto automático del volumen vertido entre el suelo y el agua subterránea</li> </ul>	166.995,20
04	<p>Fuga de la cisterna de gasoil por accidente de tráfico en entorno arroyo estacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El gasoil se considera con volatilidad "Media"</li> <li>Se considera que las cisternas están compartimentadas y que solo se vierte uno de los compartimentos</li> <li>Como asunción conservadora, se considera que todo el volumen vertido llega al receptor, pudiendo afectar suelo, agua y agua subterránea.</li> <li>El IDM hacer un reparto automático del volumen vertido entre el suelo y el agua subterránea</li> </ul>	284.321,09



N°	Escenario	Comentarios generales al IDM escenario seleccionado	IDM
05	Rotura total de línea de retorno de salmuera desde filtración y vertido final a arroyo estacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se considera que las sales son "Poco viscosa"</li> <li>▪ Como asunción conservadora, se considera que todo el volumen vertido llega al receptor, pudiendo afectar suelo, agua y agua subterránea.</li> <li>▪ El IDM hacer un reparto automático del volumen vertido entre el suelo y el agua subterránea"</li> </ul>	309.131,44
06	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a suelos y aguas subterráneas	IDM recalculado incluyendo como receptores suelo y aguas subterráneas	164.447,52
07	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de suelos y aguas subterráneas	IDM recalculado incluyendo como receptores suelo y aguas subterráneas	498.744,38
08	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas	IDM recalculado incluyendo como receptores suelo y aguas subterráneas	678.720,09



### 3.6 Cálculo del riesgo y selección del Escenario de Referencia

Conforme a la legislación vigente, con el uso del IDM junto con la probabilidad de cada escenario, se define el Escenario de Referencia que fija la cuantía de la garantía financiera en la instalación, una vez se monetice el mismo (ver sección 3.8)

En la Tabla 3-10 se han incluido por escenario los resultados finales de probabilidad y de IDM calculados en las secciones anteriores.

De acuerdo con el R.D. 183/2015, se considera Escenario de Referencia a aquel que, de entre los escenarios con menor IDM que agrupan el 95% del riesgo total, presente un mayor IDM.

Para seleccionar dicho escenario, se ha llevado a cabo la caracterización del Riesgo, como el producto entre la probabilidad de ocurrencia y el IDM. Posteriormente los escenarios se han ordenado de menor a mayor IDM y se ha seleccionado el escenario con menor IDM que agrupa el 95% del riesgo, que es el denominado Escenario de Referencia Este proceso queda recogido en la tabla Tabla 3-10 y de manera gráfica en la Figura 3-2.

El ESCENARIO DE REFERENCIA se corresponde con el escenario 8 de “Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas”, porque es con el que se supera el 95% de riesgo acumulado.

**Tabla 3-10. Probabilidad, Valor de IDM y Riesgo asociado y acumulado a cada escenario**

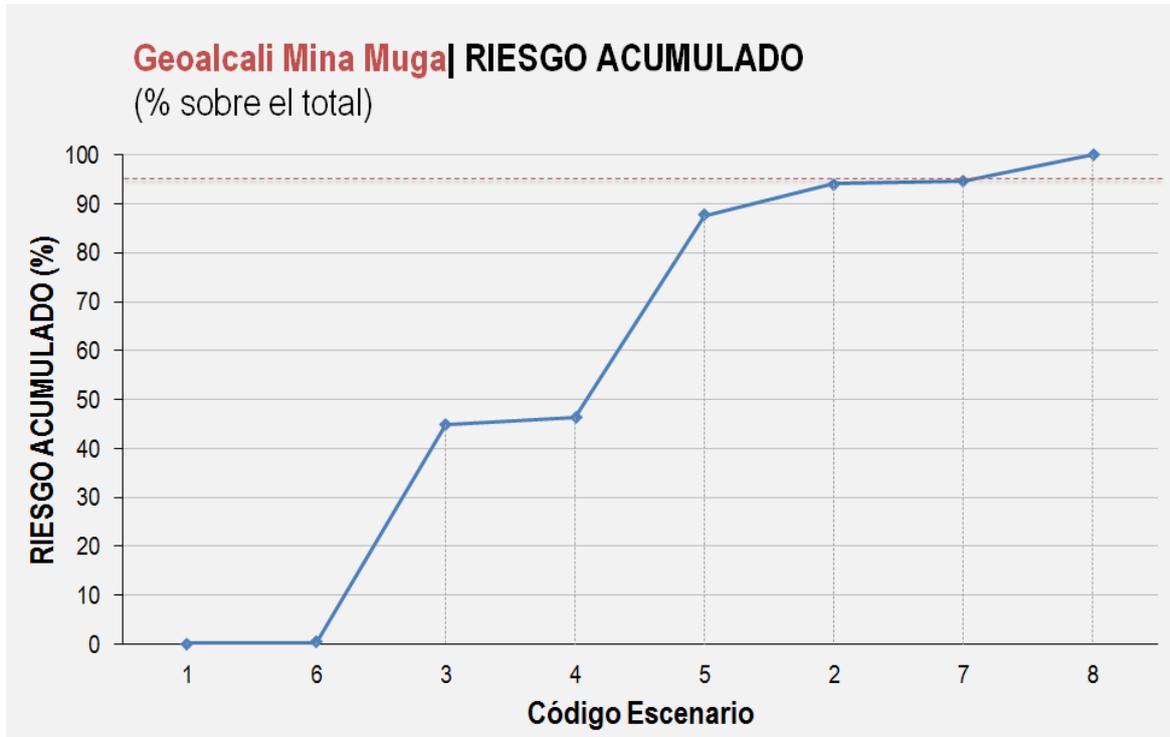
Cód	ESCENARIO	IDM	PROBAB.	RIESGO (IDM*P)	RIESGO (%)	RIESGO ACUMULADO (%)
1	Incendio motor de cabeza de cinta con propagación y afección exterior	18.504,98	5,85E-07	1,08E-02	0,1%	0,1%
6	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a suelos y aguas subterráneas	164.447,52	7,50E-08	1,23E-02	0,2%	0,3%



Cód	ESCENARIO	IDM	PROBAB.	RIESGO (IDM*P)	RIESGO (%)	RIESGO ACUMULADO (%)
3	Fuga a largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado y afección suelo y aguas subterráneas	166.995,20	2,00E-05	3,34E+00	44,7%	45,0%
4	Fuga de la cisterna de gasoil por accidente de tráfico en entorno arroyo estacional	284.321,09	3,47E-07	9,87E-02	1,3%	46,3%
5	Rotura total de línea de retorno de salmuera desde filtración y vertido final a arroyo estacional	309.131,44	1,00E-05	3,09E+00	41,3%	87,6%
2	Rotura catastrófica espesadores planta de flotación y vertido final a arroyo estacional	480.354,67	1,00E-06	4,80E-01	6,4%	94,1%
7	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de suelos y aguas subterráneas	498.744,38	7,50E-08	3,74E-02	0,5%	94,6%
8	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas	678.720,09	6,00E-07	4,07E-01	5,4%	100,0%



**Figura 3-2 Selección del Escenario de Referencia**





### 3.7 Cuantificación del daño ambiental del Escenario de Referencia

Una vez identificado el escenario de referencia, se debe proceder a la cuantificación del daño, esto es, la determinación del mismo en términos de unidades biofísicas afectadas. Para ello, se utilizan modelos de transporte del contaminante considerado en el o los medios afectados. Las concentraciones alcanzadas se comparan con umbrales de significatividad. Se considera que existe daño cuando la concentración supera el umbral determinado para un receptor.

#### 3.7.1 Umbrales de significatividad

De acuerdo con el escenario de referencia “Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de suelos y aguas subterráneas”, el agente causante del daño es agua salada, por lo que el contaminante de interés será **cloruros**. Las sales están naturalmente presentes en el suelo y las aguas subterráneas (por ejemplo, en rocas salinas o en acuíferos con problemas de intrusión marina por sobreexplotación de los mismos). No obstante, si se genera una afectación de origen antrópico y no natural, mediante un vertido que pueda afectar a ciertos receptores y si, además, se superan ciertos niveles genéricos de referencia, se pueden producir alteraciones del medio.

En cuanto al umbral de significatividad o niveles de referencia de cloruros en suelos, tanto de uso industrial como residencial u otros usos, no se ha encontrado ningún valor de referencia en la normativa nacional e internacional.

El umbral de significatividad propuesto para la concentración de cloruros en el agua subterránea es el utilizado para agua de consumo humano según la legislación española (RD 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano) es de 250 mg/l. Se considera que el único uso potencial que podría darse al agua subterránea podría ser su consumo humano a través de pozos de abastecimiento, eligiéndose este criterio como el criterio más conservador en todo caso.

#### 3.7.2 Modelización

Para la cuantificación del daño en el suelo y las aguas subterráneas, Advisian utiliza modelos y algoritmos que han sido aplicados en numerosos proyectos y cuyos resultados han sido suficientemente probados con resultados satisfactorios. Se han tenido en cuenta ecuaciones simples y conservadoras que ofrecen resultados aplicables a las características consideradas. Estas ecuaciones están basadas en principios básicos de geometría, cálculo de volúmenes, balance de masas y principios hidrodinámicos. El objetivo será determinar la cantidad de suelo (toneladas) y de aguas subterráneas ( $m^3$ ) que se vería afectada en caso de producirse el escenario de referencia.

- Para el cálculo de consecuencias en el **RECEPTOR SUELO** a través del **VECTOR ZONA NO SATURADA** en agua (ZNS), se ha utilizado como principio básico la Ley de **Darcy**, que considera el volumen de líquido que se infiltra en el suelo, determinado a partir del caudal y el tiempo de fuga, el área de infiltración y las propiedades físico-químicas de la ZNS, que determinan el



potencial de penetración.. Al no existir un umbral de referencia establecido en la normativa en cuanto a la concentración de cloruros en el suelo, se ha considerado que la ZNS afectada, calculada teniendo en cuenta el potencial de penetración del vertido en el suelo, presentaría una concentración superior a la concentración base o natural del entorno, utilizándose para calcular la masa de suelo afectado.

- Para el cálculo de consecuencias en el **RECEPTOR AGUA SUBTERRÁNEA**, las simulaciones se llevan a cabo mediante el programa "**RBCA Tool Kit for Chemical Releases**", **versión 2.6**. Se trata de un *software* integral de modelización y caracterización de riesgos diseñado para cumplir con los requisitos definidos según la *ASTM Standard Guide for Risk-Based Corrective Action* (E-2081) (Guía Estándar de ASTM para Acciones Correctivas Basadas en el Riesgo) para hacer, entre otras, evaluaciones de riesgos para diferentes rutas de exposición (suelos superficiales, aguas subterráneas, aguas superficiales y aire). RBCA es uno de los modelos más aceptados y utilizados para el análisis de riesgos cuantitativo a nivel internacional. La metodología seguida es la siguiente:
  - Concentración bajo el foco: se calcula la concentración de cloruros en la ZS bajo el foco a partir de la concentración inicial de este compuesto en la balsa y aplicando posteriormente un factor de dilución, que depende entre otros factores, del caudal de infiltración, de la geometría del área de ZS afectada bajo el foco y de las propiedades hidráulicas del acuífero.
  - Concentración aguas abajo del foco: en el caso de que las concentraciones calculadas de cloruros bajo el foco superen el umbral de significatividad seleccionado, se calcula la distancia hasta alcanzar el valor umbral con el software RBCA. Esta distancia se entiende como aquella a la que las concentraciones calculadas por RBCA en la ZS igualan o están justo por debajo del valor umbral de significatividad considerado. Para este cálculo RBCA tiene en cuenta los procesos y mecanismos de transporte que aplicarían en este caso para este compuesto de interés, como por ejemplo la dispersión.

A continuación se realiza una interpretación y procesado de datos independiente de los programas de simulación, para obtener las cantidades de recurso afectado (volumen de agua subterránea) para su valoración económica. Se han tomado las siguientes asunciones generales:

- El transporte en la ZNS se realiza en la componente vertical bajo la influencia de la fuerza de gravedad y con un gradiente igual a la unidad. No se considera dispersión en la componente horizontal.
- Las propiedades del medio atravesado son las mismas en la componente vertical y horizontal y en la ZNS y ZS, es decir, el medio es homogéneo e isótropo: margas y arcillas
- No se considera la existencia de sistemas de contención y mecanismos de respuesta (tiempos de reacción, piezómetros de control, barreras hidráulicas, otros) como factores condicionantes de las consecuencias. Esto es, todo el volumen fugado se considera susceptible de infiltrarse en el terreno y migrar verticalmente a través de la ZNS.
- Para calcular la posible repercusión sobre el receptor suelo, no se tienen en cuenta procesos de atenuación natural como hipótesis más conservadora. Las concentraciones son calculadas en estado estacionario.

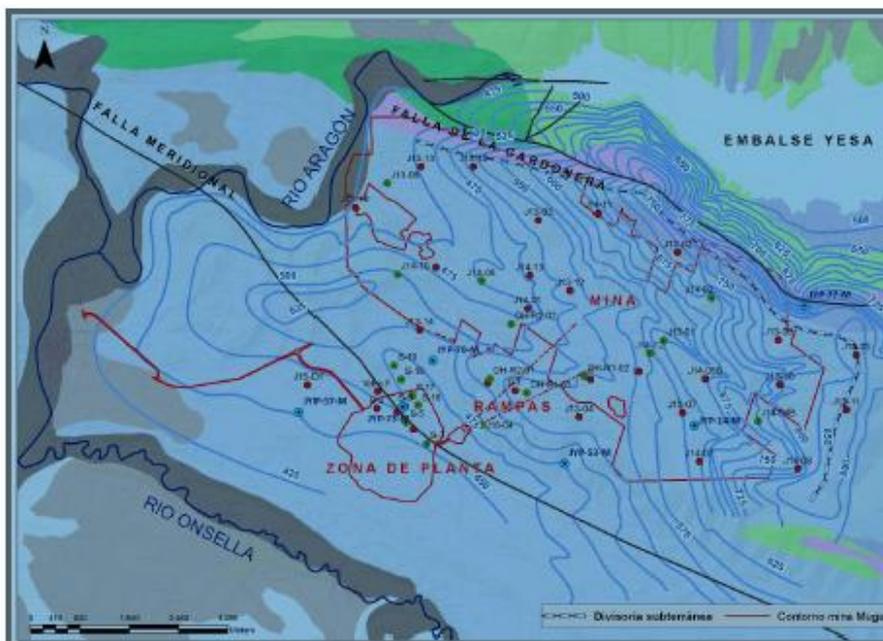


- No se considera la reducción de concentraciones en el foco por medios antrópicos y/o naturales (remediación).
- Se considera que se trata de un acuífero libre no confinado.

Además se han utilizado los siguientes valores:

- La geología seleccionada ha sido la de margas y arcillas de acuerdo al EIA. Consecuentemente, los valores de permeabilidad (muy bajos), porosidad, porosidad eficaz han sido extraídos de la literatura acorde a esta litología.
- El caudal de fuga considerado ha sido de  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ , durante un tiempo estimado de 3 días, según el planteamiento del escenario (Anexo 5).
- La concentración de cloruros estimada en la balsa es de  $217000 \text{ mg/l}$ , de acuerdo con la información proporcionada por Geoalcali.
- Se ha estimado la cota del nivel freático debajo de cada balsa. Teniendo en cuenta la cota de la base de cada balsa, se ha calculado el espesor de ZNS bajo cada una de ellas. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la balsa que presenta mayor espesor de ZNS, y, por tanto, mayor suelo afectado, sería la balsa nº5, con unos 18m de ZNS (cota de la base de la balsa: 471,9 msnm; cota estimada de nivel freático: 454 msnm).
- Se ha determinado la dirección del flujo del agua subterránea. Este se dirige hacia el Sur, hacia el río Onsella.

Figura 3-3: Dirección del flujo de agua subterránea



- El gradiente hidráulico que se ha calculado para esta zona es de 0.019 (teniendo en cuenta la diferencia de potencial entre las isopiezas 450 y 425 y una distancia entre ellas de 1280m).

- La distancia desde la balsa 5 hasta el río Onsella para que se produjera una descarga de agua subterránea sería de unos 2400m.

La longitud de la pluma de cloruros obtenida en RBCA teniendo en cuenta el umbral utilizado es de 1393m de longitud, por lo que se descarta una posible afección por descarga subsuperficial al río Onsella.

### 3.7.3 Cuantificación del daño | unidades biofísicas

Con los modelos utilizados, se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 3-11 Cuantificación del daño**

Receptor	Cantidad afectada
Suelo (ZNS)	7.786 t
Aguas subterráneas	398.681 m <sup>3</sup>

## 3.8 Monetización del daño y Garantía Financiera

De acuerdo con el R.D. 183/2015, la determinación de unidades biofísicas y la posterior monetización para determinar la cuantía de la garantía financiera sólo se realiza para el Escenario de Referencia.

### 3.8.1 Monetización del daño | MORA

De acuerdo con el R.D. 183/2015, la determinación de unidades biofísicas y la posterior monetización para determinar la cuantía de la garantía financiera sólo se realiza para el Escenario de Referencia.

Se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 3-12 Monetización del daño**

Receptor	Cantidad afectada	Coste de reparación	Técnica de reparación seleccionada
Suelo (ZNS)	7.786 t	1.326.852,09 €	Lavado suelo
Aguas subterráneas	398.681 m <sup>3</sup>	4.700.063,95 €	Extracción tratamiento aguas subterráneas
<b>TOTAL</b>		<b>6.037.450,62 €</b>	

Todos los valores utilizados para el cálculo se encuentran en el Anexo 4.



### 3.8.2 Cálculo de la garantía financiera

El coste de la reparación primaria asociada al Escenario de Referencia es de **6.037.451 €**. Adicionalmente, y conforme a la legislación de referencia, los costes de prevención y evitación se consideran un 10% de la cantidad fijada como reparación primaria, en este caso **603.745 €**.

**Por lo tanto, el montante propuesto para la garantía financiera es de 6.641.196 €.**

### 3.9 Recomendaciones de tratamiento del riesgo

Entre las medidas que pueden ser objeto de estudio para comprobar su estado de implantación en el proyecto o su viabilidad (económica, organizativa, técnica y tecnológica) y cumplir con la obligación de mantener el riesgo de los escenarios en niveles aceptables, o reducirlo hasta donde sea viable, se incluyen las siguientes:

- Incorporar al proyecto las medidas de mejoras para la línea de retorno de salmuera desde filtración (escenario 05) recogidas en la Tabla 3-7. Tras un primer cálculo del análisis de riesgos dónde se identificó este riesgo como elevado y una oportunidad de mejora, se decidió implementar medidas como la doble pared en la línea o medida equivalente (canaleta, canalización por drenaje o similar) que evite la escorrentía directa hacia el exterior en caso de rotura.
- Someter cualquier posible modificación sustancial durante la fase del proyecto a una revisión de los estudios de análisis de riesgos medioambientales realizados.
- Revisar las asunciones y trabajos realizados en el presente estudio una vez realizada la construcción y puesta en marcha de la explotación y en la operación, siempre que se realice alguna modificación sustancial. Es recomendable como mínimo revisar el HAZID. Esto permitirá contrastar y adecuar el estudio a la realidad de las instalaciones y realizar un proceso de análisis y gestión del riesgo continuo para mantener los riesgos dentro de los rangos de tolerabilidad.
- Mantener en la fase de operación los procedimientos que garanticen la operatividad de la balsa final de pluviales en la red de drenaje de planta, que garanticen que esta se encuentra disponible y con suficiente capacidad para contener cualquier vertido accidental de la planta.
- Poner en marcha las medidas de control y vigilancia durante la construcción de las balsas con el objetivo de evitar la perforación del geotextil o la lámina plástica por intrusión de rocas u otros objetos, así como las medidas de control necesarias para garantizar la calidad de las impermeabilizaciones plásticas y de arcilla y de la red de drenaje.
- Mantener en operación las medidas de control que aseguren la estabilidad e integridad del depósito temporal y las balsas y que permita corregir cualquier desviación.

El proceso de evaluación del riesgo está fundamentalmente condicionado por factores económicos, organizativos, técnicos, tecnológicos y de plazo, de forma que es habitual dentro de estos procesos de evaluación, que se aborde la reducción del riesgo tan sólo de una serie de



**Advisian**

WorleyParsons Group

**Geoalcali**  
**Análisis Cuantitativo de Riesgos**  
**Ambientales (ACRA)**  
Proyecto Mina Muga



escenarios y no de la totalidad, siempre que estén dentro de los niveles de tolerabilidad. En cualquier caso deberán tenerse siempre en cuenta las medidas para aquellos escenarios con un mayor nivel de riesgo asociado.



## 4 Referencias

Autor	Año	Título
Domenico, P.A.	1987	An Analytical Model for Multidimensional Transport of a Decaying Contaminant Species. Journal of Hydrology, 91 (1987) 49-58.
E. Custodio/ M.R. Llamas	2001	Hidrología Subterránea
CRN	2016	Informe anual (abril 2015 a abril 2016) de la red de control hídrico de Mina Muga en situación preoperacional
CRN	2017	2º informe anual de la red de control hídrico de Mina Muga en situación preoperacional
CRS Ingeniería	2018	Análisis de Riesgos de contaminación hídrica. Proyecto Mina Muga.
ECB	2003	Technical Guidance Document on Risk Assessment. in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Part II
Environment Agency UK	2006	Remedial Targets Methodology. Hydrogeological Risk Assessment for Land Contamination.
Geoalcali	2017	Actualización del Proyecto de explotación de Mina Muga
Huppert, H.E.	1982	The propagation of two-dimensional and axisymmetric viscous gravity currents over a rigid horizontal surface.
Hussein, M.	2002	Development and verification of a screening model for surface spreading of petroleum
MAPAMA	2018	Geoportal <a href="http://sig.mapama.es/geoportal/">http://sig.mapama.es/geoportal/</a>
MAPAMA	2013	MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental). Aplicación informática de asistencia integral para la monetización del daño medioambiental asociado a escenarios de riesgo. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del MAPAMA. Disponible en: <a href="https://servicio.mapama.gob.es/mora/login.action">https://servicio.mapama.gob.es/mora/login.action</a>
MAPAMA	2013	Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental (MORA). Documento Metodológico. Ministerio de



Autor	Año	Título
		Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). CTPRDM (Comisión Técnica de Prevención y Reparación de Daños Medioambientales)
MAPAMA	2018	Aplicación para el cálculo del IDM. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del MAPAMA. Disponible en: <a href="https://servicio.mapama.gob.es/mora/idm/editarSeleccionIdmAgentes.action">https://servicio.mapama.gob.es/mora/idm/editarSeleccionIdmAgentes.action</a>
RIVM	2001	Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater. RIVM Report 711701 023.
RIVM	2009	Reference Manual Bevi Risk Assessments, version 3.2
SIOSE	2018	Geopotat SIOSE (Iberpix 4)
TNO	2005 y 1997b	Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3). Guidelines for quantitative risk assessment "Purple Book", report CPR 18E, 2nd edition. Disponible en: <a href="http://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf">http://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf</a>
TYPASA	2017	Proyecto Mina Muga (Navarra y Aragón, España). Estudio de Impacto Ambiental refundido.



## Anexo 1 Registro de la sesión HAZID

---



Zona o actividad con peligro asociado (*)=línea añadida	Causas	Suceso iniciador propuesto (SIP)	Técnico Geoalcali	Paquete	Aplicable (Si/No)	Comentarios	Agente genérico causante del daño	Principales sustancias implicadas y/o peligrosidad asociada	Formato genérico almacenamiento (tanques, GRG, recipientes pequeño tamaño, balsas...)	Principales medidas de prevención y evitación	Probabilidad, P (1 a 5)	Comentarios	Consecuencias, C (1 a 5)	Comentarios	R=PxC	Seleccionado como Suceso Iniciador Tipo-SIT (Si/No)	Comentarios selección SIT	
<b>Mina</b>																		
<b>Extracción a cielo abierto</b>																		
Sistema de drenaje y reinyección (SDR) de aguas subterráneas	Avenida en cauce cercano Fallo del sistema de drenaje de la corta Fallo del SDR Lluvias severas Error humano	Inundación de la corta			NO													
Sistema de drenaje de aguas de contacto de la corta	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Fallo del sistema de drenaje de la corta Lluvias severas Error humano	Vertido de aguas contaminadas			NO													
<b>Extracción interior</b>																		
Sistema de drenaje interior	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Fallo del sistema de drenaje interior Lluvias severas Error humano	Vertido de aguas contaminadas	Sheila Maqueda	A-100 Rampas + Mina	SI	En la practica no es aplicable porque la mina es seca. En la rampa hay unas filtraciones de agua salina que se bombea para su reutilización.	Agua salada	Rotura de la línea de transporte	Detección por alto tránsito del vial	3	Rotura de tubería	2	Diluida	6	Moderado			
<b>Transporte de materiales</b>																		
Camiones de transporte	Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.	Vertido de materiales desde camión	Eduarne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	SI	ZONA DE EXPEDICIÓN DE PRODUCTO Y CAMIÓN DE RECIRCULACIÓN DE FINOS El producto sale en camiones de 25 t, a un ritmo de unos 16 camiones/h y un camión recircula los finos del edificio de cribado a la planta de secado cuando se llena el silo 500-BN-1004	Daño físico	KCl	Bañera de camión	Disposiciones internas de seguridad Recogida de pluviales de la zona industrial.	5		1		5	Bajo		
	Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc. Rotura del circuito de combustible del camión	Vertido de combustible desde camión	Eduarne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	SI	ZONA DE EXPEDICIÓN DE PRODUCTO Y CAMIÓN DE RECIRCULACIÓN DE FINOS El producto sale en camiones de 25 t, a un ritmo de unos 16 camiones/h y un camión recircula los finos del edificio de cribado a la planta de secado cuando se llena el silo 500-BN-1004	Daño químico	Gasoil	Depósito de combustible		3		2		6	Moderado		
				A-380 Edificios Auxiliares	SI	El/Los vehículo/s que transporten materiales del edificio del taller/repuestos a las diferentes plantas de proceso	Daño químico	Gasoil	Depósito de combustible	Separador de HC	3		2		6	Moderado		
	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en camión	Eduarne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	SI	Baja naturalidad en el entorno industrial y baja probabilidad de propagación al exterior	Daño por radiación (incendio)	Gasoil	Depósito de combustible		2		2	Entorno agrícola	4	Bajo		
				A-380 Edificios Auxiliares	SI	Baja naturalidad en el entorno industrial y baja probabilidad de propagación al exterior	Daño por radiación (incendio)	Gasoil	Depósito de combustible		2		2	Entorno agrícola	4	Bajo		
	Otros sistemas de	Impacto de objeto móvil Fallo en el sistema de trasporte Vuelco Error humano	Vertido de materiales desde otros sistemas de transporte (cintas transportadoras, etc.)	Eduarne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	SI	ZONA MINA- ZONA INDUSTRIAL Las dos cintas que llevan el mineral desde la bocamina a la zona industrial, discurren paralelas al vial.	Daño físico	Mineral de extracción y estériles	N/A	Disposiciones internas de seguridad Capotaje superior e inferior de las cintas.	4		1		4	Bajo	
Eduarne Moriones				A-150 Cintas Transportadoras	SI	ZONA INDUSTRIAL EN GENERAL Las cintas que transportan el material por la zona industrial llevan capotaje superior, que evita el vertido accidental. Si, por cualquier razón, hubiera un vertido accidental, y se pudiera contaminar el medio se considera la recogida de pluviales de toda la superficie industrial y su almacenamiento en balsas de regulación-	Daño físico	KCl	N/A	Disposiciones internas de seguridad Capotaje superior Recogida de pluviales de la zona industrial.	4		1		4	Bajo		

Zona o actividad con peligro asociado (*)=línea añadida	Causas	Suceso iniciador propuesto (SIP)	Técnico Geoalcali	Paquete	Aplicable (Si/No)	Comentarios	Agente genérico causante del daño	Principales sustancias implicadas y/o peligrosidad asociada	Formato genérico almacenamiento (tanques, GRG, recipientes pequeño tamaño, balsas...)	Principales medidas de prevención y evitación	Probabilidad, P (1 a 5)	Comentarios	Consecuencias, C (1 a 5)	Comentarios	R=PxC	Seleccionado como Suceso Iniciador Tipo-SIT (Si/No)	Comentarios selección SIT	
transporte			Edurne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	Si	ZONA ALMACENAMIENTO ROM Si por algún motivo, la alimentación principal del almacén de ROM tuviera que pararse (avería en el reclaim), una pala cargadora cargaría el material desde el almacén a una tolva que hay fuera del mismo. La alimentación sería manual	Daño físico	Mineral de extracción y estériles	N/A	Disposiciones internas de seguridad Recogida de pluviales de la zona industrial.	4		1		4	Bajo		
	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en otros sistemas de transporte	Edurne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	Si	Deósito de combustible de la pala cargadora	Daño por radiación (incendio)	Gasoil	Depósito de combustible		2		2		4	Bajo		
					Si	Foco de ignición debido a fallo en motor	Daño por radiación (incendio)	N/A	N/A	Monitorización del funcionamiento de los motores	2		3	Zona de cabeza de cinta en el vial próxima al límite de la instalación, cercana a una zona arbolada (80 m)	6	Moderado	Si	Como caso de incendio
<b>Taller mecánico</b>																		
Almacenamiento de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria	Fuga o rotura de recipiente por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias para el mantenimiento de la maquinaria	Edurne Moriones	A-380 Edificios Auxiliares	Si	Cubas de aceites/grasas para mantenimiento de vehículos en taller	Daño físico	Aceites/grasas	Bidones	Impermeabilización y contención de acuerdo a la legislación vigente	5		1	Se cuenta con la contención en el almacén y la general de la red de drenaje en caso de que fallase la primera	5	Bajo		
					Si	Recipientes de pintura para pintado de piezas reparadas	Daño físico	Pintura	Bidones/cubos	Impermeabilización y contención de acuerdo a la legislación vigente	5		1	Se cuenta con la contención en el almacén y la general de la red de drenaje en caso de que fallase la primera	5	Bajo		
Reparación/Mantenimiento de la maquinaria	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en taller mecánico	Edurne Moriones	A-380 Edificios Auxiliares	Si	Trabajos de Soldadura/ Corte con radial/ Oxicorte	Daño por radiación (incendio)				2		2		4	Bajo		
<b>Lavado de maquinaria</b>																		
Lavado de maquinaria	Fuga o rotura en depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito Fallo durante la recogida de lixiviados	Vertido de aguas de lavado de la maquinaria			No													
<b>Almacenamiento de mineral (Parque de mineral)</b>																		
Almacenamiento de mineral (Parque de mineral)	Fuga o rotura en depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de mineral	Edurne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	Si	Existe un silo de alimentación a la planta de flotación (202-BN-002). El silo dispone de una válvula de barras previa a un alimentador que, a su vez, vierte sobre una cinta que lleva el material (capotaje superior) hasta la planta.	Daño físico	Vertido de producto al piso		Recogida de pluviales de la zona industrial.	4		1		4	Bajo		
<b>Almacenamiento de sustancias</b>																		
Almacenamiento de sustancias	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias en almacén	Edurne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	Si	En la zona del edificio de cribado hay dos tanques con una mezcla (probablemente) de aceite y aminas.	Daño físico /químico	Producto antiapelmazante (aceite+ amina)	Tanque (x2 25m3)	Cubeto de retención La recogida de un vertido va a la red de drenaje industrial con balsa de pluviales al final que puede funcionar como última barrera de contención	1		3		3	Bajo		
	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en almacén de sustancias	Edurne Moriones	A-150 Cintas Transportadoras	Si	La mezcla debe calentarse hasta unos 80º para su uso. Se prevee un calentador eléctrico en el interior de los tanques.	Daño físico	Incendio. Combustión de aminas-aceite.	Tanque		2		2		4	Bajo		
<b>Polvorines</b>																		
Polvorines	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Explosión e incendio en polvorín			No													
<b>Manejo de explosivos</b>																		
Manejo de explosivos	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Explosión e incendio			No													
<b>Procesamiento de mineral</b>																		
General	Rotura de equipo en zona de proceso	Vertido de salmuera/slurry y reactivos al exterior de la planta	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Rebose de los cajones sumidero o cubeto en el caso de los espesadores o tanques, inundación de planta (superando área e contención ya diseñada y balsa de pluviales de contención final), vertido de fluidos al exterior	Daño físico y químico	Salmuera, slurry. Agua de proceso, agua fresca y reactivos	Tanques, espesadores	Fosos de contención con bombeo en interior de planta Alarma de fallo en bomba, y recirculación de drenaje recogido en el exterior a balsas de salmuera/regulación Cubetos y bombeos en tanques	1		3		3	Bajo	Si	Como representativo de las roturas de entidad en planta
<b>Trituración y molienda del mineral</b>																		
Trituración (*)	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de mineral	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Caida de material en el suelo de planta	Daño físico			Disolverlo con manguera, reculandolo por medio de las bombas sumidero	4		1		4	Bajo		

Zona o actividad con peligro asociado (*)=línea añadida	Causas	Suceso iniciador propuesto (SIP)	Técnico Geoalcali	Paquete	Aplicable (Si/No)	Comentarios	Agente genérico causante del daño	Principales sustancias implicadas y/o peligrosidad asociada	Formato genérico almacenamiento (tanques, GRG, recipientes pequeño tamaño, balsas...)	Principales medidas de prevención y evitación	Probabilidad, P (1 a 5)	Comentarios	Consecuencias, C (1 a 5)	Comentarios	R=PxC	Seleccionado como Suceso Iniciador Tipo-SIT (Si/No)	Comentarios selección SIT
Molienda (*)	Fuga o rotura de depósito de los ciclones	Vertido de material	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Que falle el deposito con el under de los ciclones, y el material de vierta al suelo de urbanización al estar localizado en el exterior	Daño físico	Slurry/salmuera	Deposito scrubber	Diseñar un deposito de contención en caso de ruptura de tanque	2	Depositos en el exterior de la planta que no disponen de las medidas de contención	1		2	Bajo	
	Fuga o rotura de depósito del propio scrubber	Vertido de material	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Que falle el propio tanque del scuuber con el agua de la duchas y el material fino se vierta al suelo de urbanización al estar localizado en el exterior	Daño físico	Slurry/salmuera	Tanque principal del scrubber	Diseñar un deposito de contención en caso de ruptura de tanque	2	Depositos en el exterior de la planta que no disponen de las medidas de contención	1		2	Bajo	
<b>Procesamiento de sulfuros polimetálicos mediante hidrometalurgia</b>																	
Lixiviación atmosférica	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso			No												
Lixiviación a presión	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso			No												
Extracción por solventes	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso			No												
Electrodeposición	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso			No												
<b>Procesamiento de sulfuros polimetálicos mediante flotación</b>																	
Flotación	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso			No												
Lavado	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos de proceso			No												
<b>Procesamiento de sales</b>																	
Separación de arcillas	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos salinos de proceso	Grupo de Trabajo	No identificado	Si	Rebose de lo cajones sumidero o cubeto en el caso de los espesadores o tanques, inundación de planta (superando área e contención ya diseñada y balsa de pluviales de contención final), vertido de fluidos al exterior	Daño físico y químico	Salmuera, slurry, Agua de proceso, agua fresca y reactivos	Tanques, espesadores	Fosos de contención con bombeo en interior de planta Alarma de fallo en bomba, y recirculación de drenaje recogido en el exterior a balsas de salmuera/regulación Cubetos y bombes en tanques	1		3		3	Bajo	
Flotación	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de fluidos salinos de proceso			No												
<b>Secado, compactado y glazing</b>																	
Secadores	Fuga de gas en el quemador, o en el transporte del gas	Fuga de gas	Carlota Perurena	A-430 Planta Secado y Compactado	Si		Daño por radiación (incendio)	Gas	Tubería	Detectores de gas, extintores y disposiciones internas de seguridad (plan de emergencia)	2		2		4	Bajo	
Captación de polvo de secado	Fuga o rotura de depósito del propio scrubber	Vertido de material	Carlota Perurena	A-430 Planta Secado y Compactado	Si	Que falle el propio tanque del dust extractor con el agua de la duchas y el material fino se vierta al suelo de urbanización al estar localizado en el exterior	Daño físico	Slurry/salmuera	Tanque principal del scrubber	Diseñar un deposito de contención en caso de ruptura de tanque	2		1		2	Bajo	
<b>Almacenamiento de sustancias para el procesamiento del mineral</b>																	
Suministro reactivos a planta de preparación	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias para el procesamiento del mineral (AAAA)	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Trasporte por camión de reactivos a la planta de reactivos	Daño físico y químico	-Floculante (líquido) - Aceite de flotación (líquido) - Aminas - Espumante (líquido) - Depresor	Recipientes de pequeño tamaño o cisterna	Disposición interna de seguridad	3		2		6	Moderado	
Bombeo a la planta desde almacenamiento	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Fuga de sustancias para el procesamiento del mineral (BBBBB)	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Transporte mediante piping	Daño físico y químico	-Floculante (líquido) - Aceite de flotación (líquido) - Aminas - Espumante (líquido) - Depresor	Depositos	Disposición interna de seguridad	2		1	Sistema de detección y corte automatizado	2	Bajo	

Zona o actividad con peligro asociado (*)=línea añadida	Causas	Suceso iniciador propuesto (SIP)	Técnico Geoalcali	Paquete	Aplicable (Si/No)	Comentarios	Agente genérico causante del daño	Principales sustancias implicadas y/o peligrosidad asociada	Formato genérico almacenamiento (tanques, GRG, recipientes pequeño tamaño, balsas...)	Principales medidas de prevención y evitación	Probabilidad, P (1 a 5)	Comentarios	Consecuencias, C (1 a 5)	Comentarios	R=PxC	Seleccionado como Suceso Inicial Tipo-SIT (Si/No)	Comentarios selección SIT
Preparación de reactivos	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias para el procesamiento del mineral (OTROS)	Carlota Perurena	A-400 Planta Trituración-Flotación	Si	Caída de material en el suelo de planta	Daño físico	-Floculante (líquido) - Aceite de flotación (líquido) - Aminas - Espumante (líquido) - Depresor	Tanques/ depositos	Suelo con inclinación y bombas sumidero de recirculación	1		2	Los reactivos se diluyen en los tanques del orden del 2-3% y están dentro de edificios	2	Bajo	
<b>Área de procesamiento de mineral</b>																	
Área de procesamiento de mineral	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en área de procesamiento de mineral	Grupo de Trabajo	No identificado	Si						2		2		4	Bajo	
<b>Gestión de residuos de extracción y de procesamiento de sulfuros polimetálicos</b>																	
<b>Escombreras</b>																	
Escombreras de inertes	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de materiales inertes	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	Si	Se trata de escombreras con la doble función de barrera visual y en el caso de la sur sistema de aislamiento de las instalaciones de los cauces e infraestructuras del entorno, sirven para proteger de polvo ruido y en caso de eventual vertido accidental, de contaminación de aguas superficiales	Fallo constructivo / causas naturales (sismo, lluvias etc)	material inerte		Correcto diseño y control de calidad en ejecución	1	Diseñadas con drenaje longitudinal que protege la instalación de la erosión por escorrentía.	3	Considerado con carácter conservador afección a la balsa de riego externa considerando que pueda haber una población de anfibios considerable	3	Bajo	
Escombreras de estériles de mina (no inertes, no peligrosos)	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de estériles de mina			No												
	Fallo sistema impermeabilización Lluvias severas	Infiltración de aguas de contacto			No												
	Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias severas	Vertido de aguas de contacto			No												
Escombreras de estériles de tratamiento	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de estériles de tratamiento			No												
	Fallo del sistema de impermeabilización Lluvias severas	Infiltración de aguas de contacto			No												
	Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias severas	Vertido de aguas de contacto			No												
<b>Balsas</b>																	
Balsas de lixiviados	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de lixiviados	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas												
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de lixiviados	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas												
Balsa de lodos	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de lodos	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	No												
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de lodos	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	No												
Balsa de pasta seca	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de pasta y agua ácida	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	No												
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de aguas agua ácida	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	No												
Balsas de regulación	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de efluentes ácidos	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas												
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de efluentes ácidos	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas												
<b>Planta de pasta</b>																	

Zona o actividad con peligro asociado (*)=línea añadida	Causas	Suceso iniciador propuesto (SIP)	Técnico Geocalcali	Paquete	Aplicable (Si/No)	Comentarios	Agente genérico causante del daño	Principales sustancias implicadas y/o peligrosidad asociada	Formato genérico almacenamiento (tanques, GRG, recipientes pequeño tamaño, balsas...)	Principales medidas de prevención y evitación	Probabilidad, P (1 a 5)	Comentarios	Consecuencias, C (1 a 5)	Comentarios	R=PxC	Seleccionado como Suceso Iniciador Tipo-SIT (Si/No)	Comentarios selección SIT
Planta de pasta	Rotura de equipo en zona de filtrado	Vertido de salmuera/slurry y reactivos al exterior de la planta	Javier Pontvianne	A-490/495 Backfilling y Dewatering	Si	Rebose de los cajones sumidero o cubeto en el caso de los espesadores o tanques, (superando área de contención ya diseñada), vertido de fluidos por escorrentía a depósito temporal	Daño físico y químico	Salmuera, slurry, Agua de proceso, agua fresca y reactivos	Tanques, espesadores	Fosos de contención con bombeo en interior de planta Alarma de fallo en bomba, y recirculación de drenaje recogido en el exterior a balsas de salmuera/regulación Cubetos y bombes en tanques	1	todo sería conducido por cuneta de pluviales a un punto de recogida y bombeo y redirigido a planta. Sería equivalente a la balsa de pluviales ubicada en la zona de proceso	2	El producto tiene muchos sólidos y poca movilidad	2	Bajo	
Planta de pasta	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de pasta y agua saturada	Javier Pontvianne	A-490/495 Backfilling y Dewatering	Si	Rotura de banda en las cintas transportadoras de material de relleno.	Físico	Sólidos (sales e insolubles)			4	Igual que cintas de potasa	1		4	Bajo	
Conducciones de aguas de contacto (perimetrales y subterráneas)																	
Conducciones de aguas de contacto (perimetrales y subterráneas)	Rotura o fuga en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Vertido aguas de contacto			No												
Gestión de residuos de extracción y del procesamiento de las sales sódicas y potásicas																	
Escombreras (depósitos salinos)																	
Escombreras (depósitos salinos)	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de residuos salinos	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas												
	Fallo del sistema de impermeabilización Lluvias severas	Infiltración de agua salada	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas												
	Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias severas	Vertido de agua salada	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas									A pesar de que el material es contaminante, un hipotético fallo en el sistema de impermeabilización, tendría muy poca repercusión ya que el terreno natural tiene una muy baja permeabilidad			
Presa de control de aguas (preescombrera)																	
Presa de control de aguas (preescombrera)	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	Vertido de agua salada	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas	El dique sur tiene una función principal como vertedero de inertes, que en caso de accidente con balsas o depósito, mantiene aislado la zona sur de los cauces naturales del entorno. Está dotado de sistema de drenaje longitudinal para protección de taludes				Diseño y Control de calidad de la ejecución.							
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de agua salada	Berta Serrano	A-300 Vial Principal Acceso A-320 Movimiento de Tierras A-340 Balsas y Vertedero A-360 Urbanización	AR balsas	no hay impermeabilización artificial											
Conducciones de agua salada (perimetrales y subterráneas)																	
Conducciones de agua salada (perimetrales y subterráneas)	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Vertido de agua salada	Grupo de Trabajo	No identificado	Si	Ya analizado específicamente en las zonas de planta y mina											
Procesos o instalaciones auxiliares																	
Abastecimiento de agua																	
Conducciones de agua	Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Vertido de agua	Grupo de Trabajo	No identificado	Si	No se identifican posibles daños											
Estación dosificadora de reactivos para el control de la calidad de las aguas	Fuga o rotura en depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de sustancias	Ángel Gutiérrez	A-010 Preliminares	Si	Bidon Hipoclorito sódico (100l)				dentro de container	4		1		4	Bajo	
Balsa de abastecimiento	Rotura de la presa de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc. Desbordamiento de la balsa	Vertido de agua			No												
Gestión y tratamiento de efluentes ácidos																	
Gestión y tratamiento de efluentes ácidos	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de efluentes			No												
Gestión y tratamiento de efluentes salinos																	
Gestión y tratamiento de efluentes salinos	Fuga o rotura de depósito por impacto de objeto móvil, desgaste del material, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de efluentes salinos			No												

Zona o actividad con peligro asociado (*)=línea añadida	Causas	Suceso iniciador propuesto (SIP)	Técnico Geoalcali	Paquete	Aplicable (Si/No)	Comentarios	Agente genérico causante del daño	Principales sustancias implicadas y/o peligrosidad asociada	Formato genérico almacenamiento (tanques, GRG, recipientes pequeño tamaño, balsas...)	Principales medidas de prevención y evitación	Probabilidad, P (1 a 5)	Comentarios	Consecuencias, C (1 a 5)	Comentarios	R=PxC	Seleccionado como Suceso Iniciador Tipo-SIT (Si/No)	Comentarios selección SIT	
<b>Sistema auxiliar de suministro eléctrico</b>																		
Generador	Fuga o rotura de depósito o conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de combustible	Jose María Ballester	A-500 HV Eléctrico A-560 Planta GNL	Si						3		1	Depósito de 390 l incluido en la bancada del fabricante	3	Bajo		
	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en generador	Jose María Ballester	A-500 HV Eléctrico A-560 Planta GNL	Si						2		2		4	Bajo		
Transformador	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en transformador	Jose María Ballester	A-500 HV Eléctrico A-560 Planta GNL	Si						1	Transformador con ésteres sintéticos, muy baja probabilidad de incendio. No requiere de sistema de extinción automático	1	Se considera equivalente al motor de cinta transportadora que puede afectar a una zona arbolada próxima	1	Bajo		
Tendido eléctrico	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio en tendido eléctrico	Jose María Ballester	A-500 HV Eléctrico A-560 Planta GNL	Si	Atraviesa el ZEC a la altura del curso medio del río Aragón pero se realiza de manera soterrada. El resto de zonas que atraviesa la línea son parcelas principalmente agrícolas	Incendio			Cableado no propagador de llama.	2		2	No se puede afectar al ZEC ya que en ese tramo la línea está enterrada. La línea aérea atraviesa esencialmente zonas de cultivo.	4	Bajo		
			Edurne Moriones	A-380 Edificios Auxiliares	Si	Tendido dentro de planta	Daño físico	N/A	Cableado no propagador de llama. Sistemas de extinción de incendios	2		2		2		4	Bajo	
<b>Combustibles (*)</b>																		
Depósito de Gasoil (*)	Fuga o rotura de depósito o conducción, desgaste del material, corrosión, sobrepresión, error humano, etc. Desbordamiento de depósito	Vertido de combustible	Grupo de Trabajo	No identificado	Si	Dos tanques enterrados de gasoil de 60 m3 con doble pared con surtidor	Daño Químico	Gasoil		Doble pared, inspecciones periódicas y cubeto	3	Considerando las fugas crónicas y a largo plazo	2	Nivel freático a 30-40 m y terrenos impermeables	6	Moderado	SI	Como más significativo de los escenarios de riesgo moderado con probabilidad 3 y consecuencias 2
	Existencia de combustible Foco de ignición Error humano	Incendio del depósito	Grupo de Trabajo	No identificado	Si	Dos tanques enterrados de gasoil de 60 m3 con doble pared con surtidor	Daño Químico	Gasoil		Doble pared, inspecciones periódicas, cubeto, el boquerel es antirretorno, procedimientos de seguridad en operación	2		2		4	Bajo		



**Advisian**

WorleyParsons Group

**Geoalcali**  
**Análisis Cuantitativo de Riesgos**  
**Ambientales (ACRA)**  
Proyecto Mina Muga

To insert a client logo  
Right click  
Go down to change picture



## **Anexo 2 Escenarios Accidentales seleccionados (excepto balsas)**

---



Nº	Escenario	Comentarios generales al escenario seleccionado	Equipo	Sustancia implicada	Tipo de fallo concreto/cantidad fugada	CDI	Concentraciones	Comentarios	Factores condicionantes considerados	Probabilidad
01	Incendio motor de cabeza de cinta con propagación y afección exterior	Cómo caso más desfavorable se considera la evolución del incendio hacia el escenario de propagación y afección al elemento natural exterior más significativo de las proximidades (zona de pinar)	Motor de cabeza de cinta	Incendio	N/A	N/A	N/A	El viento predominante es NO SE Pinos replantados con densidad muy alta Existe parque de bomberos en Sangüesa	A: Condiciones meteorológicas que propaguen el incendio al exterior a zona vulnerable (viento del NO a SE): 19,5% B: Proximidad parque de bomberos. Existe parque de bomberos próximo en Sangüesa, se considera fallo humano a demanda siguiendo procedimiento operativo para que fallen y se propague incendio: 1,00E-02	5,85E-07
02	Rotura catastrófica empesadores planta de flotación y vertido final a arroyo estacional	Se considera la pérdida del producto, y el fallo de la contención disponible (cubeto con bombeo y la balsa final de pluviales en la red de drenaje) con afección final al arroyo estacional	Espesadores de planta flotación	Mezcla de salmuera con sales e insolubles (inorgánicos)	Aprox 2500 m3	Sales solubilizadas, cloruros	KCL 11,3 %; NaCl 15,9 %; MgCl2 4 %	Se considera el vertido final a través de la blasa de pluviales al arroyo Valdeborro (Afección principalmente suelos)	A Fallo de cubeto de contención con bombeo: Se considera como equivalente a fallo doble contención en depósito: 1,00E-01 B Balsa final de pluviales llena. Se considera como fallo humano a demanda siguiendo procedimiento operativo que hace que la balsa esté llena y no pueda contener vertido: 1,00E-02	1,00E-08
03	Fuga a largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado y afección suelo y aguas subterráneas	Se considera una fuga a largo plazo, y el fallo de la contención y detección disponible (tanque doble pared y sistema detección fuga)	Tanque de gasoil enterrado de 60 m3	Gasoil	Fuga a 10 años de 1 mm de poro	Gasoil	N/A	Dispone de doble pared, cubeto y sistema de detección de fugas Suelo y posible afección a aguas subterráneas (Por debajo de los 20 m y sustrato poco permeable)	A Fallo de doble pared: Se considera como equivalente a fallo doble contención en depósito: 1,00E-01 B Fallo detección. Se considera como equivalente a sistema de detección y corte no automático: 1,00E-01	2,00E-05
04	Fuga de la cisterna de gasoil por accidente de tráfico en entorno arroyo estacional	La rotura se considera en tramo más desfavorable, sobre arroyo y se considera que no hay posibilidad de contención	Cisterna	Gasoil	Se asume la rotura de la cisterna de 24 m3 que al estar compartimentada se considera la pérdida solo parcial de 6 m3	Gasoil	N/A	Cisterna adecuada a ADR Conductor autorizado Se considera el vertido como punto más desfavorable sobre el arroyo Valdeborro con afección al suelo (cauce estacional)	No se consideran	3,47E-07

Nº	Escenario	Comentarios generales al escenario seleccionado	Equipo	Sustancia implicada	Tipo de fallo concreto/cantidad fugada	CDI	Concentraciones	Comentarios	Factores condicionantes considerados	Probabilidad
05	Rotura total de línea de retorno de salmuera desde filtración y vertido final a arroyo estacional	La rotura se considera en una zona sin medidas de contención donde por escorrentía se puede alcanzar el arroyo estacional	Línea de retorno de salmuera desde filtración	Mezcla de sal e insolubles (inorgánicos)	Q= 360 m3/h	Sales solubilizadas	KCL 11,3 %; NaCl 15,9 %; MgCl2 4 %	Se ha valorado la rotura total o la parcial para considerar el peor caso con la detección disponible. Se considera finalmente la rotura total durante 1 h. Se detecta inmediatamente pero el proceso tiene una inercia de 1 h. Se alcanza el arroyo Valdeborro directamente por escorrentía sin pasar por red de drenaje y balsa de pluviales	Tras un primer cálculo del análisis de riesgos dónde se identificó este riesgo como elevado y una oportunidad de mejora, se decidió implementar una medida de mejora como la doble pared en la línea o medida equivalente (canaleta, canalización por drenaje o similar) que evite la escorrentía directa en caso de rotura hacia el exterior.	1,00E-05



**Advisian**

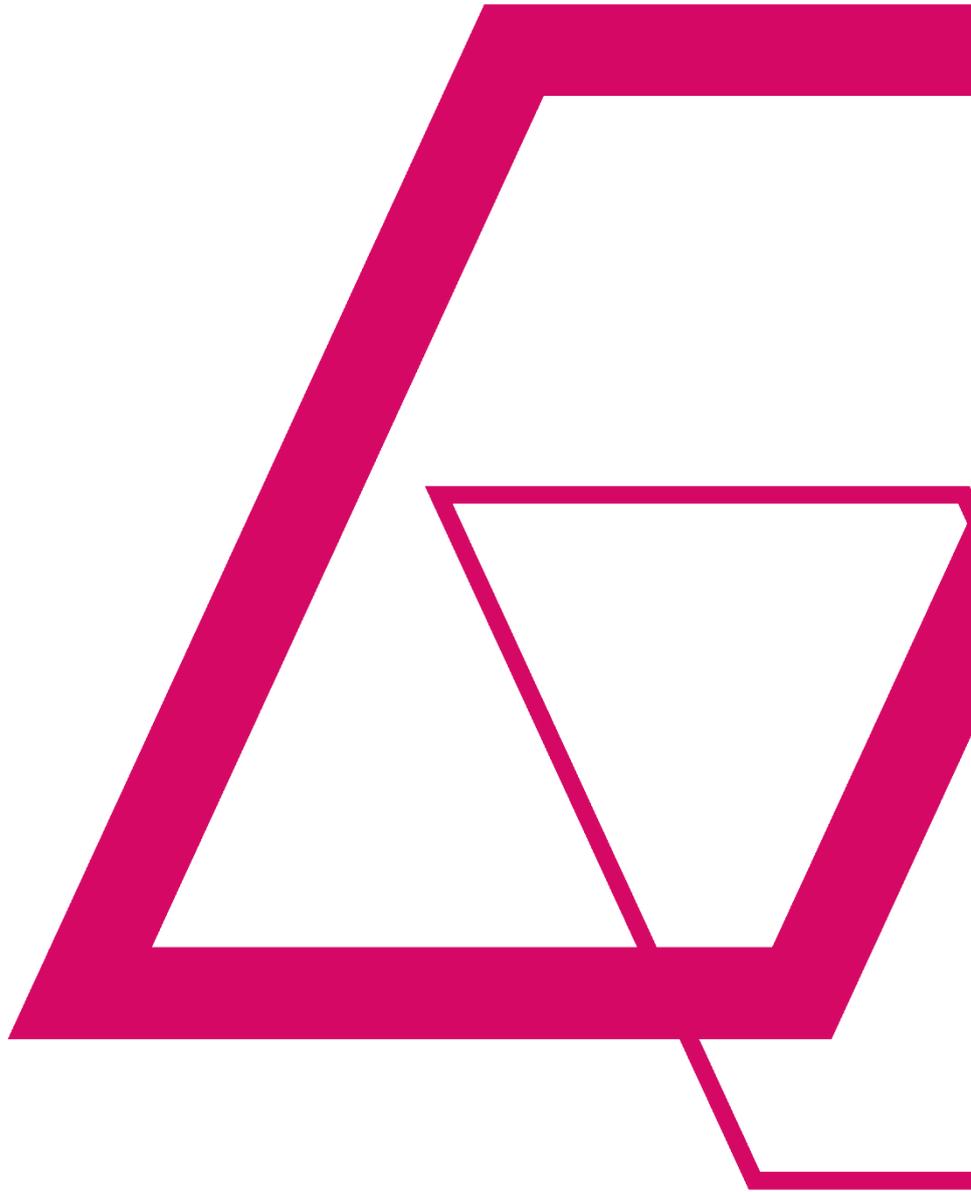
WorleyParsons Group

**Geoalcali**  
**Análisis Cuantitativo de Riesgos**  
**Ambientales (ACRA)**  
Proyecto Mina Muga



## **Anexo 3 Informes del IDM para los Escenarios Accidentales seleccionados**

---





## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

E.A-01- Incendio motor de cabeza de cinta con propagación y afección exterior a pinar

### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

### Daño

Agente	Recurso
Incendio	Arbolado joven no amenazado

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	1.865,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	1,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	6,20
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	11.226,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,02

### Modificadores

Concepto	Valor
Duración estimada de los daños	Media-alta (arbolado joven, menos de 30 años)
Densidad de la vegetación	Media (densidad de pies entre 50-700 pies/ha, matorral o herbazal de densidad media)
Afección a un espacio natural protegido	Sin afección a un ENP
Pedregosidad del terreno	Suelo no pedregoso
Pendiente media del terreno	Baja (<30%)
Densidad de la vegetación	Media (densidad de pies entre 50-700 pies/ha, matorral o herbazal de densidad media)
Pendiente media del terreno	Baja (<5%)
Precipitación media anual	Zona media (400-700 mm)
Temperatura media anual	Media (10-17,5 °C)



Concepto	Valor
Velocidad media del viento	Media (1-5 m/s)

### Acceso a la zona a reparar

Estimador del coste de acceso a la zona a	6,14
Distancia a la vía más cercana (m)	2,00

### Resultado de la estimación

Valor IDM	18.504,98
-----------	-----------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

### E.A-02- Rotura catastrófica espesadores planta de flotación

#### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

#### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Suelo

#### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	105,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	825,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

#### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga instantánea
Viscosidad de la sustancia	Sustancia medianamente viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

#### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua superficial



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	2.500,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	2,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	1.934,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Categoría lago o embalse	No existe afección a lago o embalse
Categorías del río	Río poco caudaloso (<5 m <sup>3</sup> /s)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua subterránea

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	1.675,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00



Concepto	Valor
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia medianamente viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<3 años)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Herbazal no amenazado

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	574,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	2.500,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	0,01
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	11.226,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,02

### Modificadores

Concepto	Valor
Duración estimada de los daños	Baja (herbazal)
Densidad de la vegetación	Media (densidad de pies entre 50-700 pies/ha, matorral o herbazal de densidad media)



Concepto	Valor
Afección a un espacio natural protegido	Sin afección a un ENP
Pedregosidad del terreno	Suelo no pedregoso
Pendiente media del terreno	Baja (<30%)
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga instantánea
Toxicidad de la sustancia	Baja
Viscosidad de la sustancia	Sustancia medianamente viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)

#### Acceso a la zona a reparar

<u>Estimador del coste de acceso a la zona a</u>	6,14
<u>Distancia a la vía más cercana (m)</u>	2,00

#### Resultado de la estimación

<u>Valor IDM</u>	480.354,67
------------------	------------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

E.A-03-Fuga largo plazo por poro por corrosión en tanque de gasoil enterrado de 60m3

### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

### Daño

Agente	Recurso
COSV no halogenados	Suelo

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	201,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	0,83
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Media
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga continua
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Media (6 meses - 2 años)

### Daño

Agente	Recurso
COSV no halogenados	Agua subterránea



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	67,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	1,68
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Media
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Insoluble (solubilidad en agua a 20 °C < 0,1 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Media (3 - 10 años)

### Acceso a la zona a reparar

Estimador del coste de acceso a la zona a	6,14
Distancia a la vía más cercana (m)	2,00

### Resultado de la estimación

Valor IDM	166.995,20
-----------	------------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

### E.A-04-Fuga cisterna de gasoil por accidente trafico

#### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

#### Daño

Agente	Recurso
COSV no halogenados	Suelo

#### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	201,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	1,98
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

#### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Media
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga instantánea
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Media (6 meses - 2 años)

#### Daño

Agente	Recurso
COSV no halogenados	Agua superficial



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	6,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	2,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	1.934,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Media
Categoría lago o embalse	No existe afección a lago o embalse
Categorías del río	Río poco caudaloso (<5 m <sup>3</sup> /s)
Solubilidad de la sustancia	Insoluble (solubilidad en agua a 20 °C < 0,1 mg/l)
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Media (6 meses - 1 año)

### Daño

Agente	Recurso
COSV no halogenados	Agua subterránea

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	67,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	4,02
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00



Concepto	Valor
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Media
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Insoluble (solubilidad en agua a 20 °C < 0,1 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Media (3 - 10 años)

### Daño

Agente	Recurso
COSV no halogenados	Herbazal no amenazado

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	574,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	6,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	0,01
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	11.226,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,02

### Modificadores

Concepto	Valor
Duración estimada de los daños	Baja (herbazal)
Densidad de la vegetación	Media (densidad de pies entre 50-700 pies/ha, matorral o herbazal de densidad media)



Concepto	Valor
Afección a un espacio natural protegido	Sin afección a un ENP
Pedregosidad del terreno	Suelo no pedregoso
Pendiente media del terreno	Baja (<30%)
Degradabilidad de la sustancia	Media
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga instantánea
Toxicidad de la sustancia	Media
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)

#### Acceso a la zona a reparar

<u>Estimador del coste de acceso a la zona a</u>	6,14
<u>Distancia a la vía más cercana (m)</u>	2,00

#### Resultado de la estimación

<u>Valor IDM</u>	284.321,09
------------------	------------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

### E.A-05-Rotura total línea de retorno de salmuera desde filtración

#### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

#### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Suelo

#### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	105,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	118,80
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

#### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga instantánea
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

#### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua superficial



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	360,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	2,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	1.934,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Categoría lago o embalse	No existe afección a lago o embalse
Categorías del río	Río poco caudaloso (<5 m <sup>3</sup> /s)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua subterránea

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	241,20
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00



Concepto	Valor
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<3 años)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Herbazal no amenazado

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	574,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	360,00
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	0,01
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	11.226,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,02

### Modificadores

Concepto	Valor
Duración estimada de los daños	Baja (herbazal)
Densidad de la vegetación	Media (densidad de pies entre 50-700 pies/ha, matorral o herbazal de densidad media)



Concepto	Valor
Afección a un espacio natural protegido	Sin afección a un ENP
Pedregosidad del terreno	Suelo no pedregoso
Pendiente media del terreno	Baja (<30%)
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga instantánea
Toxicidad de la sustancia	Baja
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)

#### Acceso a la zona a reparar

<u>Estimador del coste de acceso a la zona a</u>	6,14
<u>Distancia a la vía más cercana (m)</u>	2,00

#### Resultado de la estimación

<u>Valor IDM</u>	309.131,44
------------------	------------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

E.A-06-Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas

### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Suelo

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	105,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	18,65
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga continua
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua subterránea



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	37,87
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<3 años)

### Acceso a la zona a reparar

Estimador del coste de acceso a la zona a	6,14
Distancia a la vía más cercana (m)	2,00

### Resultado de la estimación

Valor IDM	164.447,52
-----------	------------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

E.A-07-Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de aguas subterráneas

### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Suelo

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	105,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	1.784,64
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga continua
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua subterránea



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	3.623,35
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia medianamente viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<3 años)

### Acceso a la zona a reparar

Estimador del coste de acceso a la zona a	6,14
Distancia a la vía más cercana (m)	2,00

### Resultado de la estimación

Valor IDM	498.744,38
-----------	------------



## ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIOAMBIENTAL

E.A-08-Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas

### Datos generales

Fecha de realización	09/05/2018
----------------------	------------

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Suelo

### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	0,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	105,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	2.663,64
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,00
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	887,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Forma en la que se produce el vertido	Fuga continua
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<6 meses)

### Daño

Agente	Recurso
Sustancias inorgánicas	Agua subterránea



### Coeficientes

Concepto	Valor
Estimador del coste fijo del proyecto de reparación	100.000,00
Estimador del coste unitario del proyecto de reparación	15,00
Cantidad de agente involucrada en el daño	5.407,99
Relación entre las unidades de recurso afectadas y las unidades de agente involucradas en el daño	1,50
Estimador del coste de revisión y control del proyecto de reparación	55.238,00
Estimador del coste de consultoría del proyecto de reparación	0,03

### Modificadores

Concepto	Valor
Degradabilidad de la sustancia	Baja
Permeabilidad del suelo	Baja (arcillas, margas, roca no fracturada)
Solubilidad de la sustancia	Muy soluble (solubilidad en agua a 20 °C > 10 mg/l)
Viscosidad de la sustancia	Sustancia poco viscosa
Volatilidad de la sustancia	Media (PE 100-320 °C)
Duración estimada de los daños	Baja (<3 años)

### Acceso a la zona a reparar

Estimador del coste de acceso a la zona a	6,14
Distancia a la vía más cercana (m)	2,00

### Resultado de la estimación

Valor IDM	678.720,09
-----------	------------



**Advisian**  
WorleyParsons Group

**Geoalcali**  
**Análisis Cuantitativo de Riesgos**  
**Ambientales (ACRA)**  
Proyecto Mina Muga



## Anexo 4 Informe MORA

---





## INFORME DE COSTES DE REPARACIÓN

### Datos generales

<u>Nombre</u>	Monetización Geoalcali		
<u>Fecha de realización</u>	17/05/2018	<u>Versión</u>	v2011/1
<u>Operador</u>	WorleyParsons Consulting		

### Datos de localización

<u>Coordenada X</u>	620.683,47	<u>Coordenada Y</u>	4.736.992,00	<u>SRS</u>	UTM-ETRS 1989-
---------------------	------------	---------------------	--------------	------------	----------------

### Parámetros

Concepto	Valor	Valor original
Accesibilidad	Sí	
Distancia vía	100	
Rango de pendiente	Muy baja	Baja
Permeabilidad	Muy baja	
Espacio protegido	No	

### Daño

Agente	Recurso	Cantidad dañada	Reversibilidad
Sustancias inorgánicas no biodegradables	Suelo	7.786,00 t	Sí

### Reparaciones

#### Reparación

<u>Nº de unidades físicas a reparar</u>	7.786,00t
-----------------------------------------	-----------

#### Tiempo de espera

6 Meses
---------



Técnica de reparación

Lavado de suelo

Datos relacionados con la técnica de reparación

Concepto	Valor	Valor original
Técnica seleccionada	Lavado de suelo	Vitrificación
Coste Unitario	97,45	
Coste fijo	0,00	
Multiplicador	0,00	
Exponente	0,00	
Tiempo de recuperación	3	
Unidad de tiempo	Meses	
Tipo de eficacia	Limitada	

Presupuesto de la reparación primaria

Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
Total Reparación		1.326.852,09		1.326.852,09
Total Aplicación Técnica		1.285.315,22		1.285.315,22
% IVA	21,00	223.071,24	21,00	223.071,24
%Seguridad por contingencia	40,00	303.498,28	40,00	303.498,28
PEC Aplicación Técnica		758.745,70		758.745,70
Total Consultoría		38.824,53		38.824,53
%IVA	21,00	6.738,14	21,00	6.738,14
%Seguridad por contingencia	20,00	5.347,73	20,00	5.347,73
PEC Consultoría		26.738,66		26.738,66
Total Revisión y Control		2.712,34		2.712,34
%IVA	21,00	470,74	21,00	470,74



Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
%Seguridad por contingencia	20,00	373,60	20,00	373,60
PEC Revisión y Control		1.868,00		1.868,00

Reparación compensatoria

Nº de unidades físicas a reparar	145,16t
----------------------------------	---------

Tiempo de espera

6 Meses

Tasa de descuento

3,00

Técnica de reparación

Lavado de suelo

Datos relacionados con la técnica de reparación

Concepto	Valor	Valor original
Técnica seleccionada	Lavado de suelo	Vitrificación
Coste Unitario	97,45	
Coste fijo	0,00	
Multiplicador	0,00	
Exponente	0,00	
Tiempo de recuperación	3	
Unidad de tiempo	Meses	
Tipo de eficacia	Limitada	

Presupuesto de la reparación compensatoria

Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
Total Reparación		36.044,88		36.044,88
Total Aplicación Técnica		23.963,05		23.963,05
% IVA	21,00	4.158,88	21,00	4.158,88



Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
%Seguridad por contingencia	40,00	5.658,34	40,00	5.658,34
PEC Aplicación Técnica		14.145,84		14.145,84
Total Consultoría		9.369,49		9.369,49
%IVA	21,00	1.626,11	21,00	1.626,11
%Seguridad por contingencia	20,00	1.290,56	20,00	1.290,56
PEC Consultoría		6.452,82		6.452,82
Total Revisión y Control		2.712,34		2.712,34
%IVA	21,00	470,74	21,00	470,74
%Seguridad por contingencia	20,00	373,60	20,00	373,60
PEC Revisión y Control		1.868,00		1.868,00

## Daño

Agente	Recurso	Cantidad dañada	Reversibilidad
Sustancias inorgánicas no biodegradables	Agua subterránea	398.681,00 m3	Sí

## Reparaciones

Reparación

Nº de unidades físicas a reparar	398.681,0m3
----------------------------------	-------------

Tiempo de espera

1 Años
--------

Técnica de reparación

Extracción y tratamiento
--------------------------

Datos relacionados con la técnica de reparación

Concepto	Valor	Valor original
Técnica seleccionada	Extracción y tratamiento	Adsorción / Absorción



Concepto	Valor	Valor original
Coste Unitario	6,45	
Coste fijo	36.688,00	
Multiplicador	0,00	
Exponente	0,00	
Tiempo de recuperación	10	
Unidad de tiempo	Años	
Tipo de eficacia	Limitada	

Presupuesto de la reparación primaria

Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
Total Reparación		4.700.063,95		4.700.063,95
Total Aplicación Técnica		4.418.257,68		4.418.257,68
% IVA	21,00	766.805,05	21,00	766.805,05
%Seguridad por contingencia	40,00	1.043.272,18	40,00	1.043.272,18
PEC Aplicación Técnica		2.608.180,45		2.608.180,45
Total Consultoría		112.821,05		112.821,05
%IVA	21,00	19.580,51	21,00	19.580,51
%Seguridad por contingencia	20,00	15.540,09	20,00	15.540,09
PEC Consultoría		77.700,45		77.700,45
Total Revisión y Control		168.985,21		168.985,21
%IVA	21,00	29.328,01	21,00	29.328,01
%Seguridad por contingencia	20,00	23.276,20	20,00	23.276,20
PEC Revisión y Control		116.381,00		116.381,00

Reparación compensatoria



Nº de unidades físicas a reparar 75.601,79m3

Tiempo de espera

1 Años

Tasa de descuento

3,00

Técnica de reparación

Extracción y tratamiento

Datos relacionados con la técnica de reparación

Concepto	Valor	Valor original
Técnica seleccionada	Extracción y tratamiento	Adsorción / Absorción
Coste Unitario	6,45	
Coste fijo	36.688,00	
Multiplicador	0,00	
Exponente	0,00	
Tiempo de recuperación	10	
Unidad de tiempo	Años	
Tipo de eficacia	Limitada	

Presupuesto de la reparación compensatoria

Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
Total Reparación		1.085.264,86		1.085.264,86
Total Aplicación Técnica		888.197,32		888.197,32
% IVA	21,00	154.149,95	21,00	154.149,95
%Seguridad por contingencia	40,00	209.727,82	40,00	209.727,82
PEC Aplicación Técnica		524.319,55		524.319,55
Total Consultoría		28.082,33		28.082,33
%IVA	21,00	4.873,79	21,00	4.873,79
%Seguridad por contingencia	20,00	3.868,09	20,00	3.868,09



Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
PEC Consultoría		19.340,45		19.340,45
Total Revisión y Control		168.985,21		168.985,21
%IVA	21,00	29.328,01	21,00	29.328,01
%Seguridad por contingencia	20,00	23.276,20	20,00	23.276,20
PEC Revisión y Control		116.381,00		116.381,00

### Presupuesto camino

Nombre	%	Importe (€)	% Original	Imp. Original (€)
Total Construcción del Camino		10.534,58		10.534,58
Total Ejecución Camino		2.336,27		2.336,27
%IVA	21,00	405,47	21,00	405,47
%Seguridad por Contingencia	20,00	321,80	20,00	321,80
PEC Construcción del Camino		1.609,00		1.609,00
Total Consultoría		8.198,31		8.198,31
%IVA	21,00	1.422,85	21,00	1.422,85
%Seguridad por Contingencia	20,00	1.129,24	20,00	1.129,24
PEC Consultoría		5.646,22		5.646,22

### Resumen reparaciones

Combinaciones agente-recurso del escenario	Tipo de medida	Importe (€)
Sustancias inorgánicas no biodegradables en Suelo	Reparación primaria	1.326.852,09
	Reparación compensatoria	36.044,88
	Reparación complementaria	0,00
	Subtotal	1.362.896,97



Combinaciones agente-recurso del escenario	Tipo de medida	Importe (€)
Sustancias inorgánicas no biodegradables en Agua subterránea	Reparación primaria	4.700.063,95
	Reparación compensatoria	1.085.264,86
	Reparación complementaria	0,00
	Subtotal	5.785.328,81
Presupuesto Construcción Camino		10.534,58
Total reparación primaria (incluyendo construcción de camino)		6.037.450,62
Total reparación compensatoria (sin incluir construcción de camino)		1.121.309,74
Total reparación complementaria (sin incluir construcción de camino)		0,00
Total reparación		7.158.760,36



**Advisian**

WorleyParsons Group

**Geoalcali**  
**Análisis Cuantitativo de Riesgos**  
**Ambientales (ACRA)**  
Proyecto Mina Muga

**Geoalcali**  
a Highfield Resources  
Company



## **Anexo 5: Análisis de Riesgos de Contaminación Hídrica (CRS)**

---



# Análisis de riesgos de contaminación hídrica

Proyecto Mina Muga

IMA-Informes Medioambientales

 **Colegio Oficial de Ingenieros  
de Minas del Norte**

#### **Diligencia**

Para hacer constar que por el presente visado se ha comprobado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Norte:

I.- La identidad y habilitación profesional del autor del trabajo D. Juan León Coullaut Sáenz de Sicilia colegiado núm. 1062 CE

II.- Que el presente proyecto-trabajo reúne la corrección e integridad formal de la documentación que lo conforma, de acuerdo con la normativa aplicable.

III.- Que el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Norte asumirá en su caso, la responsabilidad subsidiaria a la que hace referencia el Art. 13.3 de la Ley 2/74, de Colegios Profesionales, modificada por la Ley 25/2009, de 22 de diciembre.

Redacción:

**CRS**  
  
**ingeniería**



Revisión	Fecha	Motivo	Preparado	Revisado	Aprobado
0.1		Primera edición	CRS	CRS	CRS
0.2					

Revisión	Cambios Principales	Páginas
----------	---------------------	---------

Palabras Clave	Contaminación hídrica, riesgos, agua, daño, restauración
Descripción	Se realiza un análisis de riesgos de contaminación hídrica de las instalaciones de residuos basado en la norma UNE 15000:2008.
Ubicación en servidor	



## INDICE

<b>0. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1. ZONIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL .....</b>	<b>16</b>
<b>2. ANÁLISIS DE RIESGOS DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS SALINOS EN SITUACIÓN NORMAL Y SOBREVENIDA .....</b>	<b>17</b>
2.1. IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS INICIADORES Y SUS CAUSAS .....	17
2.2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES .....	18
2.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES CAUSANTES DEL DAÑO .....	19
2.4. RECURSOS POTENCIALMENTE AFECTADOS .....	20
2.5. ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES .....	21
2.5.1. Suceso Iniciador 1 Vertido de residuos salinos desde el depósito temporal .....	22
2.5.1.1. Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 1 Vertido de residuos salinos desde depósito temporal.....	22
2.5.1.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	27
2.5.1.3. Conclusiones .....	29
2.5.2. Suceso Iniciador 2 Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal .....	29
2.5.2.1. Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 2 Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal.....	29
2.5.2.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	31
2.5.2.3. Conclusiones .....	34
2.5.3. Suceso Iniciador 3 Vertido de aguas saladas desde el depósito temporal .....	34
2.5.3.1. Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 3 Vertido de aguas saladas desde depósito temporal.....	34
2.5.3.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	36
2.5.3.3. Conclusiones .....	37
2.5.4. Suceso Iniciador 4 Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora.....	37

2.5.4.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 4 Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora .....	37
2.5.4.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	40
2.5.4.3.	Conclusiones .....	40
2.5.5.	Suceso Iniciador 5 Vertido de residuos salinos desde camión .....	40
2.5.5.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 5 Vertido de residuos salinos desde camión.....	40
2.5.5.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	43
2.5.5.3.	Conclusiones .....	44
2.5.6.	Suceso Iniciador 6 Vertido de combustible desde camión .....	44
2.5.6.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 5 Vertido de combustible desde camión.....	44
2.5.6.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	47
2.5.6.3.	Conclusiones .....	47
<b>2.6.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE VOLuMENES .....</b>	<b>48</b>
2.6.1.	Estimación del volumen de residuos salinos desde depósito.....	48
2.6.2.	Estimación del agua salada vertida desde el depósito .....	48
2.6.3.	Estimación del volumen de infiltración .....	48
2.6.4.	Estimación del volumen de vertido desde cinta transportadora .....	49
2.6.5.	Estimación del volumen de vertido de residuo salino desde camión .....	49
2.6.6.	Estimación del volumen de combustible.....	49
<b>2.7.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS ASOCIADAS AL ESCENARIO ACCIDENTAL.....</b>	<b>49</b>
<b>2.8.</b>	<b>evaluación de los riesgos.....</b>	<b>54</b>
<b>2.9.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE MEDIDAS DE REPARACIÓN PRIMARIA.....</b>	<b>56</b>
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGOS DE LAS BALSAS EN SITUACIÓN NORMAL Y SOBREVENIDA .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS INICIADORES Y SUS CAUSAS .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES.....</b>	<b>58</b>
<b>3.3.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES CAUSANTES DEL DAÑO.....</b>	<b>59</b>

<b>3.4.</b>	<b>RECURSOS POTENCIALMENTE AFECTADOS .....</b>	<b>61</b>
<b>3.5.</b>	<b>ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES .....</b>	<b>62</b>
3.5.1.	Suceso Iniciador 7 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento.	62
3.5.1.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 7 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento .....	62
3.5.1.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	65
3.5.1.3.	Conclusiones .....	66
3.5.2.	Suceso Iniciador 8 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique ..	66
3.5.2.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 8 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique.....	66
3.5.2.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	74
3.5.2.3.	Conclusiones .....	76
3.5.3.	Suceso Iniciador 9 Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados .....	76
3.5.3.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 9 Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados .....	76
3.5.3.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	78
3.5.3.3.	Conclusiones .....	79
3.5.4.	Suceso Iniciador 10 Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento.....	79
3.5.4.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 10 Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento.....	79
3.5.4.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	82
3.5.4.3.	Conclusiones .....	83
3.5.5.	Suceso Iniciador 11 Vertido de agua salada desde la balsa de regulación/evaporación por rotura de dique .....	83
3.5.5.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 11 Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique .....	83
3.5.5.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	90
3.5.5.3.	Conclusiones .....	93
3.5.6.	Suceso Iniciador 12 Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación....	93
3.5.6.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 12 Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación.....	93
3.5.6.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	94
3.5.6.3.	Conclusiones .....	95
3.5.7.	Suceso Iniciador 13 Vertido de agua salada desde conducción .....	96

3.5.7.1.	Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 13 Vertido de aguas saladas desde conducción .....	96
3.5.7.2.	Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.....	99
3.5.7.3.	Conclusiones .....	100
<b>3.6.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES.....</b>	<b>100</b>
3.6.1.	Estimación del volumen de agua vertida desde la balsa de lixiviados por desbordamiento 100	
3.6.2.	Estimación del volumen de agua vertida desde la balsa de lixiviados por rotura de dique 101	
3.6.3.	Estimación del volumen de agua vertida desde las balsas de regulación/evaporación por desbordamiento.....	101
3.6.4.	Estimación del volumen de agua vertida desde la balsa de regulación/evaporación por rotura de dique .....	102
3.6.5.	Estimación del volumen de agua de infiltración desde la balsa de regulación/evaporación 102	
3.6.6.	Estimación del volumen de agua de infiltración desde la balsa de lixiviados .....	102
3.6.7.	Estimación del volumen de agua vertida desde conducción.....	103
<b>3.7.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS ASOCIADAS AL ESCENARIO ACCIDENTAL.....</b>	<b>103</b>
<b>3.8.</b>	<b>EVALUACIÓN DE los riesgos.....</b>	<b>105</b>
<b>3.9.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE MEDIDAS DE REPARACIÓN PRIMARIA.....</b>	<b>107</b>
<b>4.</b>	<b>MATRIZ DE RIESGO Y SELECCIÓN DE ESCENARIOS.....</b>	<b>108</b>
<b>5.</b>	<b>MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS.....</b>	<b>110</b>
5.1.	MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS DEL depósito de residuos SALINOS .....	110
5.2.	MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS DE Las balsas de evaporación y/o regulación .....	115
<b>6.</b>	<b>COSTES DE LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL .....</b>	<b>119</b>

## TABLAS

Tabla 0-1. Esquema general de la metodología para el análisis de riesgos según la norma UNE 150008:2008.....	14
Tabla 2-1. Identificación de sucesos iniciadores relativos al depósito temporal .....	17
Tabla 2-2. Definición y codificación de los escenarios accidentales .....	19
Tabla 2-3. Características principales de los agentes causantes del daño. Fuente: fichas de seguridad de las sustancias consideradas .....	20
Tabla 2-4. Recursos potencialmente afectado.....	21
Tabla 2-5. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 1: Vertido de residuos salinos desde depósito temporal.....	26
Tabla 2-6. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	29
Tabla 2-7. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 2: Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal.....	31
Tabla 2-8. Probabilidad de afección al agua subterránea por la infiltración de aguas saladas..	34
Tabla 2-9. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	34
Tabla 2-10. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 3: Vertido de aguas saladas desde depósito temporal.....	36
Tabla 2-11. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales.....	37
Tabla 2-12. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 4: Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora.....	39
Tabla 2-13. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales.....	40
Tabla 2-14. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 5: Vertido de residuos salinos desde camión .....	43
Tabla 2-15. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales.....	44
Tabla 2-16. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 6: Vertido de combustible desde cinta camión .....	47
Tabla 2-17. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales.....	47
Tabla 2-18. Volumen de infiltración en el depósito temporal.....	48
Tabla 2-19. Valores para la cantidad. Fuente UNE 150008:2008 .....	50
Tabla 2-20. Valores para la peligrosidad. Fuente UNE 150008:2008 .....	50
Tabla 2-21. Valores para la extensión. Fuente UNE 150008:2008 .....	50
Tabla 2-22. Valores para la extensión del daño. Fuente: Guía para la realización del Análisis de Riesgos Ambientales en el marco de la Directiva Comunitaria 96/82/CE - (Seveso II) .....	51
Tabla 2-23. Valores para los receptores del entorno natural. Fuente: Cámara de comercio da Madrid. Taller sobre Responsabilidad Ambiental.....	51
Tabla 2-24. Valoración de la gravedad de las consecuencias. Fuente UNE 150008:2008 .....	52
Tabla 2-25. Valoración de la gravedad de las consecuencias de los Escenarios Accidentales relacionados con el depósito temporal.....	53

Tabla 2-26. Evaluación de los riesgos. Fuente UNE 150008:2008 .....	54
Tabla 2-27 Evaluación de los riesgos de los Escenarios Accidentales relacionados con el depósito temporal.....	55
Tabla 3-1. Identificación de sucesos iniciadores relativos al conjunto de balsas del proyecto. .	57
Tabla 3-2. Definición y codificación de los escenarios accidentales .....	59
Tabla 3-3. Características principales de los agentes causante del daño. Fuente: fichas de seguridad de las sustancias consideradas .....	61
Tabla 3-4. Recursos potencialmente afectados.....	61
Tabla 3-5. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 7: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento .....	65
Tabla 3-6. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	66
Tabla 3-7. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 8: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique.....	73
Tabla 3-8. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales. ....	76
Tabla 3-9. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 9: Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados .....	77
Tabla 3-10. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	79
Tabla 3-11. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 10: Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento .....	82
Tabla 3-12. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	83
Tabla 3-13. Probabilidad de ocurrencia del SI 11: Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique.....	90
Tabla 3-14. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	93
Tabla 3-15. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 12: Infiltración de agua salada desde balsas de regulación/evaporación.....	94
Tabla 3-16. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	96
Tabla 3-17. Probabilidad de ocurrencia del SI 13: Vertido de agua salada desde conducción .	99
Tabla 3-18. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales .....	100
Tabla 3-19. Valoración de la gravedad de las consecuencias de los Escenarios Accidentales relacionados con las balsas .....	104
Tabla 3-20 Evaluación de los riesgos de los Escenarios Accidentales relacionados con las balsas .....	106
Tabla 5-1. Medidas preventivas y correctoras aplicables al depósito temporal de residuos salinos .....	115
Tabla 5-2. Medidas preventivas y correctoras aplicables a las balsas de evaporación y/o regulación de aguas saladas.....	118
Tabla 6-1. Coste de la recuperación ambiental del EA-12. Fuente: Aplicación MORA.....	119

## ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1. Matriz de selección de agente causante del daño. Fuente: Guía de usuario de la aplicación mora. ....	19
Ilustración 2-2. Estabilidad de la barrera sur en el caso de vertido de residuos salinos sobre ella (Phase 8.0 de Rockscience) .....	28
Ilustración 3-1. Matriz de selección de agente causante del daño. Fuente: Guía de usuario de la aplicación mora. ....	60
Ilustración 3-2. Perfil de la barrera sur analizado.....	75
Ilustración 3-3. Perfil de la barrera sur analizado.....	92
Ilustración 4-1. Matriz de riesgo .....	108



## 0. INTRODUCCIÓN

En el requerimiento de subsanación del expediente remitido por el MAPAMA, se solicitaba el análisis de los impactos derivados de la posible contaminación de las masas de agua. Para dar respuesta a esta parte del requerimiento, se realiza un análisis de riesgos de las instalaciones de residuos proyectadas centrados en la contaminación hídrica, presentándose en el Anexo IV un Análisis de Riesgos Ambientales del Proyecto Mina Muga en su totalidad y para todos los receptores del potencial daño ambiental.

Para la realización de este análisis, se ha seguido una metodología basada en la descrita en la norma UNE 150008:2008, según lo establecido en el artículo 34 del Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, aprobado por el Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre y modificado por el Real Decreto 183/2015, de 13 de marzo, indica que los análisis de riesgos medioambientales serán realizados por los operadores o un tercero contratado por ellos, siguiendo el esquema establecido por la norma UNE 150.008 u otras normas equivalentes.

Esta metodología consiste en analizar el riesgo ambiental de una organización a partir del peligro asociado a sustancias, procesos, etc., para concluir en unos resultados que permitan la toma posterior de decisiones.

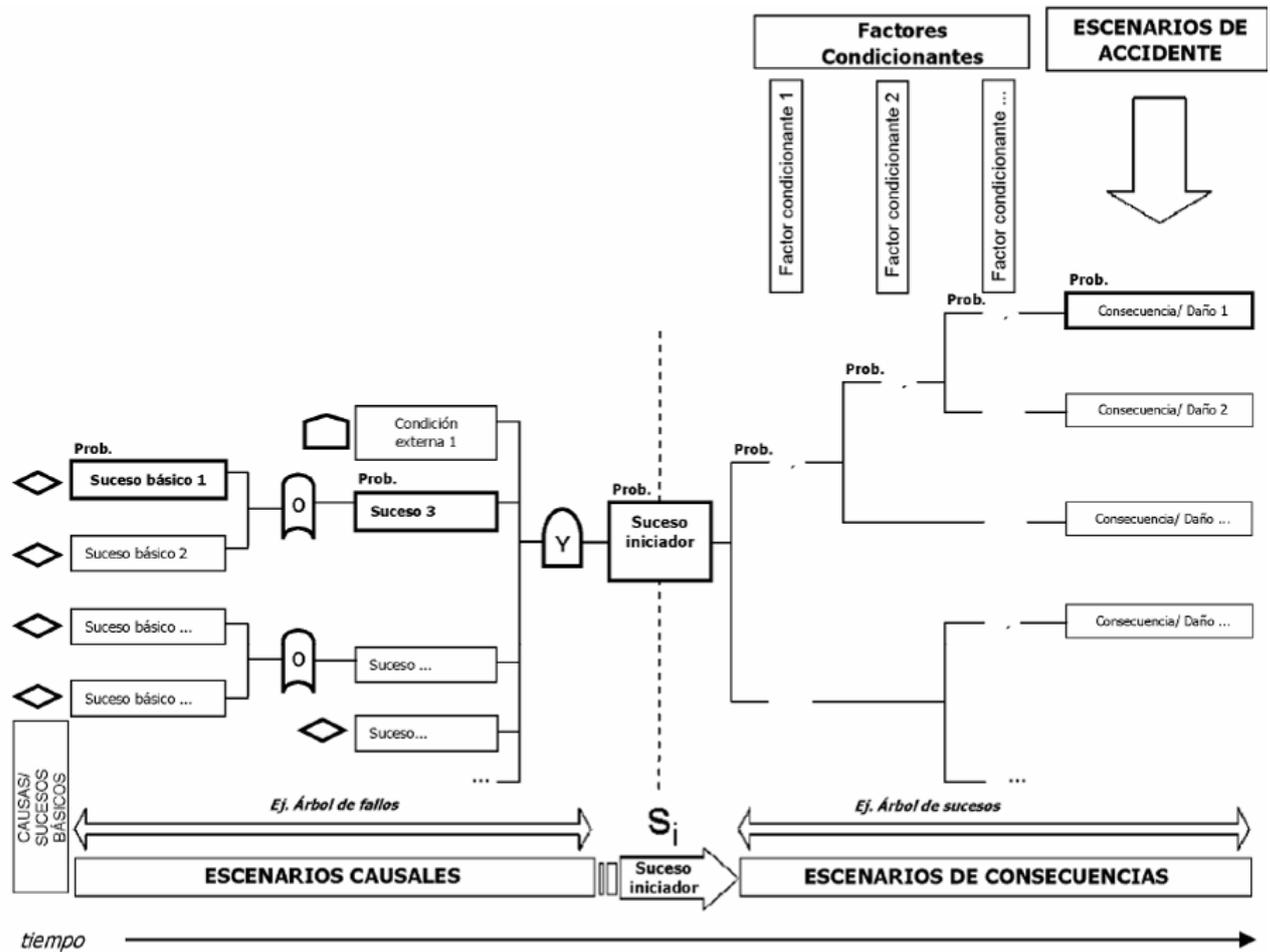


Tabla 0-1. Esquema general de la metodología para el análisis de riesgos según la norma UNE 150008:2008

El análisis de riesgos se realiza contemplando diversos escenarios y servirá de base para proponer las medidas preventivas y correctoras, así como para estimar los costes asociados a la recuperación ambiental.

Para la elaboración de este apartado se han tenido en cuenta los siguientes documentos:

- Proyecto Piloto de Guía Metodológica. Sectores: Minería de sulfuros polimetálicos y minería de sales sódicas y potásicas.
- UNE 150008:2008. Análisis y evaluación del riesgo ambiental.
- Aplicación informática para estimar el IDM (índice de Daño Medioambiental)
- Aplicación informática MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental)
- Guía para la realización del Análisis de Riesgos Ambientales en el marco de la Directiva Comunitaria 96/82/CE - (Seveso II)

El análisis de riesgos desarrollado para este caso ha seguido las siguientes etapas:

- Ø Zonificación desde el punto de vista del riesgo ambiental: Identificación de fuentes de peligro y zonificación.
- Ø Valoración de los daños potenciales asociados a cada zona.
  - Identificación de sucesos indicadores y sus causas.
  - Identificación de factores condicionantes.
  - Identificación de los agentes causantes del daño.
  - Identificación de recursos potencialmente afectados bajo las hipótesis de cada escenario accidental
  - Asignación de probabilidades:
    - Estimación de la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.
    - Estimación de la probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales.
  - Estimación de volúmenes:
    - Estimación del volumen liberado en el suceso iniciador.
    - Estimación del volumen vertido en los escenarios consecuenciales.
  - Cuantificación de los daños asociados a la tipología de escenarios accidentales.
  - Identificación de medidas de reparación primaria
- Ø Cálculo del riesgo asociado a cada escenario
- Ø Propuesta de medidas preventivas y correctoras
- Ø Estimación de los costes de recuperación ambiental

## 1. ZONIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL RIESGO MEDIOAMBIENTAL

Tal y como se ha descrito, el análisis de riesgos se va a realizar sobre las instalaciones de residuos proyectadas con potencial riesgo de contaminación hídrica. Estas instalaciones son el depósito de residuos salinos, las balsas de evaporación (6), las balsas de salmueras (2) y la balsa de lixiviados.

En el desarrollo de un análisis de riesgos es habitual realizar una sectorización del conjunto para unificar zonas cuyos riesgos son similares y simplificar de esta manera el proceso. En este caso se propone considerar dos sectores: depósito de residuos salinos y el conjunto de las balsas.

Dentro de la zonificación de las balsas, se ha considerado dos conjuntos, el primero formado por la balsa de lixiviados y el segundo formado por el resto. Así, se han denominado, balsa de lixiviados y balsa de regulación/evaporación.

Se ha considerado la balsa de lixiviados como elemento diferente porque, al recoger el agua proveniente de la escorrentía del depósito salino, dependerá también del comportamiento de este.

## 2. ANÁLISIS DE RIESGOS DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS SALINOS EN SITUACIÓN NORMAL Y SOBREVENIDA

En este apartado se desarrolla el análisis de riesgos del depósito salino considerando dos situaciones: normal y sobrevenida. Se analizan los escenarios en los que la intensidad del aguacero es influyente o no y se estiman los riesgos para las dos situaciones en los casos en que resulta influyente.

### 2.1. IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS INICIADORES Y SUS CAUSAS

Se entiende por suceso iniciador al hecho físico identificado a partir de un análisis causal que puede generar un incidente o accidente en función de cuál sea su evolución en el espacio y en el tiempo. En las tablas siguientes se recogen tanto las actividades con peligro asociado como las posibles causas que pueden llevar a que se desencadene un suceso iniciador.

ZONA O ACTIVIDAD CON PELIGRO ASOCIADO	CAUSAS	SUCESO INICIADOR	CODIGO
Depósito temporal de residuos salinos	Deslizamiento de materiales por acción sísmica, del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias, etc.	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros	SI-1
	Fallo del sistema de impermeabilización Lluvias	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros	SI-2
	Desbordamiento del sistema de drenaje Lluvias	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros	SI-3
Transporte por cinta	Impacto de objeto móvil Fallo en el sistema de transporte Vuelco Error humano	Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora	SI-4
Transporte por camión	Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.	Vertido de residuos salinos desde camión	SI-5
	Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.	Vertido de combustible desde camión	SI-6
	Rotura del circuito de combustible del camión		

Tabla 2-1. Identificación de sucesos iniciadores relativos al depósito temporal

## 2.2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES

Los factores condicionantes son los aspectos que influyen en el desarrollo de los sucesos iniciadores, definiendo la secuencia de eventos o alternativas posibles que, con una probabilidad determinada, pueden dar lugar a los distintos escenarios accidentales.

Los factores condicionantes que se han considerado para los distintos sucesos iniciadores relativos al depósito temporal son:

- Posibilidad de actuación de la contención proyectada. Se trata de una medida de contención que puede contener el posible vertido desde el depósito temporal. En este caso, se ha considerado la barrera de protección sur, ya que se sitúa aguas abajo del depósito.
- Posibilidad de lluvias extremas: Se valorará la posibilidad de que cada escenario se pueda producir bajo el evento de lluvias extremas y si éstas influyen en el desarrollo del mismo.
- Posibilidad de afección a un cauce. Se valorará la posibilidad de dañar el agua de los cauces y/o infraestructuras cercanas a la instalación.
- Posibilidad de afección a las aguas subterráneas. Se valorará la posible afección a la masa de agua subterránea *09.03 Sinclinal de Jaca-Pamplona.*, situada en la zona.
- Posibilidad de fuertes vientos:
  - Respecto a la balsa de lixiviados: los vientos pueden causar una ola en la lámina de agua que aumente la probabilidad de desbordamiento de la balsa de lixiviados. Para el cálculo de esta balsa se ha tenido en cuenta la dirección e intensidad de los vientos dominantes para calcular la altura de la ola. Con estos datos, se ha diseñado el dique con el fin de evitar que la ola rebose por encima del mismo. Por lo tanto, no se ha considerado que la acción del viento suponga un aumento del riesgo y no se considera como factor condicionante.
  - Respecto al depósito de residuos salinos: el propio comportamiento físico de la sal al ser vertida en el depósito, absorbiendo la humedad y recristalizando evitará la generación de "polvo salino" en los alrededores del mismo. Por lo tanto, en este caso tampoco se considera la acción del viento.

Teniendo en consideración los factores condicionantes expuestos, se han definido los siguientes escenarios accidentales:

ZONA O ACTIVIDAD CON PELIGRO ASOCIADO	CÓDIGO	ESCENARIO ACCIDENTAL
Depósito salino	EA-1a	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación normal)
	EA-1b	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)
	EA-1c	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros y con vertido de materiales hacia la barrera sur
	EA-2a	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación normal)
	EA-2b	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación sobrevenida)
	EA-3a	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros (situación normal)
	EA-3b	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)
Transporte por cinta	EA-4	Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora en el momento de aguacero extremo
Transporte por camión	EA-5	Vertido de residuos salinos desde camión en el momento de aguacero extremo
	EA-6	Vertido de combustible desde camión

Tabla 2-2. Definición y codificación de los escenarios accidentales

### 2.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES CAUSANTES DEL DAÑO

Para poder determinar el tipo de agente acusante del daño, se utiliza la siguiente matriz:

Agente causante de daño	El agente lleva asociado un umbral de toxicidad	El agente no es una sustancia explosiva	Agente orgánico	$P_E < 325\text{ }^\circ\text{C}$	$P_E < 100\text{ }^\circ\text{C}$	El agente contiene elementos halógenos	<b>Daños por COV halogenados</b>
					$P_E < 100\text{ }^\circ\text{C}$	El agente no contiene elementos halógenos	<b>Daños por COV no halogenados</b>
					$P_E > 100\text{ }^\circ\text{C}$	El agente contiene elementos halógenos	<b>Daños por COSV halogenados</b>
						El agente no contiene elementos halógenos	<b>Daños por COSV no halogenados</b>
				$P_E > 325\text{ }^\circ\text{C}$	Fuel	<b>Daños por fueles</b>	
	Otras sustancias	<b>Daños por compuestos orgánicos no volátiles (CONV)</b>					
			Agente inorgánico	<b>Daños por sustancias inorgánicas</b>			
		El agente es una sustancia explosiva	<b>Daños por sustancias explosivas</b>				
	El agente no lleva asociado un umbral de toxicidad	Agentes físicos	<b>Daños por extracción o desaparición del recurso natural</b>				
			<b>Daños por vertido de inertes</b>				
<b>Daños por incremento de la temperatura</b>							
Incendio		<b>Daños por incendio</b>					
Agentes biológicos		<b>Daños por organismos modificados genéticamente</b>					
		<b>Daños por especies exóticas invasoras</b>					
		<b>Daños por virus y bacterias</b>					
	<b>Daños por hongos e insectos</b>						

Ilustración 2-1. Matriz de selección de agente causante del daño. Fuente: Guía de usuario de la aplicación mora.

El depósito temporal de residuos mineros está compuesto en su mayor parte por NaCl y, en menor proporción, por las colas de flotación o tailings. Estas colas de flotación están compuestas casi en su totalidad de NaCl, con restos de CaSO<sub>4</sub> y KCl principalmente.

Por lo tanto, se puede decir que el agente causante del daño es NaCl. Además, para el caso del transporte por camión y derrame de combustible, será este el agente causante del daño. Por último, para el caso de las aguas de escorrentía e infiltración del depósito, se considera que el agente causante del daño es NaCl disuelto en sal, es decir, agua salada.

En resumen, tenemos dos agentes causantes del daño que se clasifican así:

- NaCl: Agente químico inorgánico no biodegradable.
- Agua salada, es decir, un agente químico no biodegradable. La concentración de cloruros del agua contenida en las balsas de lixiviados será de un máximo 359 g/L (solubilidad máxima del NaCl en agua a 20°C).
- Combustible de los camiones: Fuel

Las características principales del agente causante del daño que serán necesarios para evaluar el daño ambiental causado se incluyen en la siguiente tabla:

AGENTE	CARACTERÍSTICA	
NaCl	Degradabilidad	No biodegradable
	Solubilidad en agua 20°C	36g/100 ml
	PE	1465°C
	Volatilidad	Baja (PE >325°C)
Agua salada	Degradabilidad	No biodegradable
	Solubilidad en agua 20°C	Soluble
	PE	>100°C
	Volatilidad	Media
Fuel	Degradabilidad	Baja
	Solubilidad en agua 20°C	Muy baja
	PE	250-360°C
	Volatilidad	Baja

Tabla 2-3. Características principales de los agentes causantes del daño. Fuente: fichas de seguridad de las sustancias consideradas

## 2.4. RECURSOS POTENCIALMENTE AFECTADOS

En el presente análisis de riesgos, solo se han considerado como recursos afectados las aguas superficiales y subterráneas. Así, para cada escenario accidental, se considera que se puede afectar a los siguientes recursos:

CÓDIGO	ESCENARIO ACCIDENTAL	RECURSO AFECTADO
EA-1a	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación normal)	Aguas superficiales y subterráneas
EA-1b	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)	Aguas superficiales y subterráneas
EA-1c	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros y con vertido de materiales hacia la barrera sur	Aguas superficiales y subterráneas
EA-2a	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación normal)	Aguas subterráneas
EA-2b	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación sobrevenida)	Aguas subterráneas
EA-3a	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros (situación normal)	Aguas superficiales y subterráneas
EA-3b	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)	Aguas superficiales y subterráneas
EA-4	Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora en el momento de aguacero extremo	Aguas superficiales y subterráneas
EA-5	Vertido de residuos salinos desde camión en el momento de aguacero extremo	Aguas superficiales y subterráneas
EA-6	Vertido de combustible desde camión	Aguas superficiales y subterráneas

Tabla 2-4. Recursos potencialmente afectado

## 2.5. ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES

Una vez identificados los sucesos Inicidores se les debe asignar una probabilidad de ocurrencia. Se va a realizar un cálculo de la probabilidad en términos semicuantitativos, mediante la identificación, selección y categorización de una serie de variables que son determinantes de la probabilidad de ocurrencia de cada suceso iniciador. A estas variables se les denomina estimadores de probabilidad.

A estos estimadores se les otorga una escala numérica y la probabilidad del suceso iniciador será la media aritmética de los valores que obtengan los diferentes estimadores dividido por el valor de puntuación máximo que puedan obtener.

En el caso de tener factores condicionantes, se calculará la probabilidad combinada, obteniendo una nueva probabilidad de ocurrencia para cada Escenario Accidental. Esta probabilidad obtenida se ha de reclasificar a una escala de 1 a 5 para poder utilizarla en la evaluación de los riesgos utilizando para ello la metodología propuesta en la norma UNE 150008:2008.

Si la probabilidad de un Escenario Accidental es tan baja que se puede considerar prácticamente improbable, este escenario no se considerará en el análisis de riesgos posterior. Se ha considerado como probabilidad límite un 2%, por debajo de esta probabilidad, no se realiza el análisis de riesgos.

### 2.5.1. SUCESO INICIADOR 1 VERTIDO DE RESIDUOS SALINOS DESDE EL DEPÓSITO TEMPORAL

#### *2.5.1.1. Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 1 Vertido de residuos salinos desde depósito temporal*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *Si Vertido de residuos salinos desde depósito temporal* se han utilizado los siguientes estimadores:

##### *Ø Auscultación hidráulica*

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los parámetros hidráulicos del depósito, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento propiciado por una deficiente auscultación hidráulica.

De este modo, se estima que si no se realiza una auscultación adecuada de los parámetros hidráulicos del depósito habrá una mayor probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del depósito que si se realiza una auscultación hidráulica excelente.

##### *Ø Auscultación tensional y deformacional*

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de las tensiones y movimientos del depósito, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento propiciado por una auscultación tensional y deformacional realizada de forma deficiente.

De esta forma, se estima que si no se realiza una auscultación tensional y deformacional adecuada del depósito habrá una mayor probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura que si se realiza adecuadamente dicha auscultación.

##### *Ø Auscultación sísmica*

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de las vibraciones que afectan al depósito, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento propiciado por una auscultación sísmica insuficiente o inexistente.

De este modo, se estima que, si no se realiza una auscultación sísmica adecuada del depósito, habrá una mayor probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del mismo que si se realiza adecuadamente este tipo de auscultación.

#### Ubicación en zona sísmica

Con este estimador se tiene en cuenta la ubicación o no del depósito en una zona sísmica.

El hecho de que el depósito esté construido en una zona sísmica aumentará la probabilidad de ocurrencia de vertido por rotura del depósito, ya que los sismos pueden provocar procesos de licuefacción que facilitan los deslizamientos de materiales que podrían causar la rotura del depósito.

#### Plan de mantenimiento

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento de las condiciones del depósito. De esta forma, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento disminuye la probabilidad de que el depósito se rompa y produzca un vertido.

#### Frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia

Con este estimador se valora si la frecuencia de los controles de la infiltración de agua de lluvia en el depósito es superior a la indicada por la normativa.

Si la infiltración del agua de lluvia no se controla adecuadamente, se pueden generar inestabilidades en los materiales que forman el depósito que pueden producir deslizamientos de materiales.

De esta forma, se estima que, si la frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia es superior a la mínima indicada por la normativa, la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura del depósito será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

#### Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control

El estimador se refiere al establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación del depósito.

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución de todos los controles o sensores de la auscultación del depósito, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan. Estos niveles de alerta y alarma deben ser definidos por un equipo de técnicos altamente cualificado que, además haya analizado previamente el comportamiento del depósito.

De esta forma, se estima que el establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control de los parámetros de auscultación del depósito disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura.

🌀 Revisiones de las condiciones del depósito por observación directa

Este estimador tiene en cuenta que las revisiones de las condiciones del depósito sean realizadas por observación directa por parte de personal responsable de la vigilancia del mismo.

La observación directa de las condiciones del depósito valora positivamente, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de un vertido, frente a la centralización y automatización de la auscultación que no debe sustituir nunca la observación directa por parte del personal responsable.

🌀 Coeficiente de seguridad

Mediante este estimador se tiene en cuenta el coeficiente de seguridad con el que se ha diseñado y construido el depósito.

El factor de seguridad exigido por Ley viene establecido en la ITC 08.02.01, dado que era la normativa de aplicación para este tipo de depósitos hasta que el RD 975/2009 entró en vigor y dado que en dicho Real Decreto no se dan estos valores. Así, se establecen los siguientes valores, dependiendo de tres tipos de solicitudes:

TIPO DE SOLICITACIÓN FACTOR DE SEGURIDAD	Normal	Accidental	Extrema
	1,2	1,3	1,4

De esta forma, si el depósito se construye con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la Ley se le atribuirá una mayor probabilidad de ocurrencia de vertido por rotura que si fue construido con un coeficiente de seguridad significativamente mayor que el exigido por la Ley.

🌀 Sistema de drenaje

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones internas y/o externas al depósito que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier infiltración que pueda comprometer la estabilidad del mismo. Mediante este estimador se valora la existencia o no de un sistema de drenaje en el depósito, de este modo, si el depósito dispone de un sistema de drenaje la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura será menor que si no se dispone de dicho sistema.

🌀 Pendiente máxima del depósito

Este estimador tiene en cuenta la pendiente del talud del depósito expresada mediante el porcentaje (%).

A mayor pendiente el talud del depósito tendrá mayor propensión a sufrir deslizamientos de materiales que pueden provocar la rotura del mismo. De esta forma, se estima que si el talud exterior tiene un ángulo que coincide con el ángulo de reposo del material que lo conforma la

probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del dique será mayor que si el talud tiene un ángulo menor, disminuyendo la probabilidad según disminuye este ángulo.

🍃 Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del depósito, valora la posibilidad de la rotura del mismo debido a la ocurrencia de lluvias.

La ocurrencia de lluvias aumenta la infiltración de agua en los materiales, incrementando así el nivel freático y la presión intersticial que pueden producir inestabilidades estructurales que favorecen los deslizamientos en los materiales llegando incluso a producir la rotura del mismo.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por rotura del dique será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

Así, la probabilidad de ocurrencia del SI 1 es:

DEPÓSITO TEMPORAL						
Suceso iniciador 1: Vertido de residuos salinos desde depósito temporal	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				
Causas		1	2	3	4	Puntos
Deslizamiento de materiales por acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias, etc.	Auscultación hidráulica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/no se realiza	2
	Auscultación deformacional y tensional	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/no se realiza	2
	Auscultación sísmica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/no se realiza	2
	Ubicación del depósito en zona sísmica	No			Sí	1
	Plan de mantenimiento del depósito	Excelente	Adecuada	Suficiente	Deficiente/Inexistente	2
	Control periódico de la infiltración de agua de lluvia	Sí			No	1

DEPÓSITO TEMPORAL						
Suceso iniciador 1: Vertido de residuos salinos desde depósito temporal	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación del depósito	Sí			No	1
	Revisiones de las condiciones del depósito por observación directa del personal responsable de la vigilancia del mismo	Sí			No	1
	Coefficiente de seguridad	Mayor que 2	Entre 1,4 y 2	Entre 1,2 y 1,4	Menor que 1,2	2
	Sistema de drenaje	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2
	Pendiente máxima del depósito (%)	Menor del 35%	Entre el 35 y 50 %	Entre el 50% y el ángulo de reposo de los materiales	El ángulo de la pendiente máxima coincide con el ángulo de reposo del material	1
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2
	<b>Suma Puntos</b>					<b>19</b>
	<b>Nº Estimadores</b>					<b>12</b>
	<b>Puntuación Máxima</b>					<b>4</b>
	<b>Probabilidad SI</b>					<b>0,40</b>

Tabla 2-5. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 1: Vertido de residuos salinos desde depósito temporal

En la tabla anterior se obtiene una probabilidad de caída de 0,40. Para completar este dato, se han realizado diversos estudios de estabilidad utilizando para ello dos programas: Phase 8.0. y Slide de Rockscience. Estos estudios arrojan unos resultados muy positivos respecto a la estabilidad del depósito por lo que esta probabilidad, considerando la situación de lluvias normales, se va a reducir en un 80%. En el estudio de estabilidad del depósito temporal completo, incluido en el proyecto básico incluido del documento, se obtiene una probabilidad de caída mínima.

### 2.5.1.2. *Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales*

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el *SI 1 Vertido de residuos salinos desde depósito temporal*.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias normales

La ocurrencia de un episodio de lluvias normales supone un mayor riesgo de que se produzca un fallo en el depósito debido a la infiltración de agua que puede provocar inestabilidades. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio normal el que tiene como periodo de retorno 2 años.

La probabilidad de ocurrencia durante la vida del proyecto (2 años de construcción y 18 de operación) de un episodio de lluvias con un periodo de retorno de dos años, se calcula la probabilidad de que ese evento no ocurra. Así, la probabilidad de que ocurra durante un año es de 0,5.

Por lo tanto, la probabilidad de que no ocurra durante un año es de 0,5. La probabilidad de que el evento no ocurra durante los 20 años del proyecto es de  $0,5^{20}$ . Por lo tanto, la probabilidad de que si ocurra ese evento es de  $1-0,5^{20}$ , de donde se deduce que la probabilidad de ocurrencia de un aguacero con periodo de retorno de 2 años es de 0,99.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

Se considera un episodio extremo el que tiene como periodo de retorno de 100 años.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

○ Probabilidad de actuación de la contención

Con este factor condicionante se evalúa la posibilidad de que actúe un sistema que contenga de forma automática el vertido de residuos salinos sin la necesidad de que haya personal presente.

En el caso del depósito, esta contención la constituye la barrera protección sur realizada con materiales inertes. Para estimar la probabilidad de que esta contención resista el peso de los materiales vertidos, se ha modelizado esa situación con el programa Phase 8 de Rockscience.

En primer lugar, se ha estimado el volumen de residuos salinos vertido. Para ello se ha calculado el círculo de rotura utilizando el Slide de Rockscience. Así, se ha estimado que, en el peor de los casos, se podrían llegar a verter unos 607.000 m<sup>3</sup> (850.000 t). Simulando que el peso de estos residuos que cae sobre la barrea sur, se ha obtenido que esta se deslizaría unos metros pero que aguantaría el peso y no se rompería. Tal y como se muestra en la siguiente figura, la probabilidad de fallo de la barrera es del 0%, lo que implica que la contención será efectiva en el 100% de los casos.

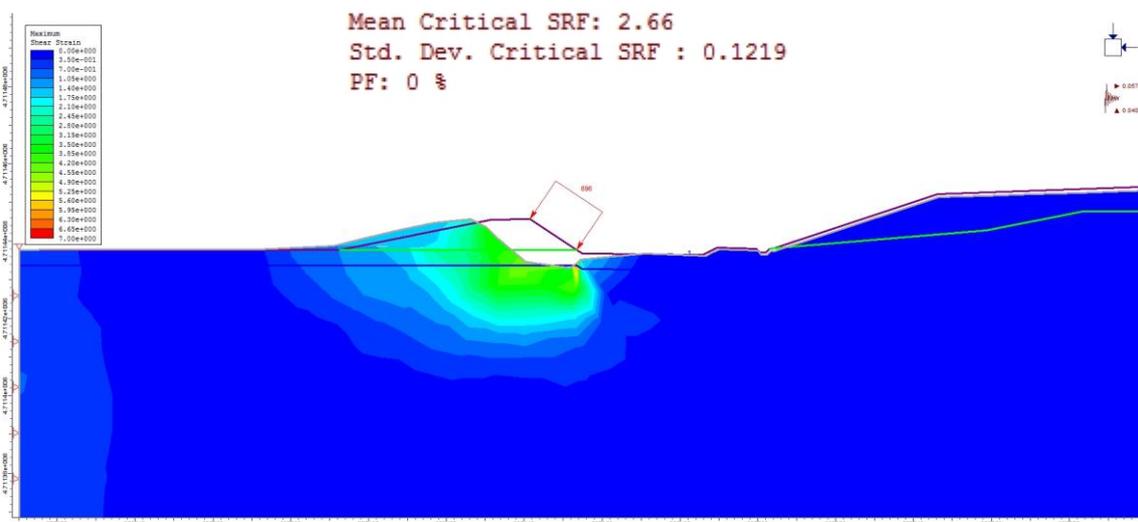


Ilustración 2-2. Estabilidad de la barrera sur en el caso de vertido de residuos salinos sobre ella (Phase 8.0 de Rockscience)

Sin embargo, si el depósito pierde su estabilidad, no necesariamente tiene que ser en su talud sur y/o este, taludes que verterían material sobre la barrera sur. Por lo tanto, la probabilidad de que el depósito rompa por uno de estos taludes es del 0,25.

○ Probabilidad de afección a los cauces

La posibilidad de afección a los cauces se evalúa considerando los meses en que circula agua por el curso. Así, se estima que la acequia madre llevará agua siempre por lo que siempre podrá afectarse. Por otro lado, el Arroyo del Solano contiene un caudal continuo durante la época de estiaje por lo que también podrá ser afectado los 12 meses del año. Por lo tanto, en

el caso de que se rompa el depósito y este rompa a la barrera sur, la probabilidad de afección a cauces es del 100%.

### 2.5.1.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-1 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-1A	Vertido de residuos salinos desde depósito temporal (situación normal)	0,078 (0,08*0,990)	0,39 (1)
EA-1B	Vertido de residuos salinos desde depósito temporal (situación sobrevenida)	0,014 (0,078*0,18)	0,07 (0)
EA-1C	Vertido de residuos salinos en situación sobrevenida y con vertido de materiales hacia la barrera sur	0,004 (0,078*0,18*0,25)	0,02 (0)

Tabla 2-6. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

## 2.5.2. SUCESO INICIADOR 2 INFILTRACIÓN DE AGUAS SALADAS DESDE DEPÓSITO TEMPORAL

### 2.5.2.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 2 Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal* se han utilizado los siguientes estimadores:

- Permeabilidad del terreno bajo el depósito

Con este estimador se tiene en cuenta la permeabilidad del terreno ya que, en caso de rotura de la impermeabilización proyectada, influye en la posible infiltración.

De este modo, se estima que, a menor permeabilidad del terreno, menor probabilidad de infiltración.

- Impermeabilización adecuada

Con este estimador se tiene en cuenta si la impermeabilización proyectada del vaso del depósito es adecuada.

De esta forma, una correcta impermeabilización supondrá una menor probabilidad de infiltración que una mala impermeabilización.

- Sistema de drenaje

Este estimador hace referencia a la disposición en el depósito de un sistema de drenaje que ayude a recoger lixiviados, impidiendo que estos puedan infiltrarse en el terreno.

Así, un mejor sistema de drenaje se traduce en una menor probabilidad de infiltración.

○ Plan de mantenimiento del sistema de drenaje

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje. De esta forma, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento disminuye la probabilidad de que se produzcan infiltraciones.

○ Revisiones del sistema de drenaje

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de drenaje. Así, estas revisiones disminuirán el riesgo de infiltración.

○ Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de la infiltración, valora la posibilidad de que, al aumentar el agua en el interior del depósito, aumente la probabilidad de que llegue a su base y pueda infiltrar.

Así, a mayor precipitación, mayor probabilidad de infiltración por los materiales del depósito y que el agua llegue a la base e infiltre.

Así, la probabilidad de ocurrencia del SI 2 es:

DEPÓSITO TEMPORAL						
Suceso iniciador 2: Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Fallo del sistema de impermeabilización Lluvias	Permeabilidad del terreno bajo el depósito	Baja	Media/baja	Media/alta	Alta	1
	Impermeabilización adecuada del depósito en su construcción	Si y su vida útil cubre la vida del depósito	Si, pero su vida útil cubre más de la mitad de la vida del depósito, pero no su totalidad	Si, pero su vida útil cubre menos de la mitad de la vida del depósito	No	1
	Sistema de drenaje	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2

DEPÓSITO TEMPORAL						
Suceso iniciador 2: Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Se dispone de un plan de mantenimiento			No se dispone de un plan de mantenimiento	1
	Revisiones del sistema de drenaje	Sí se realizan revisiones			No se realizan revisiones	1
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2
					<b>Suma Puntos</b>	<b>7</b>
					<b>Nº Estimadores</b>	<b>6</b>
					<b>Puntuación Máxima</b>	<b>4</b>
					<b>Probabilidad SI</b>	<b>0,29</b>

Tabla 2-7. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 2: Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal

### 2.5.2.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el SI 2 *Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal*

- Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Con el objetivo de evaluar la probabilidad de que el agente causante del daño afecte al agua subterránea, pueden considerarse los siguientes estimadores.

- **Presencia de un acuífero**

La existencia de una masa de agua subterránea en la posible zona de influencia del foco emisor de la contaminación es determinante para evaluar la probabilidad de que ésta pueda verse afectada bajo las hipótesis de cada escenario accidental.

➤ **Permeabilidad del suelo**

La permeabilidad del terreno es un parámetro en base al cual se podría estimar la infiltración del vertido en el suelo, obteniéndose un estimador de la probabilidad de que el agua subterránea se vea afectada.

➤ **Nivel piezométrico**

Los niveles piezométricos someros implican una probabilidad relativamente superior de que un hipotético vertido o infiltración contacte con el agua subterránea.

➤ **Movilidad y afinidad de la sustancia vertida/infiltrada**

La movilidad (solubilidad, viscosidad, etc.) de los contaminantes en el suelo y el agua subterránea provoca que el daño se extienda, pudiendo llegar a afectar al agua subterránea. Igualmente, la consideración de la afinidad del agente causante del daño, mediante los coeficientes de partición o de reparto, permite evaluar cómo se repartiría la sustancia vertida entre los diferentes vectores y receptores de la contaminación.

➤ **Hidrodinámica de la masa de agua**

El conocimiento del funcionamiento del acuífero (mecanismos de recarga y descarga, dirección de flujo subterráneo, etc.) permite estudiar si un vertido se produce en una zona de recarga del acuífero, y la evolución que tendrá éste debido a las direcciones del flujo subterráneo, tendiendo a difundirse o a permanecer localizado. Estos parámetros podrán ser utilizados como estimadores de la probabilidad de afección al agua subterránea.

Este parámetro contempla la existencia de acuíferos libres, confinados y semiconfinados y su influencia en la atenuación en la trayectoria del agua hacia las zonas saturadas.

➤ **Gradiente hidráulico**

Este estimador tiene en cuenta el gradiente hidráulico del acuífero, expresado mediante la relación entre la diferencia de altura entre las isopiezas y la distancia que las separa.

De esta forma, y tal y como se propone en la tabla de causas y estimadores, se estima que un acuífero cuyo gradiente sea bajo, tendrá mayor probabilidad de ser afectado ante un agente contaminante, ya que le permite desplazarse más lentamente hacia zonas de descarga.

➤ **Perfil litológico y geometría del acuífero**

La presencia de horizontes impermeables entre la superficie y la masa de agua subterránea como unas barreras naturales al paso de los contaminantes y la geometría del acuífero podrán ser tenidos en cuenta como estimadores de la probabilidad de afección a este recurso.

➤ **Características hidrogeológicas**

Se considera que una elevada transmisividad, implica una mayor probabilidad de que el vertido afecte a al agua subterránea. Además, otras características hidrogeológicas del acuífero como la capacidad de almacenamiento, el gradiente hidráulico y la difusividad podrán ser tenidas en cuenta para la estimación de la probabilidad de afección al agua superficial.

➤ **Calidad del agua subterránea**

La normativa exige que, en caso de producirse un daño, los recursos naturales sean devueltos a su estado original o estado básico. Por este motivo, sería deseable conocer cuál es el estado original de los recursos y evaluar cómo podría verse alterado bajo las hipótesis de accidente que se contemplen.

En este caso la calidad del agua subterránea se podría medir en términos de pH, conductividad, temperatura, componentes mayoritarios, contaminantes presentes, etc.

En la siguiente tabla se resume cada uno de los estimadores propuestos con el fin de evaluar la probabilidad de que el agente causante del daño afecte de manera relevante al agua subterránea.

AGUAS SUBTERRÁNEAS						
Afección de aguas subterráneas por aguas saladas	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Afección al agua subterránea	Presencia de acuífero	No			Sí	4
	Permeabilidad de suelo	Impermeable	Baja permeabilidad	Permeabilidad media	Permeabilidad alta	2
	Nivel piezométrico	Nivel piezométrico profundo (>25 m)	Nivel piezométrico medio (15-25 m)	Nivel piezométrico somero (5-15 m)	Nivel piezométrico superficial (<5m)	3
	Movilidad de la sustancia vertida/infiltrada	Nula	Baja	Media	Alta	4
	Hidrodinámica de la masa de agua	Zona de descarga	Próximo a zona de descarga	Próximo a punto de recarga, recarga indirecta	Próximo a punto de recarga, recarga directa	2
	Perfil litológico y geometría del acuífero	Acuífero confinado	Acuífero semi-confinado entre capas impermeables	Acuífero semi-confinado entre capas de menor	Acuífero Libre	3

AGUAS SUBTERRÁNEAS						
Afección de aguas subterráneas por aguas saladas	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
				permeabilidad		
	Gradiente hidráulico	>0,2	0,1-0,2	0,05-0,1	0,05	4
	Calidad del agua subterránea	Muy mala	Mala	Media	Buena	4
	Características hidrogeológicas	Nula transmisividad, nulo almacén	Nula transmisividad, buen almacén	Transmisividad baja, buen almacén	Elevada transmisividad, buen almacén	3
	<b>Suma Puntos</b>					<b>29</b>
	<b>Nº Estimadores</b>					<b>9</b>
	<b>Puntuación Máxima</b>					<b>4</b>
	<b>Probabilidad SI</b>					<b>0,81</b>

Tabla 2-8. Probabilidad de afección al agua subterránea por la infiltración de aguas saladas

### 2.5.2.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-2 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-2a	Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal (situación normal) con contaminación a aguas subterráneas	0,260 (0,32*0,81)	1,30 (2)
EA-2a	Infiltración de aguas saladas desde depósito temporal (situación sobrevenida) con contaminación a aguas subterráneas	0,047 (0,32*0,81*0,18)	0,23 (1)

Tabla 2-9. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

### 2.5.3. SUCESO INICIADOR 3 VERTIDO DE AGUAS SALADAS DESDE EL DEPÓSITO TEMPORAL

#### 2.5.3.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 3 Vertido de aguas saladas desde depósito temporal*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de aguas saladas desde depósito temporal* se han utilizado los siguientes estimadores:

☐ Sistema de drenaje

Este estimador hace referencia a la disposición en el depósito de un sistema de drenaje que ayude a recoger las aguas de escorrentía, impidiendo que estas lleguen al terreno sin afectar por el depósito.

Así, un mejor sistema de drenaje se traduce en una menor probabilidad de vertido de aguas saladas por desbordamiento.

☐ Plan de mantenimiento del sistema de drenaje

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje. De esta forma, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento disminuye la probabilidad de que se produzcan desbordamientos del sistema de drenaje.

☐ Revisiones del sistema de drenaje

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de drenaje. Así, estas revisiones disminuirán el riesgo de desbordamiento.

☐ Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento del sistema de drenaje, valora la posibilidad de que el sistema de drenaje tenga la capacidad suficiente para recoger todas las aguas de lluvia y de escorrentía del depósito.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde el sistema de drenaje por desbordamiento será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

Así, la probabilidad de ocurrencia del SI 3 es:

DEPÓSITO TEMPORAL						
Suceso iniciador 3: Vertido de aguas saladas desde depósito temporal	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Desbordamiento del sistema de drenaje  Lluvias normales	Sistema de drenaje	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Se dispone de un plan de mantenimiento			No se dispone de un plan de mantenimiento	1

DEPÓSITO TEMPORAL						
Suceso iniciador 3: Vertido de aguas saladas desde depósito temporal	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Revisiones del sistema de drenaje	Si se realizan revisiones			No se realizan revisiones	1
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2
<b>Suma Puntos</b>						<b>6</b>
<b>Nº Estimadores</b>						<b>4</b>
<b>Puntuación Máxima</b>						<b>4</b>
<b>Probabilidad SI</b>						<b>0,38</b>

Tabla 2-10. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 3: Vertido de aguas saladas desde depósito temporal

### 2.5.3.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de desbordamiento del sistema de drenaje. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias.

El sistema de drenaje del proyecto está diseñado considerando grandes aguaceros, por lo tanto, no es necesario considerar la situación de lluvias normales ya que está considerada en el diseño. Por ello, para estimar la probabilidad de desbordamiento se tendrá en cuenta la probabilidad de ocurrencia del aguacero con periodo de retorno de 500 años. A continuación, se describe la estimación de probabilidad del citado aguacero.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/500)^{20}$ , es decir, de 0,039.

### 2.5.3.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-3 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-3	Vertido de aguas saladas desde depósito temporal	0,015 (0,38*0.039)	0,07 (0)

Tabla 2-11. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales

### 2.5.4. SUCESO INICIADOR 4 VERTIDO DE RESIDUOS SALINOS DESDE CINTA TRANSPORTADORA

#### 2.5.4.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 4 Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora* se han utilizado los siguientes estimadores:

##### **☉ Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los empleados a cargo de los sistemas de transporte valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano que pueda originar un vertido de materiales.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

##### **☉ Formación de los empleados a cargo del sistema de transporte**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta la posibilidad de un error humano.

Mediante esta variable se estima que, si los empleados a cargo del sistema de transporte han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de vertido debido a un error humano será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

##### **☉ Antigüedad del sistema de transporte**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad del sistema de transporte influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad del sistema mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

De cara a categorizar este estimador será útil considerar la vida útil de los dispositivos que conforman el sistema, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada curva de bañera, asumiendo que los equipos han superado la primera etapa de fallos iniciales

o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

**Planes de inspección y mantenimiento del sistema de transporte**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de transporte, valorando así la posibilidad de un fallo en dicho sistema.

Se entiende por mantenimiento correctivo al que es efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. Por otro lado, el mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares —horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas—

De esta forma, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de transporte y cuya aplicación periódica es registrada, tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de materiales, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

**Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en las zonas colindantes a los sistemas de transporte de materiales, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de materiales.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido de materiales desde otros sistemas de transporte de materiales que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización.

Así, la probabilidad de ocurrencia estimada es la siguiente:

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA TRANSPORTADORA						
Suceso iniciador 4: Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
		1	2	3	4	
Causas						
Impacto de objeto móvil	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Más de 5 años	De 3 a 5 años	De 1 a 3 años	Menos de 1 año	2
Fallo en el sistema de transporte						

TRANSPORTE MEDIANTE CINTA TRANSPORTADORA						
Suceso iniciador 4: Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Vuelco	Formación de los empleados a cargo de la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones		Los empleados reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación, pero no se actualiza cuando cambian las condiciones	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación.	1
	Antigüedad del sistema	Inferior al 33 % de su vida útil	Entre el 33 % y el 66 % de su vida útil	Superior al 66 % de su vida útil	Superior a su vida útil	1
	Planes de inspección y mantenimiento del sistema	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello.	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante, pero no hay registro de todo ello.	Se aplica un plan de mantenimiento de acuerdo a mínimos del fabricante, pero no se hacen revisiones periódicas	Solo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas	1
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada	1
					<b>Suma Puntos</b>	<b>6</b>
					<b>Nº Estimadores</b>	<b>5</b>
					<b>Puntuación Máxima</b>	<b>4</b>
					<b>Probabilidad SI</b>	<b>0,30</b>

Tabla 2-12. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 4: Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora

2.5.4.2. *Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales*

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

En este caso, para que exista afección a las aguas, es necesario que esté lloviendo abundantemente en el momento de producirse el accidente puesto que se trata de una sustancia sólida que no afectará al agua a menos que sea disuelta.

Se considera que el vertido será retirado del suelo en el momento de producirse por lo que no estará más de media hora en el lugar de vertido. Por este motivo, se considera que debe de ser un aguacero abundante en el que se esté produciendo justo en ese momento.

La probabilidad de que ocurra ese aguacero en un año se calcula según la metodología expuesta en apartados anteriores. Considerando que el proyecto dura 20 años, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

Por lo tanto, la probabilidad de que ese evento se produzca justo esa media hora será mucho menor, en concreto se ha estimado en 0,01.

2.5.4.3. *Conclusiones*

Según todo lo expuesto, del SI-4 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-4	Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora en el momento de aguacero extremo	0,003 (0,30*0,01)	0,02 (0)

Tabla 2-13. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales

2.5.5. SUCESO INICIADOR 5 VERTIDO DE RESIDUOS SALINOS DESDE CAMIÓN

2.5.5.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 5 Vertido de residuos salinos desde camión*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del SI Vertido de residuos salinos desde camión se han utilizado los siguientes estimadores:

**Ø Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los conductores de los camiones valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los mismos, que pueda originar un accidente de tráfico y a su vez un vertido de materiales.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados en la conducción disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

#### **o Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa del suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que, si los conductores han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

#### **o Antigüedad de los camiones**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los camiones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de los camiones, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales debido a un accidente de tráfico.

De cara a categorizar este estimador será interesante considerar la vida útil de los camiones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada curva de bañera, asumiendo que los camiones han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

#### **o Planes de inspección y mantenimiento de los camiones**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones, valorando así la posibilidad de un fallo mecánico.

Se entiende por mantenimiento correctivo al que es efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. Por otro lado, el mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares —horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas—.

De esta forma, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones y cuya aplicación periódica es registrada, tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de materiales, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

#### **o Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una

señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de materiales ocasionado por un accidente de tráfico.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido de materiales que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización.

**Pendiente máxima del recorrido**

Con este estimador se tiene en cuenta la pendiente máxima, medida en porcentaje, del recorrido que realizan los camiones en la instalación.

De esta forma, se ha estimado que a mayor pendiente máxima la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales debido a un accidente de tráfico será mayor, ya que un trayecto con mayor pendiente se considera más propenso a la ocurrencia de un accidente de tráfico.

**Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido**

Este estimador se refiere a la distancia mínima a la que los conductores tienen visibilidad en todo el recorrido efectuado por los camiones en la instalación.

De tal forma, se ha estimado que cuanto menor sea la visibilidad en el itinerario recorrido por los camiones en una instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales ocasionado por un accidente de tráfico.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización en base a la clasificación indicada en la publicación de Elorrieta, Vías de saca: construcción de caminos forestales. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 1995.

**Número de camiones en uso/día**

El número de camiones que la instalación tiene en servicio al día se tiene en cuenta como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido de materiales desde camión, puesto que se considera que cuanto mayor sea el número de camiones en uso al día, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

Así, la probabilidad de ocurrencia estimada es la siguiente:

TRANSPORTE DE MATERIALES POR CAMIÓN						
Suceso iniciador 5: Vertido de residuos salinos desde camión		Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia			
Causas		1	2	3	4	Puntos
Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Más de 5 años	De 3 a 5 años	De 1 a 3 años	Menos de 1 año	2

TRANSPORTE DE MATERIALES POR CAMIÓN

Suceso iniciador 5: Vertido de residuos salinos desde camión		Estimador de la probabilidad		Probabilidad de ocurrencia			
Causas		1	2	3	4	Puntos	
Formación de los empleados a cargo de la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación, pero no se actualiza cuando cambian las condiciones	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación.	1	
Antigüedad de los camiones	Inferior al 33 % de su vida útil	Entre el 33 % y el 66 % de su vida útil	Superior al 66 % de su vida útil	Superior a su vida útil		1	
Planes de inspección y mantenimiento de los camiones	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello.	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante, pero no hay registro de todo ello.	Se aplica un plan de mantenimiento de acuerdo con mínimos del fabricante, pero no se hacen revisiones periódicas	Solo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas		1	
Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada				La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada	1	
Pendiente máxima del recorrido	5%	8%	10%	12%		2	
Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido (m)	100 m	55 m	75 m	25 m		1	
Número de camiones en uso/día	Escaso número de camiones				Elevado número de camiones	1	
<b>Suma Puntos</b>						<b>10</b>	
<b>Nº Estimadores</b>						<b>8</b>	
<b>Puntuación Máxima</b>						<b>4</b>	
<b>Probabilidad SI</b>						<b>0,31</b>	

Tabla 2-14. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 5: Vertido de residuos salinos desde camión

2.5.5.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

En este caso, para que exista afección a las aguas, es necesario que esté lloviendo abundantemente en el momento de producirse el accidente puesto que se trata de una sustancia sólida que no afectará al agua a menos que sea disuelta.

Se considera que el vertido será retirado del suelo en el momento de producirse por lo que no estará más de media hora en el lugar de vertido. Por este motivo, se considera que debe de ser un aguacero abundante en el que se esté produciendo justo en ese momento.

La probabilidad de que ocurra ese aguacero en un año se calcula según la metodología expuesta en apartados anteriores. Considerando que el proyecto dura 20 años, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

Por lo tanto, la probabilidad de que ese evento se produzca justo esa media hora será mucho menor, en concreto se ha estimado en 0,01.

### 2.5.5.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-5 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-5	Vertido de residuos salinos desde camión	0,003 (0,31*0.01)	0,02 (0)

Tabla 2-15. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales

### 2.5.6. SUCESO INICIADOR 6 VERTIDO DE COMBUSTIBLE DESDE CAMIÓN

#### 2.5.6.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 5 Vertido de combustible desde camión*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de combustible desde camión* se han utilizado los siguientes estimadores:

#### **🍃 Experiencia de los empleados a cargo de la operación**

La experiencia de los conductores de los camiones valora la posibilidad de ocurrencia de un error humano atribuido a los mismos, que pueda originar un accidente de tráfico y a su vez un vertido de combustible.

De esta forma, se estima que una mayor experiencia de los empleados en la conducción disminuye la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible.

#### **🍃 Formación de los empleados a cargo de la operación**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa del suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que, si los conductores han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

### 🍃 Antigüedad de los camiones

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de los camiones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad de los camiones, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de combustible debido a un accidente de tráfico.

De cara a categorizar este estimador será interesante considerar la vida útil de los camiones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada curva de bañera, asumiendo que los camiones han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

### 🍃 Planes de inspección y mantenimiento de los camiones

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones, valorando así la posibilidad de un fallo mecánico.

Se entiende por mantenimiento correctivo al que es efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. Por otro lado, el mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares —horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas—.

De esta forma, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos a los camiones y cuya aplicación periódica es registrada, tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de combustible, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

### 🍃 Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de combustible ocasionado por un accidente de tráfico.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido de combustible que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización.

### 🍃 Pendiente máxima del recorrido

Con este estimador se tiene en cuenta la pendiente máxima, medida en porcentaje, del recorrido que realizan los camiones en la instalación.

De esta forma, se ha estimado que a mayor pendiente máxima la probabilidad de ocurrencia de un vertido de combustible debido a un accidente de tráfico será mayor, ya que un trayecto con mayor pendiente se considera más propenso a la ocurrencia de un accidente de tráfico.

**Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido**

Este estimador se refiere a la distancia mínima a la que los conductores tienen visibilidad en todo el recorrido efectuado por los camiones en la instalación.

De tal forma, se ha estimado que cuanto menor sea la visibilidad en el itinerario recorrido por los camiones en una instalación mayor será la probabilidad de ocurrencia de un vertido de combustible ocasionado por un accidente de tráfico.

En la tabla de causas y estimadores se propone una categorización en base a la clasificación indicada en la publicación de Elorrieta, Vías de saca: construcción de caminos forestales. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 1995.

**Número de camiones en uso/día**

El número de camiones que la instalación tiene en servicio al día se tiene en cuenta como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido de combustible desde camión, puesto que se considera que cuanto mayor sea el número de camiones en uso al día, mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de materiales.

Así, la probabilidad de ocurrencia estimada es la siguiente:

VERTIDO DE COMBUSTIBLE DESDE CAMIÓN						
Suceso iniciador 6: Vertido de combustible desde camión	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				
Causas		1	2	3	4	Puntos
Accidente de tráfico por fallo mecánico, error humano, etc.  Fuga o rotura del circuito de combustible del camión	Experiencia de los empleados a cargo de la operación	Más de 5 años	De 5 a 3 años	De 1 a 3 años	Menos de 1 año	2
	Formación de los empleados a cargo de la operación	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones		Los empleados reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación, pero no se actualiza cuando cambian las condiciones	Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación.	1
	Antigüedad de los camiones	Inferior al 33 % de su vida útil	Entre el 33 % y el 66 % de su vida útil	Superior al 66 % de su vida útil	Superior a su vida útil	1

VERTIDO DE COMBUSTIBLE DESDE CAMIÓN						
Suceso iniciador 6: Vertido de combustible desde camión	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Planes de inspección y mantenimiento de los camiones	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante; se realizan revisiones periódicas con registro de todo ello.	Se aplica un plan de mantenimiento correctivo y preventivo propio basado en la experiencia propia y en los requisitos del fabricante, pero no hay registro de todo ello.	Se aplica un plan de mantenimiento de acuerdo con mínimos del fabricante, pero no se hacen revisiones periódicas	Solo se aplica mantenimiento correctivo en caso de avería. No se hacen revisiones periódicas	1
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada	1
	Pendiente máxima del recorrido	5%	8%	10%	12%	1
	Distancia a la que hay visibilidad en el recorrido (m)	100 m	55 m	75 m	25 m	1
	Número de camiones en uso/día	Escaso número de camiones			Elevado número de camiones	1
	<b>Suma Puntos</b>					<b>9</b>
<b>Nº Estimadores</b>					<b>8</b>	
<b>Puntuación Máxima</b>					<b>4</b>	
<b>Probabilidad SI</b>					<b>0,28</b>	

Tabla 2-16. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 6: Vertido de combustible desde cinta camión

### 2.5.6.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

No se han considerado escenarios consecuenciales para este escenario accidental.

### 2.5.6.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-6 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO	PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-6 Vertido de combustible desde camión	0,281	1,41 (2)

Tabla 2-17. Probabilidad de ocurrencia para los Escenarios Accidentales

## 2.6. ESTIMACIÓN DE VOLUMENES

### 2.6.1. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE RESIDUOS SALINOS DESDE DEPÓSITO

El volumen de los residuos salinos que pueden ser vertidos desde el depósito en caso de fallo del mismo, se ha estimado utilizando círculo de rotura calculado mediante el programa Slide de Rockscience. Considerando este círculo de rotura, se estima que, en el peor de los casos, se vertería un 10 % de los materiales almacenados. Así, nunca se verterán más de 850.000 t, unos 607.000 m<sup>3</sup>.

### 2.6.2. ESTIMACIÓN DEL AGUA SALADA VERTIDA DESDE EL DEPÓSITO

La probabilidad de ocurrencia del escenario de vertido de agua salada desde la red de drenaje del depósito salino es muy baja debido a que el sistema de drenaje diseñado está dimensionado para un periodo de retorno de 500 años.

En concreto, la probabilidad de ocurrencia se ha estimado en 0,007. En el presente análisis se han desestimado todos los escenarios accidentales que tengan una probabilidad menor de 2%, por lo que no es necesario calcular el volumen vertido por desbordamiento porque se considera que es muy improbable que ocurra.

### 2.6.3. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE INFILTRACIÓN

Tal y como se ha justificado en el apartado anterior, la infiltración se ha estimado en un 5%. Por lo tanto, se consideran que los volúmenes de infiltración de agua de lluvia en el interior del depósito son los indicado en la tabla siguiente. Esta agua infiltrada ira descendiendo hasta alcanzar la impermeabilización del depósito. Si esta se rompiera, se estima que aproximadamente un 5 % pasará al terreno, es decir:

SUCESO INICIADOR	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	VOLUMEN INFILTRADO AL TERRENO (M <sup>3</sup> )
Infiltración de agua salada desde depósito (Lluvias normales)	1.125	56,25
Infiltración de agua salada desde deposito (Lluvias extrema)	2.874	143,37

Tabla 2-18. Volumen de infiltración en el depósito temporal

#### 2.6.4. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE VERTIDO DESDE CINTA TRANSPORTADORA

La cinta de transporte que lleva el residuo salino desde la planta hasta el depósito tiene una capacidad de transporte de 140 t/h. Se considera que, en el peor de los casos, la cinta se rompe y continúa funcionando unos 10 minutos hasta que se para todo el sistema. Es decir, se podrán verter unas 23 toneladas.

El riesgo de que este vertido afecte a las aguas superficiales y subterráneas solo se da si además llueve mientras que la carga está vertida. Se considera que la carga será retirada nada más verterse por lo que en menos de media hora el vertido estará retirado del suelo.

#### 2.6.5. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE VERTIDO DE RESIDUO SALINO DESDE CAMIÓN

Los camiones que transportan el residuo desde el depósito hasta su destino final tienen una capacidad de 20 t. En el peor de los casos, se verterá la carga entera.

El riesgo de que este vertido afecte a las aguas superficiales y subterráneas solo se da si además llueve mientras que la carga está vertida. Se considera que la carga será retirada nada más verterse por lo que en menos de media hora el vertido estará retirado del suelo.

#### 2.6.6. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE COMBUSTIBLE

La capacidad de un depósito de combustible un camión se puede establecer en unos 500 litros. Para la estimación de los litros vertidos en caso de rotura del depósito, se ha considerado el peor de los casos que es que se viertan esos 500 litros.

### 2.7. ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS ASOCIADAS AL ESCENARIO ACCIDENTAL

En la norma UNE 150008:2008 se propone la estimación de la gravedad de las consecuencias de cada uno de los escenarios postulados dependiendo del receptor: natural, humano y socioeconómico. Tal y como se ha especificado, este análisis de riesgos está enfocado únicamente a la contaminación hídrica por lo que se ha calculado la gravedad de las consecuencias sobre el entorno natural y en concreto cuando el receptor es un medio acuático.

La estimación de la gravedad de las consecuencias se realiza mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

*Gravedad sobre el entorno natural* = Cantidad + 2x peligrosidad + Extensión Calidad del medio

Siguiendo la técnica recogida en la Norma UNE 150.008:2008 de referencia, cada uno de estos criterios puntuará entre 1 y 4, asignándole un valor definido en las siguientes tablas (extraídas de dicha norma UNE):

VALOR	CANTIDAD	TONELADAS	LITROS
4	Muy alta	> 500	> 10.000
3	Alta	50-500	5.001-10.000
2	Poca	5-49	1.001-5.000
1	Muy poca	< 5	< 1.000

Tabla 2-19. Valores para la cantidad. Fuente UNE 150008:2008

VALOR	PELIGROSIDAD	
4	Muy peligrosa	Muy inflamable Muy tóxica Causa efectos irreversibles inmediatos Mutágenos (categorías 1 y 2) Cancerígenos (categorías 1 y 2) Reprotóxicos (categorías 1 y 2)
3	Peligrosa	Explosivas Inflamables Corrosivas Tóxico Nocivo Mutágenos (categoría 3) Cancerígeno (categoría 3) Reprotóxicos (categoría 3)
2	Poco peligrosa	Combustibles Irritantes
1	No peligrosa	Daños leves y reversibles

Tabla 2-20. Valores para la peligrosidad. Fuente UNE 150008:2008

La peligrosidad de la sustancia, en términos del presente análisis de riesgo, se ha estimado teniendo en cuenta que el agua salada es nociva para muchos organismos acuáticos. En el caso de cursos de aguas superficiales, son organismos adaptados al agua dulce por lo que un aumento de la salinidad será nocivo para estos. Por este motivo, se ha valorado la peligrosidad como 3, no por su peligrosidad como residuo sino como agente causante del daño.

VALOR	EXTENSIÓN	
4	Muy extenso	Radio >1 Km
3	Extenso	Radio <1 Km
2	Poco extenso	Emplazamiento
1	Puntual	Área afectada

Tabla 2-21. Valores para la extensión. Fuente UNE 150008:2008

Para la estimación de la extensión del daño, en algunos de los escenarios propuestos, se considera útil utilizar el método de estimación del Índice de extensión del daño propuesta por la Dirección General de Protección Civil en 2004. Así, se propone la siguiente valoración:

VALOR	CORRIENTES DE AGUA SUPERFICIALES
10	Mayor o igual a 10 km
9	9 km
8	8 km
7	7 km
6	6 km
5	5 km
4	4 km
3	3 km
2	2 km
1	Dentro de los límites del emplazamiento

Tabla 2-22. Valores para la extensión del daño. Fuente: Guía para la realización del Análisis de Riesgos Ambientales en el marco de la Directiva Comunitaria 96/82/CE - (Seveso II)

Una vez obtenido este índice es necesario reclasificarlo a un valor entre 1 y 4 para poder introducirlo en la fórmula propuesta en la UNE 150008:2008.

VALOR	RECEPTORES (ENTORNO NATURAL CASO DE AGUAS)	
4	Muy alto	Reservas naturales fluviales Zonas declaradas de protección especial
3	Alto	Zonas sensibles Aguas destinadas a la producción de agua potable Perímetros de protección Aguas subterráneas Aguas aptas para la vida de los salmónidos Zonas aptas para el baño
2	Bajo	Zonas aptas para la vida de los ciprínidos Zonas aptas para la cría de moluscos
1	Muy bajo	Sin clasificación

Tabla 2-23. Valores para los receptores del entorno natural. Fuente: Cámara de comercio da Madrid. Taller sobre Responsabilidad Ambiental

Una vez obtenida la gravedad sobre el entorno se le asignará un valor según la siguiente tabla:

VALOR	VALORACIÓN	VALOR ASIGNADO
Crítico	Entre 20-18	5
Grave	Entre 17-15	4
Moderado	Entre 14-11	3
Leve	Entre 10-8	2
No relevante	Entre 7-5	1

Tabla 2-24. Valoración de la gravedad de las consecuencias. Fuente UNE 150008:2008

Tal y como se ha expuesto con anterioridad, en el presente documento solo se analizan los riesgos relacionados con la contaminación hídrica. Por lo tanto, solo se va a estimar la gravedad de las consecuencias relativas al entorno natural y, en concreto, considerando como posible receptor el medio hídrico.

A continuación, se incluye la estimación de la gravedad de las consecuencias realizada para el depósito temporal de residuos salinos:

INSTALACIÓN/PROCESO	Nº	ESCENARIO	CANT	PELIGR	EXT	CALIDAD DEL MEDIO	GRAVEDAD	VALORACIÓN
Depósito temporal de residuos salinos	EA-1a	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación normal)	4	3	3	3	16	Moderado (3)
Depósito temporal de residuos salinos	EA-1b	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)	4	3	3	3	16	Moderado (3)
Depósito temporal de residuos salinos	EA-1c	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros y con vertido de materiales hacia la barrera sur	4	3	4	3	17	Grave (4)
Depósito temporal de residuos salinos	EA-2a	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación normal)	4	3	4	4	18	Grave (4)
Depósito temporal de residuos salinos	EA-2b	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación sobrevenida)	4	3	4	3	17	Grave (4)
Depósito temporal de residuos salinos	EA-3b	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)	4	3	3	3	16	Moderado (3)
Transporte por cinta	EA-4	Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora en el momento de aguacero extremo	2	3	1	3	12	Leve (2)
Transporte por camión	EA-5	Vertido de residuos salinos desde camión en el momento de aguacero extremo	2	3	2	3	13	Moderado (3)
Transporte por camión	EA-6	Vertido de combustible desde camión	1	3	2	3	12	Leve (2)

Tabla 2-25. Valoración de la gravedad de las consecuencias de los Escenarios Accidentales relacionados con el depósito temporal

## 2.8. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

Una vez calculadas la probabilidad o frecuencia y las consecuencias, se obtiene una estimación de los riesgos sobre el medio hídrico de los escenarios considerados.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad o Frecuencia} \times \text{Consecuencias}$$

La caracterización del riesgo viene definida por la siguiente tabla de valores:

RIESGO	VALOR
Riesgo muy alto	Entre 21 y 25
Riesgo alto	Entre 16 y 20
Riesgo medio	Entre 11 y 15
Riesgo moderado	Entre 6 y 10
Riesgo bajo	Entre 1 y 5

Tabla 2-26. Evaluación de los riesgos. Fuente UNE 150008:2008

A continuación, se incluye la evaluación de los riesgos realizada para el depósito temporal de residuos salinos.

Instalación/Proceso	Nº	Escenario	Cant	Peligr	Ext	Calidad del medio	Gravedad	Valoración	Valoración	Probabilidad	Estimación del riesgo	Caracterización del riesgo
Depósito temporal de residuos salinos	EA-1a	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación normal)	4	3	3	3	16	Grave (4)	4	1	4	Bajo
Depósito temporal de residuos salinos	EA-1b	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)	4	3	3	3	16	Grave (4)	4	0	0	Muy bajo
Depósito temporal de residuos salinos	EA-1c	Vertido de residuos salinos desde instalación de residuos mineros y con vertido de materiales hacia la barrera sur	4	3	4	3	17	Grave (4)	4	0	0	Muy bajo
Depósito temporal de residuos salinos	EA-2a	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación normal)	4	3	4	4	18	Crítico (5)	5	2	10	Moderado
Depósito temporal de residuos salinos	EA-2b	Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación sobrevenida)	4	3	4	3	17	Grave (4)	4	1	4	Bajo
Depósito temporal de residuos salinos	EA-3b	Vertido de agua salada desde instalación de residuos mineros (situación sobrevenida)	4	3	3	3	16	Grave (4)	4	0	0	Muy bajo
Transporte por cinta	EA-4	Vertido de residuos salinos desde cinta transportadora en el momento de aguacero extremo	2	3	1	3	12	Moderado (3)	3	0	0	Muy bajo
Transporte por camión	EA-5	Vertido de residuos salinos desde camión en el momento de aguacero extremo	2	3	2	3	13	Moderado (3)	3	0	0	Muy bajo
Transporte por camión	EA-6	Vertido de combustible desde camión	1	3	2	3	12	Moderado (3)	3	2	6	Moderado

Tabla 2-27 Evaluación de los riesgos de los Escenarios Accidentales relacionados con el depósito temporal

## 2.9. ESTIMACIÓN DE MEDIDAS DE REPARACIÓN PRIMARIA

Para la estimación de las medidas de reparación primaria, se ha recurrido a la aplicación MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad ambiental) que desarrolló la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural para la monetización del daño medioambiental asociado a cada escenario de riesgo conforme a la metodología de valoración que establece el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre.

En esta aplicación se proponen las técnicas disponibles para la recuperación de los daños causados. Entre todas las propuestas se ha optado por la de extracción y tratamiento.

### 3. ANÁLISIS DE RIESGOS DE LAS BALSAS EN SITUACIÓN NORMAL Y SOBREVENIDA

En este apartado se desarrolla el análisis de riesgos del sistema de balsas proyectado considerando dos situaciones: normal y sobrevenida. Se analizan los escenarios en los que la intensidad del aguacero es influyente o no y se estiman los riesgos para las dos situaciones en los casos en que resulta influyente.

#### 3.1. IDENTIFICACIÓN DE SUCESOS INICIADORES Y SUS CAUSAS

Se entiende por suceso iniciador al hecho físico identificado a partir de un análisis causal que puede generar un incidente o accidente en función de cuál sea su evolución en el espacio y en el tiempo. En las tablas siguientes se recogen tanto las actividades con peligro asociado como las posibles causas que pueden llevar a que se desencadene un suceso iniciador.

ZONA O ACTIVIDAD CON PELIGRO ASOCIADO	CAUSAS	SUCESO INICIADOR	CÓDIGO
Balsa de lixiviados	Desbordamiento de la balsa por fallo en la gestión, error humano, lluvias	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento	EA-7
	Rotura del dique de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias, etc.	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	EA-8
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados	EA-9
Balsa de regulación/evaporación	Desbordamiento de la balsa por fallo en la gestión, error humano, lluvias	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento	EA-10
	Rotura del dique de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias, etc.	Vertido de agua salada desde la balsa de regulación/evaporación por rotura de dique	EA-11
	Fallo del sistema de impermeabilización	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación	EA-12
Conducción por tubería	Fallo o rotura en conducción por impacto de objeto, desgaste del material, sobrepresión, error humano, etc.	Vertido de agua salada desde conducción	EA-13

Tabla 3-1. Identificación de sucesos iniciadores relativos al conjunto de balsas del proyecto.

### 3.2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES

Los factores condicionantes son los aspectos que influyen en el desarrollo de los sucesos iniciadores, definiendo la secuencia de eventos o alternativas posibles que, con una probabilidad determinada, pueden dar lugar a los distintos escenarios accidentales.

Los factores condicionantes que se han considerado para los distintos sucesos iniciadores relativos al sistema de balsas son:

- Posibilidad de actuación de la contención proyectada. Se trata de una medida de contención que puede contener el posible vertido desde alguna de las balsas. En este caso, existen dos tipos de medida:
  - Por un lado, para el caso de vertido de agua por desbordamiento o rotura de dique, se ha considerado la barrera de protección sur, ya que se sitúa aguas abajo del depósito.
  - Por otro lado, para el caso de fallo del sistema de impermeabilización, se dispone de un drenaje en espina de pez que recogerá las posibles aguas infiltradas.
- Posibilidad de lluvias extremas: Se valorará la posibilidad de que cada escenario se pueda producir bajo el evento de lluvias extremas y si estas influyen en el desarrollo del mismo.
- Posibilidad de afección a un cauce. Se valorará la posibilidad de dañar el agua de los cauces y/o infraestructuras cercanas a la instalación.
- Posibilidad de afección a las aguas subterráneas. Se valorará la posible afección a la masa de agua subterránea *09.03 Sinclinal de Jaca-Pamplona.*, situada en la zona.
- Posibilidad de fuertes vientos: los vientos pueden causar una ola en la lámina de agua que aumente la probabilidad de desbordamiento de cada una de ellas. Para el cálculo de las balsas se ha tenido en cuenta la dirección e intensidad de los vientos dominantes para calcular la altura de la ola. Con estos datos, se han diseñado los diques de cada una de las balsas con el fin de evitar que la ola rebose por encima del mismo. Por lo tanto, no se ha considerado que la acción del viento suponga un aumento del riesgo y no se considera como factor condicionante.

Teniendo en consideración los factores condicionantes expuestos, se han definido los siguientes escenarios accidentales:

ZONA O ACTIVIDAD CON PELIGRO ASOCIADO	CÓDIGO	ESCENARIO ACCIDENTAL
---------------------------------------	--------	----------------------

ZONA O ACTIVIDAD CON PELIGRO ASOCIADO	CÓDIGO	ESCENARIO ACCIDENTAL
Balsa de lixiviados	EA-7a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida) y con contaminación a aguas subterráneas
	EA-7b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida)
	EA-8a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique
	EA-8b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur
	EA-9	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de aguas subterráneas
Balsa de regulación/evaporación	EA-10a	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento (situación sobrevenida)
	EA-10b	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento (situación sobrevenida) y contaminación de aguas subterráneas
	EA-11a	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique
	EA-11b	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur
	EA-12	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas
Conducción	EA-13	Vertido de aguas saladas desde conducción

Tabla 3-2. Definición y codificación de los escenarios accidentales

### 3.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS AGENTES CAUSANTES DEL DAÑO

Para poder determinar el tipo de agente acusante del daño, se utiliza la siguiente matriz:

Agente causante de daño	El agente lleva asociado un umbral de toxicidad	El agente no es una sustancia explosiva	Agente orgánico	$P_E < 325 \text{ }^\circ\text{C}$	$P_E < 100 \text{ }^\circ\text{C}$	El agente contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COV halogenados</i></b>
						El agente no contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COV no halogenados</i></b>
					$P_E > 100 \text{ }^\circ\text{C}$	El agente contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COSV halogenados</i></b>
						El agente no contiene elementos halógenos	<b><i>Daños por COSV no halogenados</i></b>
				$P_E > 325 \text{ }^\circ\text{C}$	Fuel	<b><i>Daños por fueles</i></b>	
					Otras sustancias	<b><i>Daños por compuestos orgánicos no volátiles (CONV)</i></b>	
		Agente inorgánico	<b><i>Daños por sustancias inorgánicas</i></b>				
		El agente es una sustancia explosiva	<b><i>Daños por sustancias explosivas</i></b>				
	El agente no lleva asociado un umbral de toxicidad	Agentes físicos	<b><i>Daños por extracción o desaparición del recurso natural</i></b>				
			<b><i>Daños por vertido de inertes</i></b>				
<b><i>Daños por incremento de la temperatura</i></b>							
Incendio		<b><i>Daños por incendio</i></b>					
Agentes biológicos		<b><i>Daños por organismos modificados genéticamente</i></b>					
		<b><i>Daños por especies exóticas invasoras</i></b>					
		<b><i>Daños por virus y bacterias</i></b>					
	<b><i>Daños por hongos e insectos</i></b>						

Ilustración 3-1. Matriz de selección de agente causante del daño. Fuente: Guía de usuario de la aplicación mora.

La balsa de lixiviados recoge las aguas de escorrentía del depósito temporal de residuos salinos, por lo tanto, el agente causante del daño es agua salada.

Por otro lado, las balsas de regulación/evaporación contienen las aguas salinas de proceso, es decir, agua salada.

Por lo tanto, se puede el agente causante del daño es agua salada, es decir, un agente químico no biodegradable. La concentración de cloruros del agua contenida en las balsas de agua salina será variable, ya que contienen en mayor o menor grado aguas pluviales (no salinas), aguas salinas o potencialmente salinizadas (procedentes del drenaje de aguas subterráneas desde las rampas) y el lixiviado del material salino (aguas salinas). Por este motivo, la concentración se espera que sea, en el escenario más negativo de ausencia de agua de lluvia que diluya la sal, de entre 42,5 mg/l ó 0,0425 g/l (resultado de analítica de las aguas subterráneas) y máximo 359 g/L (solubilidad máxima del NaCl en agua a 20°C).

Las características principales del agente causante del daño que serán necesarios para evaluar el daño ambiental causado se incluyen en la siguiente tabla:

AGENTE	CARACTERÍSTICA
--------	----------------

AGENTE	CARACTERÍSTICA	
Agua salada	Degradabilidad	No biodegradable
	Solubilidad en agua 20°C	Soluble
	PE	>100°C
	Volatilidad	Media

Tabla 3-3. Características principales de los agentes causante del daño. Fuente: fichas de seguridad de las sustancias consideradas

### 3.4. RECURSOS POTENCIALMENTE AFECTADOS

En el presente análisis de riesgos, solo se han considerado como recursos afectados las aguas superficiales y subterráneas. Así, para cada escenario accidental, se considera que se puede afectar a los siguientes recursos:

CÓDIGO	ESCENARIO ACCIDENTAL	RECURSO AFECTADO
EA-7a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida) y con contaminación a aguas subterráneas	Aguas superficiales y subterráneas
EA-7b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida)	Aguas superficiales y subterráneas
EA-8a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	Aguas superficiales y subterráneas
EA8b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	Aguas superficiales y subterráneas
EA-9	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de aguas subterráneas	Aguas subterráneas
EA-10a	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento (situación sobrevenida)	Aguas superficiales y subterráneas
EA-10b	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento (situación sobrevenida) y contaminación de aguas subterráneas	Aguas superficiales y subterráneas
EA-11a	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique	Aguas superficiales y subterráneas
EA-11b	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	Aguas superficiales y subterráneas
EA-12	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas	Aguas subterráneas
EA-13	Vertido de aguas saladas desde conducción	Aguas superficiales y subterráneas

Tabla 3-4. Recursos potencialmente afectados

### 3.5. ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES

El método de asignación de probabilidades es el mismo que el indicado para el depósito de residuos mineros.

#### 3.5.1. SUCESO INICIADOR 7 VERTIDO DE AGUA SALADA DESDE Balsa DE LIXIVIADOS POR DESBORDAMIENTO

##### 3.5.1.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 7 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento* se han utilizado los siguientes estimadores:

#### **Existencia de un curso de agua cercano**

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un curso, conducción o canal cercano a la balsa que pudiera suponer un aporte de agua adicional a la balsa.

Ante la eventualidad de un aporte de una cantidad considerable de agua a la balsa, podría producirse un desbordamiento de la misma. Por ello, se estima que la existencia de un curso de agua cercano aumenta la probabilidad de vertido desde balsa por desbordamiento.

#### **Sistema de drenaje de la balsa**

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier aporte de agua extra a balsas que contribuya al desbordamiento.

De esta forma, se ha estimado que las balsas que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido por desbordamiento que las balsas que no disponen de dicho sistema.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje del dique se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia.

#### **Plan de mantenimiento del sistema de drenaje**

Con este estimador se valora positivamente la existencia de un plan de mantenimiento adecuado del sistema de drenaje de la balsa.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y deficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia.

### 🍃 Sistema de desagüe

Este estimador se refiere a la existencia de un sistema de desagüe en la balsa que pueda liberar una cierta cantidad de líquidos a otras balsas o depósitos en caso de emergencia, impidiendo así un vertido por desbordamiento.

En la categorización propuesta el sistema de desagüe se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### 🍃 Plan de mantenimiento del sistema de desagüe

Un deficiente o inexistente plan de mantenimiento del sistema de desagüe de la balsa provocaría la obstrucción de las conducciones que lo forman limitando notablemente su funcionamiento.

Por ello, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento de la balsa.

### 🍃 Revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe de forma periódica.

De esta forma, si se realizan revisiones la probabilidad de vertido por desbordamiento de la balsa será menor y, por el contrario, si no se realizan revisiones la probabilidad de ocurrencia de vertido será mayor.

### 🍃 Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa, valora la posibilidad de desbordamiento debido a la ocurrencia de lluvias severas.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por desbordamiento del dique será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

### 🍃 Control del nivel de líquidos en la balsa

Este estimador tiene en cuenta la realización de un control periódico del nivel que alcanzan los líquidos en balsa. De esta forma, se estima que una balsa en la que se controla periódicamente el nivel de líquidos tiene una menor probabilidad de vertido por desbordamiento que una balsa en la que no se realice este tipo de control.

🌿 **Establecimiento de niveles de alerta y alarma**

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución del nivel de líquidos en la balsa, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan.

De esta forma, se estima que el establecimiento de dicho tipo de sistemas que detecten niveles de alerta y alarma en el nivel de líquidos contenidos en la balsa disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento.

BALSA DE LIXIVIADOS						
Suceso iniciador 7: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Desbordamiento de la balsa por fallo en la gestión, lluvias, error humano, etc.	Existencia de un curso de agua cercano	No existe un curso de agua cercano a la balsa o alguna conducción o canal que pudiera suponer un aporte de agua extra a la balsa			Existe un curso de agua cercano a la balsa o alguna conducción o canal que pudiera suponer un aporte de agua extra a la balsa	1
	Sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/inexistente	2
	Plan de mantenimiento o del sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Deficiente/Inexistente	2
	Sistema de desagüe	La balsa dispone de un sistema de desagüe			La balsa no dispone de un sistema de desagüe	1
	Plan de mantenimiento o del sistema de desagüe	Se dispone de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe			No se dispone de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe	1
	Revisiones de las canalizaciones del sistema de desagüe	Si			No	1
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2

BALSA DE LIXIVIADOS						
Suceso iniciador 7: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	<b>Control del nivel de líquidos en la balsa</b>	Se controla el nivel de líquidos en la balsa			No se controla el nivel de líquidos en la balsa	1
	<b>Establecimiento de niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa</b>	Se han establecido niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa			No se han establecido niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa	1
<b>Suma Puntos</b>						<b>12</b>
<b>Nº Estimadores</b>						<b>9</b>
<b>Puntuación Máxima</b>						<b>4</b>
<b>Probabilidad SI</b>						<b>0,33</b>

Tabla 3-5. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 7: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento

### 3.5.1.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de desbordamiento de las balsas. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias.

El sistema de balsas del proyecto está diseñado considerando grandes aguaceros, por lo tanto, no es necesario considerar la situación de lluvias normales ya que está considerada en el diseño. Por lo tanto, para estimar la probabilidad de desbordamiento se tendrá en cuenta la probabilidad de ocurrencia del aguacero con periodo de retorno de 500 años. A continuación, se describe la estimación de probabilidad del citado aguacero.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta anteriormente, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/500)^{20}$ , es decir, de 0,039.

Ø Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso infiltración de agua salada es de 0,81.

3.5.1.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-7 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-7a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados (situación sobrevenida)	0,013 (0,33*0,039)	0,07 (0)
EA-7b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados (situación sobrevenida) y contaminación de aguas subterráneas	0,011 (0,33*0,039*0,81)	0,05 (0)

Tabla 3-6. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

3.5.2. SUCESO INICIADOR 8 VERTIDO DE AGUA SALADA DESDE Balsa DE LIXIVIADOS POR ROTURA DE DIQUE

3.5.2.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 8 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique* se han utilizado los siguientes estimadores:

Ø **Antigüedad del dique**

Con este estimador se tiene en cuenta la antigüedad del dique de contención de la balsa. De esta forma, se estima que los diques más antiguos tienen mayor probabilidad de producir un vertido por rotura que los diques de menor edad.

Ø **Disposición de los residuos en la balsa**

Este estimador se refiere a la gestión de la disposición de los residuos en la balsa valorando positivamente que los residuos se dispongan de tal forma que se minimicen las tensiones que favorecen la rotura del dique.

La disposición de los de los residuos en la balsa influye directamente en las tensiones ejercidas sobre el dique y por lo tanto en la estabilidad del mismo. Por ello, si los residuos son vertidos de tal forma que minimicen las tensiones que pueden provocar la rotura del dique, la probabilidad de rotura del dique disminuirá y, por el contrario, si no se controla la disposición de los residuos o se realiza de tal forma que favorezca el aumento de las tensiones desestabilizadoras en el dique la probabilidad de rotura de dique aumentará.

Dicha disposición está muy relacionada con la situación del punto de vertido de los residuos a la balsa. Por ejemplo, el hecho de que el vertido se realice en la cola de la balsa presenta una situación más desfavorable desde el punto de vista de la estabilidad del dique, puesto que existe el empuje de agua o fase líquida del residuo contra la estructura (Cancela Rey et al., 1987). Por ello, puede decirse que las balsas en las que el vertido de residuos se realiza desde la coronación del dique tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido que las balsas en las que los residuos se vierten desde la cola de la balsa.

#### **Auscultación hidráulica**

La auscultación hidráulica consiste en obtener la información necesaria para comprobar el comportamiento del dique y detectar cualquier indicio sobre condiciones adversas que puedan comprometer su estabilidad, realizando de este modo una valoración continua de la seguridad.

En la auscultación hidráulica, los parámetros hidráulicos más importantes que deben controlarse son el caudal de las filtraciones y la presión intersticial. El equipo empleado en los sistemas de medida de los parámetros hidráulicos puede variar desde unos sencillos pozos para observar el nivel freático hasta sofisticados sensores para medir presiones intersticiales que proporcionan registros en lugares concretos.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los parámetros hidráulicos del dique, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por una deficiente auscultación hidráulica del dique.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación hidráulica se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/no se realiza indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### **Auscultación deformacional y tensional**

La auscultación deformacional y tensional consiste en el control de los movimientos horizontales y verticales del dique. Estos movimientos se controlan mediante diferentes técnicas topográficas utilizando dispositivos de medición como pueden ser los teodolitos de precisión, inclinómetros, distanciómetros, etc.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los movimientos del dique, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por un fallo en la auscultación tensional y deformacional.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación deformacional y tensional se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/no se realiza indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### **Auscultación sísmica**

La auscultación sísmica consiste en medir tanto las vibraciones naturales (terremotos) como las vibraciones provocadas por actividades humanas (voladuras) que pueden provocar procesos de licuefacción en los materiales que forman el dique. El desarrollo de procesos de licuefacción en el dique supondría una drástica disminución de la seguridad y un aumento de las filtraciones.

La auscultación sísmica se realiza principalmente mediante dispositivos que miden la actividad sísmica (sismógrafos) además de otros dispositivos que miden la aceleración del terreno en dos o más planos (acelerógrafos).

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de las vibraciones que afectan al dique, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por una auscultación sísmica insuficiente o inexistente.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación sísmica se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/no se realiza indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### **Ubicación de la balsa en zona sísmica**

La ubicación de la balsa en una zona sísmica aumentará la probabilidad de ocurrencia de vertido ya que los sismos pueden provocar procesos de licuefacción que facilitan los deslizamientos de materiales que causarían la rotura del dique.

#### **Plan de mantenimiento**

Con este estimador se valora positivamente la existencia de un plan de mantenimiento adecuado de las condiciones de la balsa.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento de la balsa se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y deficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### **o Frecuencia de los controles la infiltración del agua de lluvia**

Con este estimador se valora si la frecuencia de los controles de la infiltración de agua de lluvia en el dique es superior a la indicada por la normativa.

Si la infiltración del agua de lluvia no se controla adecuadamente, se pueden generar inestabilidades en los materiales que forman el dique que pueden producir deslizamientos de materiales.

De esta forma, se estima que si la frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia es superior a la mínima indicada por la normativa la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura del dique será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

### **o Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control**

Este estimador se refiere al establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación de la balsa.

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución de todos los controles o sensores de la auscultación de la balsa, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan. Estos niveles de alerta y alarma deben ser definidos por un equipo de técnicos altamente cualificado que, además haya analizado previamente el comportamiento la balsa.

De esta forma, se estima que el establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control de los parámetros de auscultación de la balsa disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del dique.

### **o Revisiones de las condiciones del dique por observación directa**

Este estimador tiene en cuenta que las revisiones de las condiciones del dique sean realizadas por observación directa por parte de personal responsable de la vigilancia de la misma.

La observación directa de las condiciones del dique se valora positivamente, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde la balsa por rotura del dique, frente a la centralización y automatización de la auscultación que no debe sustituir nunca la observación directa por parte del personal responsable.

### **o Coeficiente de seguridad**

Mediante este estimador se tiene en cuenta el coeficiente de seguridad con el que se ha diseñado y construido el depósito dique.

El factor de seguridad exigido por Ley viene establecido en la ITC 08.02.01, dado que era la normativa de aplicación para este tipo de depósitos hasta que el RD 975/2009 entró en vigor y

dado que en dicho Real Decreto no se dan estos valores. Así, se establecen los siguientes valores, dependiendo de tres tipos de solicitudes:

TIPO DE SOLICITACIÓN FACTOR DE SEGURIDAD	Normal	Accidental	Extrema
	1,2	1,3	1,4

De esta forma, si el depósito se construye con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la Ley se le atribuirá una mayor probabilidad de ocurrencia de vertido por rotura que si fue construido con un coeficiente de seguridad significativamente mayor que el exigido por la Ley.

### 🍃 Sistema de drenaje

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones internas y/o externas a la balsa que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier infiltración que pueda comprometer la estabilidad de la misma.

De esta forma, se ha estimado que las balsas que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido que las balsas que no disponen de dicho sistema.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje de la balsa se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### 🍃 Frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje

Con este estimador se valora si la frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje de la balsa es superior a la indicada por la normativa.

De esta forma, se estima que si la frecuencia de los controles es superior a la mínima indicada por la normativa la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura del dique será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

### 🍃 Pendiente máxima del talud del dique

Este estimador tiene en cuenta la pendiente del talud del dique expresada mediante el porcentaje (%).

A mayor pendiente el talud del depósito tendrá mayor propensión a sufrir deslizamientos de materiales que pueden provocar la rotura del mismo. De esta forma, se estima que si el talud exterior tiene un ángulo que coincide con el ángulo de reposo del material que lo conforma la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del dique será mayor que si el talud tiene un ángulo menor, disminuyendo la probabilidad según disminuye este ángulo.

### Estudio exhaustivo geológico-geotécnico del emplazamiento

Con este estimador se tiene en cuenta la realización, antes de la construcción de un dique asociada a una balsa, de un estudio exhaustivo geológico y geotécnico del emplazamiento de ésta, incluyendo ensayos de laboratorio tanto de los materiales del subsuelo como de los materiales utilizados en su construcción.

De esta forma, las balsas que dispongan de dicho estudio tendrán una menor probabilidad de rotura por fallo constructivo y, por tanto, de vertido del contenido de la balsa, que las balsas que no dispongan el mencionado estudio.

### Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa, valora la posibilidad de la rotura de un dique de tierras asociada a la balsa debido a la ocurrencia de lluvias severas.

La infiltración de agua en el dique produce fuerzas desestabilizadoras en la misma, por ello la ocurrencia de lluvias severas que los sistemas de drenaje no puedan asumir producirían infiltraciones que comprometerían la estabilidad del dique. De hecho, gran parte de los deslizamientos producidos en acumulaciones de materiales sueltos, como son los diques de tierras, se producen después de periodos lluviosos.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por rotura del dique será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

Así, la probabilidad de ocurrencia del SI 8 es:

BALSA DE LIXIVIADOS						
Suceso iniciador 8: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
		1	2	3	4	
Causas						
Rotura del dique de contención por deslizamiento de	Antigüedad del dique	El dique tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	El dique tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	El dique tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	El dique tiene una antigüedad media superior a su vida útil	1

BALSA DE LIXIVIADOS

Suceso iniciador 8: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos	
		1	2	3	4		
Causas		Sí			No		
materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.	El vertido de residuos a la balsa se realiza de tal forma que minimice las tensiones que pueden provocar la rotura del dique					1	
	Auscultación hidráulica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza	2	
	Auscultación deformacional y tensional	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza	2	
	Auscultación sísmica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza	2	
	Ubicación de la balsa en zona sísmica	No			Sí	1	
	Plan de mantenimiento de la balsa	Excelente	Adecuada	Suficiente	Deficiente/Inexistente	2	
	Frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia en el dique	La frecuencia de los controles es superior a la mínima establecida por la normativa				La frecuencia de los controles es igual a la mínima establecida por la normativa	1
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación del dique	Sí				No	1
	Revisiones de las condiciones del dique por observación directa del personal responsable de la vigilancia del mismo	Sí				No	1
	Coefficiente de seguridad del dique	Mayor que 2	Entre 1,4 y 2	Entre 1,2 y 1,4	Menor que 1,2		2
Sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/Inexistente		2	

BALSA DE LIXIVIADOS						
Suceso iniciador 8: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa	1
	Pendiente del talud del dique	Menor del 35%	Entre el 35 y 50 %	Entre el 50% y el ángulo de reposo de los materiales	El ángulo de la pendiente máxima coincide con el ángulo de reposo del material	2
	Estudio exhaustivo de las condiciones geológico/geotécnicas del emplazamiento	Antes de la construcción del dique se realizó un estudio exhaustivo de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	Antes de la construcción del dique se realizó un estudio de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	Antes de la construcción del dique se realizó un estudio básico de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	Antes de la construcción del dique no se realizó un estudio de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	1
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2
					<b>Suma Puntos</b>	<b>24</b>
					<b>Nº Estimadores</b>	<b>16</b>
					<b>Puntuación Máxima</b>	<b>4</b>
					<b>Probabilidad SI</b>	<b>0,38</b>

Tabla 3-7. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 8: Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique

### 3.5.2.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el *SI 8 Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique*.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias normales

La ocurrencia de un episodio de lluvias normales supone un mayor riesgo de que se produzca un fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio normal el que tiene como periodo de retorno 2 años.

La probabilidad de ocurrencia durante la vida del proyecto (20 años) de un episodio de lluvias con un periodo de dos años, se calcula la probabilidad de que ese evento no ocurra. Así, la probabilidad de que ocurra durante un año es de 0,5.

Por lo tanto, la probabilidad de que no ocurra durante un año es de 0,5. La probabilidad de que el evento no ocurra durante los 20 años del proyecto es de  $0,5^{20}$ . Por lo tanto, la probabilidad de que si ocurra ese evento es de  $1-0,5^{20}$ , de donde se deduce que la probabilidad de ocurrencia de un aguacero con periodo de retorno de 2 años es de 0,99.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio extremo en que tiene como periodo de retorno de 100 años.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

#### o Probabilidad de actuación de la contención

La barrera de protección sur actuará de sistema de contención en el caso de que se produzca un vertido de aguas saladas desde la balsa de lixiviados. Para poder comprobar la utilidad real

de esta barrera y, por tanto, la probabilidad de fallo de la misma se ha modelizado la situación de que se vierta agua y llegue hasta la barrera.

Para ello, se ha utilizado el programa Phase 8.0. Se han introducido los valores de permeabilidad de los materiales de la barrera y sus características geotecnias. Para situarse en el lado de la seguridad, se ha simulado una lámina de agua retenida de unos 4 metros de altura.

Así, se han obtenido los siguientes resultados:

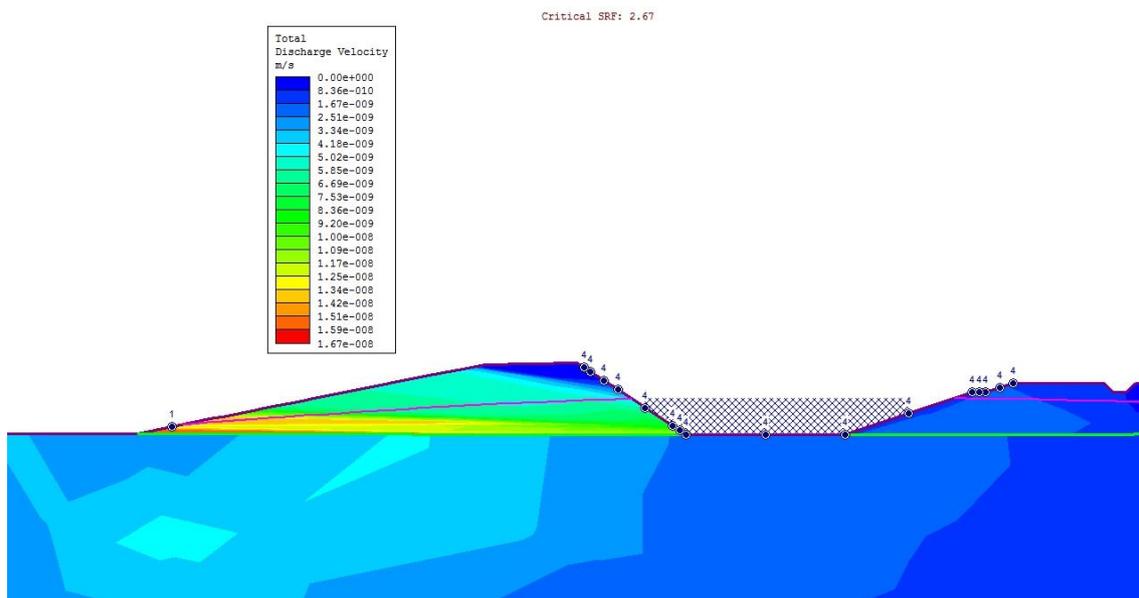


Ilustración 3-2. Perfil de la barrera sur analizado.

Tal y como se observa en la figura anterior, el factor de seguridad, considerando la lámina de agua es de 2,67, muy superior al mínimo exigido. Esto lo que nos indica es la baja probabilidad de rotura. Por otro lado, se representa la velocidad de descarga, es decir, a qué velocidad sale el agua por cada punto de la barrera. En este caso, lo que nos interesa es la velocidad de salida de agua por el talud sur, lo que indica que el agua está filtrando y traspasando la barrera. La velocidad de salida es muy baja, del orden de  $1,5 \times 10^{-8}$ , lo que indica que el agua encuentra una barrera muy buena en estos materiales y la probabilidad de que sea traspasada es muy baja.

Así, se ha estimado una probabilidad de fallo del sistema de contención del 0,20.

○ Probabilidad de afección a los cauces

La posibilidad de afección a los cauces se evalúa considerando los meses en que circula agua por el curso. Así, se estima que la acequia madre llevará agua siempre por lo que siempre podrá afectarse. Por otro lado, el Arroyo del Solano contiene un caudal continuo durante la época de estiaje por lo que también podrá ser afectado los 12 meses del año. Por lo tanto, en

el caso de que se vierta agua salada y falle el sistema de contención de la barrera sur, la probabilidad de afección a cauces es del 100%.

- Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso infiltración de agua salada es de 0,81.

### 3.5.2.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-8 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-8A	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	0,390	1,93 (2)
EA-8B	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	0,078 (0,39*0,2)	0,39 (1)

Tabla 3-8. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales.

### 3.5.3. SUCESO INICIADOR 9 INFILTRACIÓN DE AGUA SALADA DESDE Balsa DE LIXIVIADOS

#### 3.5.3.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 9 Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados* se han utilizado los siguientes estimadores:

- Permeabilidad del terreno bajo la balsa

Con este estimador se tiene en cuenta la permeabilidad del terreno de manera que influye en la posible infiltración en caso de rotura de la impermeabilización proyectada.

De este modo, se estima que, a menor permeabilidad del terreno, menor probabilidad de infiltración.

- Impermeabilización adecuada

Con este estimador se tiene en cuenta si la impermeabilización proyectada del vaso de la balsa.

De esta forma, una correcta impermeabilización supondrá una menor probabilidad de infiltración que una mala impermeabilización.

Ø Sistema de drenaje

Este estimador hace referencia a la disposición en la balsa de un sistema de drenaje que ayude a recoger las aguas, impidiendo que estas puedan infiltrarse en el terreno.

Así, un mejor sistema de drenaje se traduce en una menor probabilidad de infiltración.

Ø Plan de mantenimiento del sistema de drenaje

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje. De esta forma, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento disminuye la probabilidad de que se produzcan infiltraciones.

Ø Revisiones del sistema de drenaje

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de drenaje. Así, estas revisiones disminuirán el riesgo de infiltración.

Así, la probabilidad de ocurrencia del SI 9 es:

BALSA DE LIXIVIADOS						
Suceso iniciador 9: Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Fallo del sistema de impermeabilización	Permeabilidad del terreno bajo la balsa	Baja	Media/baja	Media/alta	Alta	1
	Impermeabilización adecuada del vaso en su construcción	Si y su vida útil cubre la vida del depósito	Si, pero su vida útil cubre más de la mitad de la vida del depósito, pero no su totalidad	Si, pero su vida útil cubre menos de la mitad de la vida del depósito	No	1
	Sistema de drenaje	Si tiene			No tiene	1
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Se dispone de un plan de mantenimiento			No se dispone de un plan de mantenimiento	1
	Revisiones del sistema de drenaje	Si se realizan revisiones			No se realizan revisiones	1
		<b>Suma Puntos</b>				<b>4</b>
	<b>Nº Estimadores</b>				<b>5</b>	
	<b>Puntuación Máxima</b>				<b>4</b>	
	<b>Probabilidad SI</b>				<b>0,20</b>	

Tabla 3-9. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 9: Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados

### 3.5.3.2. *Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales*

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el *SI 9 Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados*.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias normales

El dato de precipitación introducido en los cálculos procede de los registros históricos de la zona. Para la situación normal se ha considerado la precipitación máxima en 24h del periodo de retorno de 2 años siendo igual a 43,36 l/m<sup>2</sup> en 24h y para la situación de sobrevenida se ha

La ocurrencia de un episodio de lluvias normales supone un mayor riesgo de que se produzca un fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio normal el que tiene como periodo de retorno 2 años.

La probabilidad de ocurrencia durante la vida del proyecto (20 años) de un episodio de lluvias con un periodo de dos años, se calcula la probabilidad de que ese evento no ocurra. Así, la probabilidad de que ocurra durante un año es de 0,5.

Por lo tanto, la probabilidad de que no ocurra durante un año es de 0,5. La probabilidad de que el evento no ocurra durante los 20 años del proyecto es de  $0,5^{20}$ . Por lo tanto, la probabilidad de que sí ocurra ese evento es de  $1-0,5^{20}$ , de donde se deduce que la probabilidad de ocurrencia de un aguacero con periodo de retorno de 2 años es de 0,99.

#### o Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio extremo en que tiene como periodo de retorno de 100 años.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

#### o Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso de infiltración de agua salada es de 0,81.

### 3.5.3.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-9 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO	PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-9 Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados	0,304 (0,39*0,81)	1,52 (2)

Tabla 3-10. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

### 3.5.4. SUCESO INICIADOR 10 VERTIDO DE AGUA SALADA DESDE Balsa DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN POR DESBORDAMIENTO

#### 3.5.4.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 10 Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento* se han utilizado los siguientes estimadores:

#### **Existencia de un curso de agua cercano**

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un curso, conducción o canal cercano a la balsa que pudiera suponer un aporte de agua adicional a la balsa.

Ante la eventualidad de un aporte de una cantidad considerable de agua a la balsa, podría producirse un desbordamiento de la misma. Por ello, se estima que la existencia de un curso de agua cercano aumenta la probabilidad de vertido desde balsa por desbordamiento.

#### **Sistema de drenaje de la balsa**

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier aporte de agua extra a balsas que contribuya al desbordamiento.

De esta forma, se ha estimado que las balsas que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido por desbordamiento que las balsas que no disponen de dicho sistema.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje de la balsa se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia.

### Plan de mantenimiento del sistema de drenaje

Con este estimador se valora positivamente la existencia de un plan de mantenimiento adecuado del sistema de drenaje de la balsa.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y deficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia.

### Sistema de desagüe

Este estimador se refiere a la existencia de un sistema de desagüe en la balsa que pueda liberar una cierta cantidad de líquidos a otras balsas o depósitos en caso de emergencia, impidiendo así un vertido por desbordamiento.

En la categorización propuesta el sistema de desagüe se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### Plan de mantenimiento del sistema de desagüe

Un deficiente o inexistente plan de mantenimiento del sistema de desagüe de la balsa provocaría la obstrucción de las conducciones que lo forman limitando notablemente su funcionamiento.

Por ello, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento de la balsa.

### Revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe de forma periódica.

De esta forma, si se realizan revisiones la probabilidad de vertido por desbordamiento de la balsa será menor y, por el contrario, si no se realizan revisiones la probabilidad de ocurrencia de vertido será mayor.

### Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa, valora la posibilidad de desbordamiento debido a la ocurrencia de lluvias severas.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por desbordamiento de la balsa será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

**Control del nivel de líquidos en la balsa**

Este estimador tiene en cuenta la realización de un control periódico del nivel que alcanzan los líquidos en balsa. De esta forma, se estima que una balsa en la que se controla periódicamente el nivel de líquidos tiene una menor probabilidad de vertido por desbordamiento que una balsa en la que no se realice este tipo de control.

**Establecimiento de niveles de alerta y alarma**

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución del nivel de líquidos en la balsa, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan.

De esta forma, se estima que el establecimiento de dicho tipo de sistemas que detecten niveles de alerta y alarma en el nivel de líquidos contenidos en la balsa disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por desbordamiento.

BALSAS DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN						
Suceso iniciador 10: Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Desbordamiento de la balsa por fallo en la gestión, lluvias, error humano, etc.	Existencia un curso de agua cercana	No existe un curso de agua cercano a la balsa o alguna conducción o canal que pudiera suponer un aporte de agua extra a la balsa			Existe un curso de agua cercano a la balsa o alguna conducción o canal que pudiera suponer un aporte de agua extra a la balsa	1
	Sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2
	Sistema de desagüe	La balsa dispone de un sistema de desagüe			La balsa no dispone de un sistema de desagüe	1
	Plan de mantenimiento del sistema de desagüe	Se dispone de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe			No se dispone de un plan de mantenimiento del sistema de desagüe	1

BALSAS DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN						
Suceso iniciador 10: Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Revisiones a las canalizaciones del sistema de desagüe	Sí			No	1
	Régimen pluviométrico	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2
	Control del nivel de líquidos en la balsa	Se controla el nivel de líquidos en la balsa			No se controla el nivel de líquidos en la balsa	1
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa	Se han establecido niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa			No se han establecido niveles de alerta y alarma para el sistema de control del nivel de líquidos en la balsa	1
<b>Suma Puntos</b>						<b>12</b>
<b>Nº Estimadores</b>						<b>9</b>
<b>Puntuación Máxima</b>						<b>4</b>
<b>Probabilidad SI</b>						<b>0,33</b>

Tabla 3-11. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 10: Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento

### 3.5.4.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

○ Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de desbordamiento de las balsas. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias.

El sistema de balsas del proyecto está diseñado considerando grandes aguaceros, por lo tanto, no es necesario considerar la situación de lluvias normales ya que está considerada en el diseño. Por lo tanto, para estimar la probabilidad de desbordamiento se tendrá en cuenta la probabilidad de ocurrencia del aguacero con periodo de retorno de 500 años. A continuación, se describe la estimación de probabilidad del citado aguacero.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/500)^{20}$ , es decir, de 0,039.

Ø Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso infiltración de agua salada es de 0,81.

3.5.4.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-10 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-10A	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento (situación sobrevenida)	0,013 (0,33*0,039)	0,07 (0)
EA-10A	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por desbordamiento (situación sobrevenida) y contaminación a aguas subterráneas	0,011 (0,33*0,039*0,81)	0,05 (0)

Tabla 3-12. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

3.5.5. SUCESO INICIADOR 11 VERTIDO DE AGUA SALADA DESDE LA Balsa DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN POR ROTURA DE DIQUE

3.5.5.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 11 Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique* se han utilizado los siguientes estimadores:

Ø **Antigüedad del dique**

Con este estimador se tiene en cuenta la antigüedad del dique de contención de la balsa. De esta forma, se estima que los diques más antiguos tienen mayor probabilidad de producir un vertido por rotura que los diques de menor edad.

#### Disposición de los residuos en la balsa

Este estimador se refiere a la gestión de la disposición de los residuos en la balsa valorando positivamente que los residuos se dispongan de tal forma que se minimicen las tensiones que favorecen la rotura del dique.

La disposición de los de los residuos en la balsa influye directamente en las tensiones ejercidas sobre el dique y por lo tanto en la estabilidad del mismo. Por ello, si los residuos son vertidos de tal forma que minimicen las tensiones que pueden provocar la rotura del dique, la probabilidad de rotura del dique disminuirá y, por el contrario, si no se controla la disposición de los residuos o se realiza de tal forma que favorezca el aumento de las tensiones desestabilizadoras en el dique la probabilidad de rotura de dique aumentará.

Dicha disposición está muy relacionada con la situación del punto de vertido de los residuos a la balsa. Por ejemplo, el hecho de que el vertido se realice en la cola de la balsa presenta una situación más desfavorable desde el punto de vista de la estabilidad del dique, puesto que existe el empuje de agua o fase líquida del residuo contra la estructura (Cancela Rey et al., 1987). Por ello, puede decirse que las balsas en las que el vertido de residuos se realiza desde la coronación del dique tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido que las balsas en las que los residuos se vierten desde la cola de la balsa.

#### Auscultación hidráulica

La auscultación hidráulica consiste en obtener la información necesaria para comprobar el comportamiento del dique y detectar cualquier indicio sobre condiciones adversas que puedan comprometer su estabilidad, realizando de este modo una valoración continua de la seguridad.

En la auscultación hidráulica, los parámetros hidráulicos más importantes que deben controlarse son el caudal de las filtraciones y la presión intersticial. El equipo empleado en los sistemas de medida de los parámetros hidráulicos puede variar desde unos sencillos pozos para observar el nivel freático hasta sofisticados sensores para medir presiones intersticiales que proporcionan registros en lugares concretos.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los parámetros hidráulicos del dique, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por una deficiente auscultación hidráulica del dique.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación hidráulica se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/no se realiza indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### **Auscultación deformacional y tensional**

La auscultación deformacional y tensional consiste en el control de los movimientos horizontales y verticales del dique. Estos movimientos se controlan mediante diferentes técnicas topográficas utilizando dispositivos de medición como pueden ser los teodolitos de precisión, inclinómetros, distanciómetros, etc.

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de los movimientos del dique, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por un fallo en la auscultación tensional y deformacional.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación deformacional y tensional se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/no se realiza indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### **Auscultación sísmica**

La auscultación sísmica consiste en medir tanto las vibraciones naturales (terremotos) como las vibraciones provocadas por actividades humanas (voladuras) que pueden provocar procesos de licuefacción en los materiales que forman el dique. El desarrollo de procesos de licuefacción en el dique supondría una drástica disminución de la seguridad y un aumento de las filtraciones.

La auscultación sísmica se realiza principalmente mediante dispositivos que miden la actividad sísmica (sismógrafos) además de otros dispositivos que miden la aceleración del terreno en dos o más planos (acelerógrafos).

Con este estimador se tiene en cuenta la realización de una auscultación adecuada de las vibraciones que afectan al dique, valorando así la posibilidad de que ocurra un deslizamiento causado por una auscultación sísmica insuficiente o inexistente.

En la categorización propuesta la realización de la auscultación sísmica se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/no se realiza indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### **Ubicación de la balsa en zona sísmica**

La ubicación de la balsa en una zona sísmica aumentará la probabilidad de ocurrencia de vertido ya que los sismos pueden provocar procesos de licuefacción que facilitan los deslizamientos de materiales que causarían la rotura del dique.

### **Plan de mantenimiento**

Con este estimador se valora positivamente la existencia de un plan de mantenimiento adecuado de las condiciones de la balsa.

En la categorización propuesta el plan de mantenimiento de la balsa se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador y deficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

#### **Frecuencia de los controles la infiltración del agua de lluvia**

Con este estimador se valora si la frecuencia de los controles de la infiltración de agua de lluvia en el dique es superior a la indicada por la normativa.

Si la infiltración del agua de lluvia no se controla adecuadamente, se pueden generar inestabilidades en los materiales que forman el dique que pueden producir deslizamientos de materiales.

De esta forma, se estima que si la frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia es superior a la mínima indicada por la normativa la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura del dique será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

#### **Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control**

Este estimador se refiere al establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación de la balsa.

El establecimiento de niveles de alerta y alarma consiste en la instalación de un sistema automatizado que revisa la evolución de todos los controles o sensores de la auscultación de la balsa, detectando si los niveles de alerta y alarma se sobrepasan. Estos niveles de alerta y alarma deben ser definidos por un equipo de técnicos altamente cualificado que, además haya analizado previamente el comportamiento la balsa.

De esta forma, se estima que el establecimiento de niveles de alerta y alarma para los sistemas de control de los parámetros de auscultación de la balsa disminuye la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del dique.

#### **Revisiones de las condiciones del dique por observación directa**

Este estimador tiene en cuenta que las revisiones de las condiciones del dique sean realizadas por observación directa por parte de personal responsable de la vigilancia de la misma.

La observación directa de las condiciones del dique se valora positivamente, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde la balsa por rotura del dique, frente a la centralización y automatización de la auscultación que no debe sustituir nunca la observación directa por parte del personal responsable.

#### **Coeficiente de seguridad**

Mediante este estimador se tiene en cuenta el coeficiente de seguridad con el que se ha diseñado y construido el depósito dique.

El factor de seguridad exigido por Ley viene establecido en la ITC 08.02.01, dado que era la normativa de aplicación para este tipo de depósitos hasta que el RD 975/2009 entró en vigor y dado que en dicho Real Decreto no se dan estos valores. Así, se establecen los siguientes valores, dependiendo de tres tipos de solicitudes:

TIPO DE SOLICITACIÓN FACTOR DE SEGURIDAD	Normal	Accidental	Extrema
	1,2	1,3	1,4

De esta forma, si el depósito se construye con el coeficiente de seguridad mínimo exigido por la Ley se le atribuirá una mayor probabilidad de ocurrencia de vertido por rotura que si fue construido con un coeficiente de seguridad significativamente mayor que el exigido por la Ley.

### Ø Sistema de drenaje

Los sistemas de drenaje consisten en conducciones internas y/o externas a la balsa que conducen las aguas pluviales evitando así cualquier infiltración que pueda comprometer la estabilidad de la misma.

De esta forma, se ha estimado que las balsas que disponen de un sistema de drenaje tienen una menor probabilidad de ocurrencia de vertido que las balsas que no disponen de dicho sistema.

En la categorización propuesta el sistema de drenaje de la balsa se valora mediante una escala donde excelente indica una menor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador e insuficiente/inexistente indica una mayor probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

### Ø Frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje

Con este estimador se valora si la frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje de la balsa es superior a la indicada por la normativa.

De esta forma, se estima que si la frecuencia de los controles es superior a la mínima indicada por la normativa la probabilidad de que se produzca un vertido por rotura del dique será menor que si, por el contrario, la frecuencia de los controles es igual a la mínima indicada por la normativa.

### Ø Pendiente máxima del talud del dique

Este estimador tiene en cuenta la pendiente del talud del dique expresada mediante el porcentaje (%).

A mayor pendiente el talud del depósito tendrá mayor propensión a sufrir deslizamientos de materiales que pueden provocar la rotura del mismo. De esta forma, se estima que si el talud exterior tiene un ángulo que coincide con el ángulo de reposo del material que lo conforma la probabilidad de ocurrencia de un vertido por rotura del dique será mayor que si el talud tiene un ángulo menor, disminuyendo la probabilidad según disminuye este ángulo.

### Estudio exhaustivo geológico-geotécnico del emplazamiento

Con este estimador se tiene en cuenta la realización, antes de la construcción de un dique asociada a una balsa, de un estudio exhaustivo geológico y geotécnico del emplazamiento de ésta, incluyendo ensayos de laboratorio tanto de los materiales del subsuelo como de los materiales utilizados en su construcción.

De esta forma, las balsas que dispongan de dicho estudio tendrán una menor probabilidad de rotura por fallo constructivo y, por tanto, de vertido del contenido de la balsa, que las balsas que no dispongan el mencionado estudio.

### Régimen pluviométrico

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa, valora la posibilidad de la rotura de un dique de tierras asociada a la balsa debido a la ocurrencia de lluvias severas.

La infiltración de agua en el dique produce fuerzas desestabilizadoras en la misma, por ello la ocurrencia de lluvias severas que los sistemas de drenaje no puedan asumir producirían infiltraciones que comprometerían la estabilidad del dique. De hecho, gran parte de los deslizamientos producidos en acumulaciones de materiales sueltos, como son los diques de tierras, se producen después de periodos lluviosos.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de ocurrencia de un vertido desde balsa por rotura del dique será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

Suceso iniciador 11: Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por rotura de dique	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
		1	2	3	4	
<b>Causas</b>						
<b>Rotura del dique de contención por deslizamiento de materiales debido a acción sísmica, acción del nivel freático, fallo constructivo, fallo en la auscultación, lluvias severas, etc.</b>	<b>Antigüedad del dique</b>	El dique tiene una antigüedad media inferior al 33% de su vida útil	El dique tiene una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	El dique tiene una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	El dique tiene una antigüedad media superior a su vida útil	1
	<b>El vertido de residuos a la balsa se realiza de tal forma que minimice las tensiones que pueden provocar la rotura del dique</b>	Sí			No	1

Suceso iniciador 11: Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por rotura de dique	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
		1	2	3	4	
Causas		1	2	3	4	Puntos
	Auscultación hidráulica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza	2
	Auscultación deformacional y tensional	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza	2
	Auscultación sísmica	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/No se realiza	2
	Ubicación de la balsa en zona sísmica	No			Sí	1
	Plan de mantenimiento de la balsa	Excelente	Adecuada	Suficiente	Deficiente/Inexistente	2
	Frecuencia de los controles de la infiltración del agua de lluvia en el dique	La frecuencia de los controles es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de los controles es igual a la mínima establecida por la normativa	1
	Establecimiento de niveles de alerta y alarma para los diferentes sistemas de control de parámetros de auscultación del dique	Sí			No	1
	Revisiones de las condiciones del dique por observación directa del personal responsable de la vigilancia del mismo	Sí			No	1
	Coefficiente de seguridad del dique	Mayor que 2	Entre 1,4 y 2	Entre 1,2 y 1,4	Menor que 1,2	2
	Sistema de drenaje de la balsa	Excelente	Adecuada	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2

Suceso iniciador 11: Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por rotura de dique	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
		1	2	3	4	
<b>Causas</b>						
	<b>Frecuencia de las revisiones a las conducciones del sistema de drenaje</b>	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa	1
	<b>Pendiente del talud del dique</b>	Menor del 35%	Entre el 35 y 50 %	Entre el 50% y el ángulo de reposo de los materiales	El ángulo de la pendiente máxima coincide con el ángulo de reposo del material	2
	<b>Estudio de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento</b>	Antes de la construcción del dique se realizó un estudio exhaustivo de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	Antes de la construcción del dique se realizó un estudio de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	Antes de la construcción del dique se realizó un estudio básico de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	Antes de la construcción del dique no se realizó un estudio de las condiciones geológicogeotécnicas del emplazamiento incluyendo ensayos de laboratorio de los materiales	2
	<b>Régimen pluviométrico</b>	Precipitación media muy inferior a la media autonómica	Precipitación media inferior a la media autonómica	Precipitación media superior a la media autonómica	Precipitación media muy superior a la media autonómica	2
					<b>Suma Puntos</b>	<b>25</b>
					<b>Nº Estimadores</b>	<b>16</b>
					<b>Puntuación Máxima</b>	<b>4</b>
					<b>Probabilidad SI</b>	<b>0,39</b>

Tabla 3-13. Probabilidad de ocurrencia del SI 11: Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique

### 3.5.5.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el SI 11 *Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique*.

#### ○ Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias normales

La ocurrencia de un episodio de lluvias normales supone un mayor riesgo de que se produzca un fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio normal el que tiene como periodo de retorno 2 años.

La probabilidad de ocurrencia durante la vida del proyecto (20 años) de un episodio de lluvias con un periodo de dos años, se calcula la probabilidad de que ese evento no ocurra. Así, la probabilidad de que ocurra durante un año es de 0,5.

Por lo tanto, la probabilidad de que no ocurra durante un año es de 0,5. La probabilidad de que el evento no ocurra durante los 20 años del proyecto es de  $0,5^{20}$ . Por lo tanto, la probabilidad de que si ocurra ese evento es de  $1-0,5^{20}$ , de donde se deduce que la probabilidad de ocurrencia de un aguacero con periodo de retorno de 2 años es de 0,99.

#### ○ Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio extremo en que tiene como periodo de retorno de 100 años.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

#### ○ Probabilidad de actuación de la contención

La barrera de protección sur actuará de sistema de contención en el caso de que se produzca un vertido de aguas saladas desde la balsa de lixiviados. Para poder comprobar la utilidad real de esta barrera y, por tanto, la probabilidad de fallo de la misma se ha modelizado la situación de que se vierta agua y llegue hasta la barrera.

Para ello, se ha utilizado el programa Phase 8.0. Se han introducido los valores de permeabilidad de los materiales de la barrera y sus características geotecnias. Para situarse en el lado de la seguridad, se ha simulado una lámina de agua retenida de unos 4 metros de altura.

Así, se han obtenido los siguientes resultados:

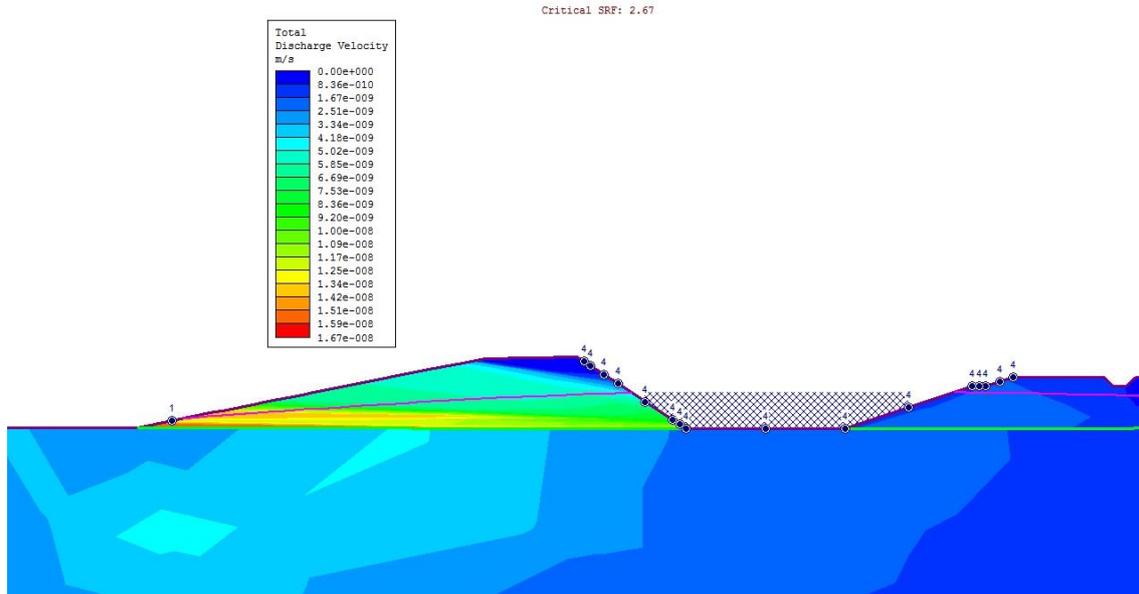


Ilustración 3-3. Perfil de la barrera sur analizado.

Tal y como se observa en la figura anterior, el factor de seguridad, considerando la lámina de agua es de 2,67, muy superior al mínimo exigido. Esto lo que nos indica es la baja probabilidad de rotura. Por otro lado, se representa la velocidad de descarga, es decir, a qué velocidad sale el agua por cada punto de la barrera. En este caso, lo que nos interesa es la velocidad de salida de agua por el talud sur, lo que indica que el agua está filtrando y traspasando la barrera. La velocidad de salida es muy baja, del orden de  $1,5 \times 10^{-8}$ , lo que indica que el agua encuentra una barrera muy buena en estos materiales y la probabilidad de que sea traspasada es muy baja.

Así, se ha estimado una probabilidad de fallo del sistema de contención del 0,20.

o Probabilidad de afección a los cauces

La posibilidad de afección a los cauces se evalúa considerando los meses en que circula agua por el curso. Así, se estima que la acequia madre llevará agua siempre por lo que siempre podrá afectarse. Por otro lado, el Arroyo del Solano contiene un caudal continuo durante la época de estiaje por lo que también podrá ser afectado los 12 meses del año. Por lo tanto, en el caso de que se vierta agua salada y falle el sistema de contención de la barrera sur, la probabilidad de afección a cauces es del 100%.

o Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso infiltración de agua salada es de 0,81.

### 3.5.5.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-11 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-11A	Vertido de agua salada desde balsas de regulación/evaporación por rotura de dique	0,390	1,93 (2)
EA-11A	Vertido de agua salada desde balsas de regulación/evaporación por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	0,078 (0,39*0,2)	0,39 (1)

Tabla 3-14. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

### 3.5.6. SUCESO INICIADOR 12 INFILTRACIÓN DE AGUA SALADA DESDE Balsa DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN

#### 3.5.6.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 12 Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación* se han utilizado los siguientes estimadores:

- Permeabilidad del terreno bajo la balsa

Con este estimador se tiene en cuenta la permeabilidad del terreno de manera que influye en la posible infiltración en caso de rotura de la impermeabilización proyectada.

De este modo, se estima que, a menor permeabilidad del terreno, menor probabilidad de infiltración.

- Impermeabilización adecuada

Con este estimador se tiene en cuenta si la impermeabilización proyectada del vaso de la balsa.

De esta forma, una correcta impermeabilización supondrá una menor probabilidad de infiltración que una mala impermeabilización.

- Sistema de drenaje

Este estimador hace referencia a la disposición en la balsa de un sistema de drenaje que ayude a recoger las aguas, impidiendo que estas puedan infiltrarse en el terreno.

Así, un mejor sistema de drenaje se traduce en una menor probabilidad de infiltración.

Plan de mantenimiento del sistema de drenaje

Con este estimador se tiene en cuenta la existencia de un plan de mantenimiento del sistema de drenaje. De esta forma, se estima que la existencia de un plan de mantenimiento disminuye la probabilidad de que se produzcan infiltraciones.

Revisiones del sistema de drenaje

Este estimador valora positivamente que se realicen revisiones a las canalizaciones del sistema de drenaje. Así, estas revisiones disminuirán el riesgo de infiltración.

Así, la probabilidad de ocurrencia del SI 12 es:

BALSAS DE EVAPORACIÓN/REGULACIÓN						
Suceso iniciador 12: Infiltración de agua salada desde balsa de evaporación/regulación	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Fallo del sistema de impermeabilización	Permeabilidad del terreno bajo la balsa	Baja	Media/baja	Media/alta	Alta	1
	Impermeabilización adecuada del vaso en su construcción	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2
	Vida útil del sistema de impermeabilización	Su vida útil cubre la vida del depósito	Su vida útil cubre más de la mitad de la vida del depósito, pero no su totalidad	Su vida útil cubre menos de la mitad de la vida del depósito	No	2
	Sistema de drenaje	Excelente	Adecuado	Suficiente	Insuficiente/Inexistente	2
	Plan de mantenimiento del sistema de drenaje	Se dispone de un plan de mantenimiento			No se dispone de un plan de mantenimiento	1
	Revisiones del sistema de drenaje	Si se realizan revisiones			No se realizan revisiones	1
					<b>Suma Puntos</b>	<b>9</b>
				<b>Nº Estimadores</b>	<b>6</b>	
				<b>Puntuación Máxima</b>	<b>4</b>	
				<b>Probabilidad SI</b>	<b>0,38</b>	

Tabla 3-15. Probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 12: Infiltración de agua salada desde balsas de regulación/evaporación

3.5.6.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el *SI 12 Infiltración de agua salada desde balsas de regulación/evaporación*.

○ Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias normales

El dato de precipitación introducido en los cálculos procede de los registros históricos de la zona. Para la situación normal se ha considerado la precipitación máxima en 24h del periodo de retorno de 2 años siendo igual a 43,36 l/m<sup>2</sup> en 24h y para la situación de sobrevenida se ha

La ocurrencia de un episodio de lluvias normales supone un mayor riesgo de que se produzca un fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la explotación está activa, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio normal el que tiene como periodo de retorno 2 años.

La probabilidad de ocurrencia durante la vida del proyecto (20 años) de un episodio de lluvias con un periodo de dos años, se calcula la probabilidad de que ese evento no ocurra. Así, la probabilidad de que ocurra durante un año es de 0,5.

Por lo tanto, la probabilidad de que no ocurra durante un año es de 0,5. La probabilidad de que el evento no ocurra durante los 20 años del proyecto es de  $0,5^{20}$ . Por lo tanto, la probabilidad de que si ocurra ese evento es de  $1-0,5^{20}$ , de donde se deduce que la probabilidad de ocurrencia de un aguacero con periodo de retorno de 2 años es de 0,99.

○ Probabilidad de ocurrencia de episodio de lluvias extremas

La ocurrencia de un episodio de lluvias extremas aumenta la probabilidad de fallo en el depósito. Para estimar la probabilidad de que este episodio de lluvias se produzca durante los años en los que la hay actividad, se han tenido en cuenta los periodos de retorno de lluvias. Así, se considera un episodio extremo en que tiene como periodo de retorno de 100 años.

Considerando que el proyecto dura 20 años y la metodología expuesta en el epígrafe anterior, la probabilidad de que ocurra un evento de lluvias extremas será:  $1-(1-1/100)^{20}$ , es decir, de 0,18.

○ Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso infiltración de agua salada es de 0,81.

### 3.5.6.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-12 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-12	Infiltración de agua salada desde balsas de regulación/evaporación	0,304 (0,39*0,81)	1,52 (2)

Tabla 3-16. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

### 3.5.7. SUCESO INICIADOR 13 VERTIDO DE AGUA SALADA DESDE CONDUCCIÓN

#### 3.5.7.1. *Estimación de la probabilidad de ocurrencia del Suceso Iniciador 13 Vertido de aguas saladas desde conducción*

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia del *SI Vertido de agua salada desde conducción* se han utilizado los siguientes estimadores:

##### **Experiencia de los empleados a cargo de las conducciones**

La experiencia de los empleados valora la posibilidad de un error humano atribuido a los técnicos a cargo de las conducciones que pueda originar un vertido de aguas saladas. De este modo, se estima que una mayor experiencia en las labores que implica la operación disminuye la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador.

##### **Formación de los empleados a cargo de las conducciones**

Al igual que la experiencia, la formación de los empleados también tiene en cuenta el error humano como posible causa atribuible al suceso iniciador.

Mediante esta variable se estima que, si los empleados a cargo de las conducciones han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación que realizan, la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas será menor que si los empleados no reciben este tipo de formación.

##### **Antigüedad de las conducciones**

Con este estimador se ha considerado que la antigüedad de las conducciones influye en la probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador. De esta forma, cuanto mayor sea la antigüedad mayor será la probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas.

De cara a categorizar este estimador será adecuado considerar la vida útil de los dispositivos que conforman las conducciones, teniendo en cuenta la curva de tasa de fallos típica, también llamada curva de bañera, asumiendo que los equipos han superado la primera etapa de fallos iniciales o infantiles que corresponde generalmente a la existencia de dispositivos defectuosos con una tasa de fallo superior a la normal (Creus Solé, 1991).

##### **Frecuencia de las revisiones a las conducciones**

Este estimador tiene en cuenta la frecuencia con la que se realizan las revisiones a conducciones del sistema de drenaje interior.

De este modo se estima que si la frecuencia de las revisiones a las conducciones es superior a la mínima establecida por la normativa la probabilidad de ocurrencia de un vertido será menor.

#### **Planes de inspección y mantenimiento del sistema de drenaje interior**

Este estimador se refiere a la aplicación de planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos de las conducciones, valorando así la posibilidad de un fallo en dicho sistema.

Se entiende por mantenimiento correctivo al que es efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. Por otro lado, el mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares —horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas—.

De esta forma, se ha considerado que las instalaciones que aplican planes de inspección y mantenimiento preventivos y correctivos al sistema de drenaje interior y cuya aplicación periódica es registrada tendrán asociada una menor probabilidad de que se produzca un vertido de aguas contaminadas, mientras que las instalaciones que únicamente aplican mantenimientos correctivos tendrán asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del mismo suceso iniciador.

#### **Régimen pluviométrico**

El régimen pluviométrico como estimador de la probabilidad de vertido de aguas contaminadas, valora la posibilidad de que se produzca una inundación en las galerías. Dicha inundación provocaría una infiltración de aguas que han estado en contacto con el mineral debido a la ocurrencia de lluvias severas que dificultaran el funcionamiento del sistema de drenaje interior.

La categorización propuesta compara la precipitación media de la zona de estudio con la precipitación media autonómica estimando que si la precipitación media de la zona es muy superior a la media autonómica la probabilidad de vertido será mayor que si la precipitación media es inferior o muy inferior a la precipitación media autonómica.

#### **Señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria**

Valorar que la señalización de las zonas de paso de maquinaria en el recinto de la explotación minera, así como en las zonas donde se realizan maniobras de carga y descarga, es una señalización adecuada indica una mayor o menor probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje interior. En este contexto, se entiende por objeto

móvil a toda clase de vehículos que hagan uso de dichas zonas de paso y que hagan labores de carga y descarga ya sean vehículos, camiones, excavadoras, etc.

De este modo, a las instalaciones que tengan una señalización adecuada de dichas zonas se les atribuye una menor probabilidad de vertido que a las instalaciones que no dispongan de una adecuada señalización de las zonas de paso y de carga y descarga de la maquinaria.

**Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad**

La disposición de las conducciones del sistema de drenaje interior respecto a estructuras pertenecientes a la explotación minera que pudieran eventualmente ver comprometida su estabilidad estructural es un estimador de la probabilidad de vertido de aguas contaminadas desde el sistema de drenaje interior.

Las conducciones pueden estar contenidas, atravesar, o descansar sobre estructuras que pueden perder su estabilidad estructural como pueden ser diques, taludes, etc. Estas estructuras pueden experimentar movimientos que pueden producir fugas o roturas en las conducciones, por tanto, las instalaciones que tengan conducciones con este tipo de características tendrán una mayor probabilidad de vertido por fuga o rotura de una conducción.

CONDUCCIONES ASOCIADAS A GESTIÓN DE RESIDUOS						
Suceso iniciador 13: Vertido de agua salada desde conducción	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
Fuga o rotura en conducción por impacto de objeto móvil, desgaste del material. Sobrepresión, error humano, etc.	Experiencia de los empleados a cargo de las conducciones	Los empleados tienen más de 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 3 a 5 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen de 1 a 3 años de experiencia en la operación	Los empleados tienen menos de 1 año de experiencia en la operación	2
	Formación de los empleados a cargo de las conducciones	Los empleados han recibido formación sobre los riesgos que conlleva la operación, la cual es actualizada cuando cambian las condiciones			Los empleados no reciben formación sobre los riesgos que conlleva la operación	1

CONDUCCIONES ASOCIADAS A GESTIÓN DE RESIDUOS						
Suceso iniciador 13: Vertido de agua salada desde conducción	Estimador de la probabilidad	Probabilidad de ocurrencia				Puntos
Causas		1	2	3	4	
	Antigüedad de las conducciones	Las conducciones tienen una antigüedad media inferior al 33% de vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media comprendida entre el 33% y el 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior al 66% de su vida útil	Las conducciones tienen una antigüedad media superior a su vida útil	1
	Frecuencia de las revisiones a las conducciones	La frecuencia de las revisiones es superior a la mínima establecida por la normativa			La frecuencia de las revisiones es igual a la mínima establecida por la normativa	1
	Señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria	La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria es adecuada			La señalización de las zonas de paso y carga y descarga de la maquinaria no es adecuada	1
	Disposición de las conducciones respecto a estructuras que eventualmente puedan perder su estabilidad estructural (diques, taludes, etc.)	Las conducciones no descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural			Las conducciones descansan, atraviesan o están contenidas en una estructura que eventualmente puede perder su estabilidad estructural	1
					<b>Suma Puntos</b>	<b>7</b>
					<b>Nº Estimadores</b>	<b>6</b>
					<b>Puntuación Máxima</b>	<b>4</b>
					<b>Probabilidad SI</b>	<b>0,29</b>

Tabla 3-17. Probabilidad de ocurrencia del SI 13: Vertido de agua salada desde conducción

### 3.5.7.2. Estimación de probabilidades de ocurrencia de los escenarios consecuenciales

La probabilidad de ocurrencia de los escenarios consecuenciales se estima a partir de la combinación de las probabilidades de ocurrencia de los factores condicionantes identificados para cada suceso iniciador.

A continuación, se describe la estimación de la probabilidad de ocurrencia para cada factor condicionante identificado en el análisis para el *SI 13 Vertido de agua salada desde conducción*.

○ Probabilidad de afección a las aguas subterráneas

Tal y como se ha justificado anteriormente, la probabilidad de afección al agua subterránea en caso infiltración de agua salada es de 0,81.

### 3.5.7.3. Conclusiones

Según todo lo expuesto, del SI-13 se consideran las siguientes probabilidades:

ESCENARIO		PROBABILIDAD	ESCALA DE 1-5
EA-13	Vertido de aguas saladas desde conducciones	0,29	1,46 (2)

Tabla 3-18. Probabilidad de ocurrencia de los Escenarios Accidentales

## 3.6. ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES

### 3.6.1. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VERTIDA DESDE LA Balsa DE LIXIVIADOS POR DESBORDAMIENTO

El volumen de agua vertida desde la balsa de lixiviados se asimila al que discurre por el depósito salino, ya que esta recoge las aguas procedentes del mismo. Es decir, se calcula estimando el volumen de precipitación que podría llegar hasta la balsa en diferentes episodios de precipitaciones. De esta forma, siguiendo un criterio de prudencia en la valoración se asume que los mayores desbordes vendrían ocasionados por la aportación de grandes volúmenes de agua en cortos periodos de tiempo.

Se deben de considerar dos tipos de situaciones: lluvias normales y sobrevenidas.

Este volumen vertido irá directamente a la balsa de lixiviados por lo que se debe estimar el volumen de agua que llega a la balsa. Con el fin de calcular el volumen de agua que podría alcanzar la balsa bajo estas hipótesis accidentales se ha estimado la superficie de la cuenca vertiente a la balsa (en m<sup>2</sup>). Esta superficie se multiplica por la precipitación (en l/m<sup>2</sup>) y se obtiene el volumen teórico que llegaría a la balsa.

El dato de precipitación introducido en los cálculos procede de los registros históricos de la zona. Para la situación normal se ha considerado la precipitación máxima en 24h del periodo de retorno de 2 años siendo igual a 43,36 l/m<sup>2</sup> en 24h y para la situación de sobrevenida se ha

considerado el evento extremo registrado el día 18 de octubre de 2012 en la estación de Javier (110,80 l/m<sup>2</sup>).

Se ha considerado que la cuenca vertiente es la totalidad del depósito en su máximo desarrollo, es decir, unos 581.750 m<sup>2</sup>.

Con el fin de introducir la posibilidad de que parte de la precipitación se infiltre en el suelo y no alcance la balsa se ha introducido en el modelo un coeficiente reductor. Este coeficiente, siguiendo un criterio de prudencia y atendiendo a la naturaleza relativamente impermeable del suelo, se ha fijado en el 95 por ciento.

Así, los volúmenes estimados para cada escenario son:

SITUACIÓN	SUPERFICIE (M <sup>2</sup> )	P <sub>MAX24H</sub> (L/M <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	VOLUMEN CONSIDERANDO INFILTRACIÓN (M <sup>3</sup> )
Lluvias normales	518.750	43,36	22.493	21.368
Lluvias extremas	518.750	110,80	57.4778	54.604

La balsa de lixiviados está diseñada para almacenar un volumen de 60.000 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, se considera que no existe riesgo de que el agua de escorrentía se vierta fuera de la misma para los dos sucesos iniciadores considerados.

### 3.6.2. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VERTIDA DESDE LA Balsa DE LIXIVIADOS POR ROTURA DE DIQUE

La balsa de lixiviados tiene parte de su diseño en excavación y parte con un dique de contención. En el escenario de que se rompa el dique de una balsa, el agua que se puede verter será la que se encuentra por encima de la cota del terreno original, ya que el resto, al estar en terreno excavado, no será vertida. En concreto, el volumen máximo que puede ser vertido es de: 66.200 m<sup>3</sup>.

### 3.6.3. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VERTIDA DESDE LAS BALSAS DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN POR DESBORDAMIENTO

La probabilidad de ocurrencia de el escenario de vertido de agua salada desde las balsas de regulación/evaporación por desbordamiento se ha estimado en un 0,013 y en un 0,011. En el presente análisis se han desestimado todos los escenarios accidentales que tengan una probabilidad menor de 2%, por lo que no es necesario calcular el volumen vertido por desbordamiento porque se considera que es muy improbable que ocurra.

Además, se contemplan una serie de medidas de actuación en caso de un evento de lluvias superior a los contemplados en los cálculos.

#### 3.6.4. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VERTIDA DESDE LA Balsa DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN POR ROTURA DE DIQUE

La balsa de regulación/evaporación que tiene mayor capacidad es la de evaporación 4. Esta balsa tiene parte de su diseño en excavación y parte con un dique de contención. En el escenario de que se rompa el dique de una balsa, el agua que se puede verter será la que se encuentra por encima de la cota del terreno original, ya que el resto, al estar en terreno excavado, no será vertida. En concreto, el volumen máximo que puede ser vertido es de: 161.432,4 m<sup>3</sup>.

#### 3.6.5. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA DE INFILTRACIÓN DESDE LA Balsa DE REGULACIÓN/EVAPORACIÓN

Para estimar el volumen de agua que se infiltra en caso de fallo del sistema de impermeabilización, se ha considerado lo siguiente:

- Se ha seleccionado la balsa que alberga mayor volumen (balsa de evaporación 4)
- Se ha considerado que la rotura de la lámina es de tamaño mediano. Por ejemplo, una raja de unos centímetros.
- Existe un sistema de control de infiltraciones que detectará la misma antes de que se llegue a infiltrar todo el volumen almacenado.

Teniendo en cuenta estos factores, se ha estimado una infiltración del 5 % del volumen albergado en la balsa de evaporación 4 (161.432,4 m<sup>3</sup>), es decir, 8.071,63 m<sup>3</sup>.

Este volumen será vertido durante 3 días, por lo que el caudal de fuga será de 0,03 m<sup>3</sup>/s.

#### 3.6.6. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA DE INFILTRACIÓN DESDE LA Balsa DE LIXIVIADOS

Teniendo en cuenta los criterios del punto anterior, el volumen de infiltración desde la balsa de lixiviados será de: 3.310 m<sup>3</sup>.

Este volumen será vertido durante 3 días, por lo que el caudal de fuga será de 0,013 m<sup>3</sup>/s.

### 3.6.7. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA VERTIDA DESDE CONDUCCIÓN

Para estimar el caudal vertido desde la conducción mediante tubería de las aguas procedentes/salientes de las balsas, se ha considerado que estas tuberías llevan un caudal de 91m<sup>3</sup>/h.

Considerando que la rotura no se detecta durante 3 horas, se vierten 273 m<sup>3</sup> de agua salada, lo que supone 273.000 l.

## 3.7. ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS ASOCIADAS AL ESCENARIO ACCIDENTAL

Para la estimación de la gravedad de las consecuencias de los Escenarios Accidentales relacionados con las balsas, se ha utilizado la misma metodología que la expuesta para el depósito temporal.

A continuación, se incluye la estimación de la gravedad de las consecuencias realizada para las balsas:

Instalación/Proceso	Nº	Escenario	Cant	Peligr	Ext	Calidad del medio	Gravedad	Valoración
Balsa de lixiviados	EA-7a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida) y con contaminación a aguas subterráneas	1	3	2	3	12	Moderado (3)
Balsa de lixiviados	EA-7b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida)	1	3	2	3	12	Moderado (3)
Balsa de lixiviados	EA-8a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	4	3	2	3	15	Grave (4)
Balsa de lixiviados	EA8b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	4	3	4	4	18	Crítico (5)
Balsa de lixiviados	EA-9	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de aguas subterráneas	4	3	4	4	18	Crítico (5)
Balsa de regulación/evaporación	EA-10a	Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por desbordamiento (situación sobrevenida)	1	3	2	3	12	Moderado (3)
Balsa de regulación/evaporación	EA-10b	Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por desbordamiento (situación sobrevenida) y contaminación de aguas subterráneas	1	3	2	3	12	Moderado (3)
Balsa de regulación/evaporación	EA-11a	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique	4	3	2	3	15	Grave (4)
Balsa de regulación/evaporación	EA-11b	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	4	3	4	4	18	Crítico (5)
Balsa de regulación/evaporación	EA-12	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas	4	3	4	4	18	Crítico (5)
Conducciones	EA-13	Vertido de aguas saladas desde conducción	4	3	3	3	16	Grave (4)

Tabla 3-19. Valoración de la gravedad de las consecuencias de los Escenarios Accidentales relacionados con las balsas

### 3.8. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

A continuación, se incluye la evaluación de los riesgos realizada para las balsas.

Instalación/Proceso	Nº	Escenario	Cant	Peligr	Ext	Calidad del medio	Gravedad	Valoración	Valoración	Probabilidad	Estimación del riesgo	Caracterización del riesgo
Balsa de lixiviados	EA-7a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida) y con contaminación a aguas subterráneas	1	3	2	3	12	Moderado (3)	3	0	0	Muy bajo
Balsa de lixiviados	EA-7b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por desbordamiento (situación sobrevenida)	1	3	2	3	12	Moderado (3)	3	0	0	Muy bajo
Balsa de lixiviados	EA-8a	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique	4	3	2	3	15	Grave (4)	4	2	8	Moderado
Balsa de lixiviados	EA8b	Vertido de agua salada desde balsa de lixiviados por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	4	3	4	4	18	Crítico (5)	5	1	5	Bajo
Balsa de lixiviados	EA-9	Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de aguas subterráneas	4	3	4	4	18	Crítico (5)	5	2	10	Moderado
Balsa de regulación/evaporación	EA-10a	Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por desbordamiento (situación sobrevenida)	1	3	2	3	12	Moderado (3)	3	0	0	Muy bajo
Balsa de regulación/evaporación	EA-10b	Vertido de agua salada desde balsa de evaporación/regulación por desbordamiento (situación sobrevenida) y contaminación de aguas subterráneas	1	3	2	3	12	Moderado (3)	3	0	0	Muy bajo
Balsa de regulación/evaporación	EA-11a	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique	4	3	2	3	15	Grave (4)	4	2	8	Moderado
Balsa de regulación/evaporación	EA-11b	Vertido de agua salada desde balsa de regulación/evaporación por rotura de dique y fallo del sistema de contención de la barrera sur	4	3	4	4	18	Crítico (5)	5	1	5	Bajo
Balsa de regulación/evaporación	EA-12	Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas	4	3	4	4	18	Crítico (5)	5	2	10	Moderado
Conducciones	EA-13	Vertido de aguas saladas desde conducción	4	3	3	3	16	Grave (4)	4	2	8	Moderado

Tabla 3-20 Evaluación de los riesgos de los Escenarios Accidentales relacionados con las balsas

### 3.9. ESTIMACIÓN DE MEDIDAS DE REPARACIÓN PRIMARIA

Para la estimación de las medidas de reparación primaria, se ha recurrido a la aplicación MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad ambiental) que desarrolló la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural para la monetización del daño medioambiental asociado a cada escenario de riesgo conforme a la metodología de valoración que establece el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre.

En esta aplicación se proponen las técnicas disponibles para la recuperación de los daños causados. Entre todas las propuestas se ha optado por la de extracción y tratamiento.

## 4. MATRIZ DE RIESGO Y SELECCIÓN DE ESCENARIOS

Como resumen del análisis de riesgo realizado, se incluye la matriz de riesgo. Este tiene una doble entrada: probabilidad de ocurrencia y valor de la gravedad de las consecuencias. No se han incluido los EA que han sido descartados por su baja probabilidad de ocurrencia (menor del 2%).

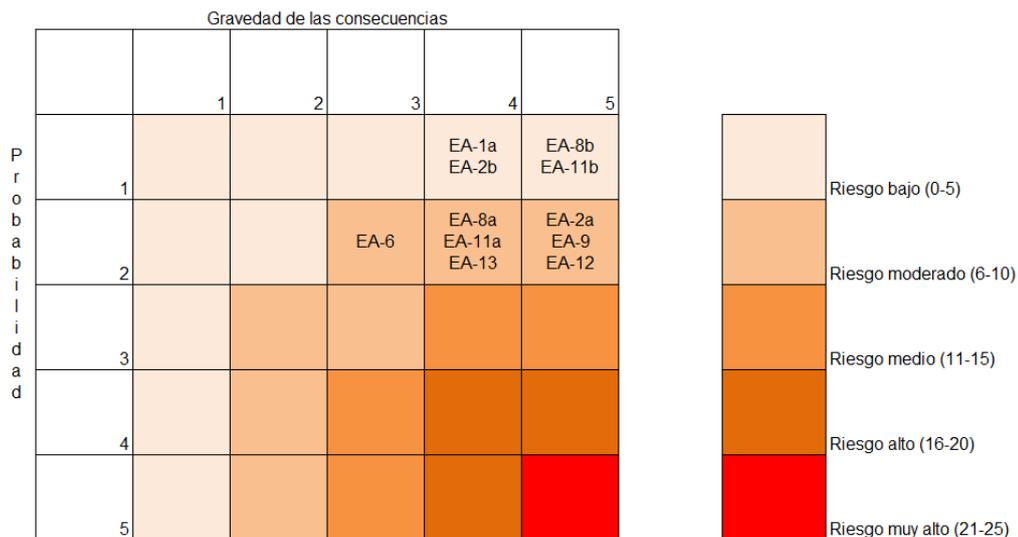


Ilustración 4-1. Matriz de riesgo

Tal y como se puede observar en la matriz de riesgo anterior, los tres escenarios con mayor riesgo son los siguientes:

- ⦿ EA-2a: Infiltración de agua salada desde instalación de residuos mineros con contaminación a aguas subterráneas (situación normal).
- ⦿ EA-9: Infiltración de agua salada desde balsa de lixiviados con contaminación de aguas subterráneas.
- ⦿ EA-12: Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas.

Se trata de los riesgos asociados a la posible infiltración de agua salada en las diferentes balsas. Aun así, se trata de un riesgo moderado con puntuación global 10. El riesgo de infiltración es el más elevado de los estudiados debido a la gravedad de las consecuencias en el caso hipotético de que se llegue a dar el supuesto. Esto se debe principalmente que el nivel freático es muy somero y la probabilidad de que las aguas lleguen a las subterráneas es elevada.

No obstante, se cuenta con un sistema de drenaje de fondo en “espina de pez” que permite tener un control de las posibles infiltraciones y minimizar así el daño. Además, se establecen una serie de medidas protectoras y correctoras que reducen la probabilidad de que ocurran estos escenarios.

De los tres escenarios contemplados, se ha seleccionado el EA-12 como el peor escenario posible debido al volumen de agua almacenada en estas balsas.

## 5. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

Una vez realizado el análisis de riesgos de contaminación hídrica, resulta esencial proponer las medidas previstas para prevenir, reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos que pueden ser originados por los Escenarios Accidentales evaluados.

Estas medidas son fundamentalmente:

- Medidas preventivas: tienen como fin minimizar el riesgo bien disminuyendo la probabilidad de ocurrencia bien disminuyendo la gravedad de las consecuencias si ocurriese el Escenario Accidental.
- Medidas correctoras: no min minimizar el riesgo, pero sí lo atenúan, disminuyendo su importancia. Estas medidas se adoptan cuando la afección es inevitable, pero existen procesos, tecnologías, etc., capaces de minimizar el daño.

A continuación, se desglosan las medidas preventivas y correctoras previstas a desarrollar durante la gestión de los residuos con el fin último de evitar y minimizar las afecciones que potencialmente puedan darse sobre el entorno hídrico.

### 5.1. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS SALINOS

En el depósito temporal se acumulan los residuos generados en el proceso de beneficio de la potasa. Este depósito se impermeabiliza en su base de tal forma que garantice su estanqueidad e incluye una red de seguridad y control para detectar posibles fugas y controlar el nivel freático mediante arquetas de inspección. Además, el depósito cuenta con una red de drenaje de aguas de escorrentía y una balsa donde se acumulan los lixiviados.

El depósito temporal de residuos salinos contará con las medidas y barreras de protección suficientes para evitar que existan mecanismos de transporte de una posible contaminación salina hacia las aguas superficiales y subterráneas.

Se resumen a continuación el conjunto de medidas que garantizan la seguridad del sistema hidrológico y de la calidad de aguas y aquellas tendentes a reducir el contacto con los residuos salinos del depósito temporal.

#### ○ **Formación del personal**

Todo personal involucrado dispondrá de los conocimientos mínimos de prevención recogidos en un Manual de Buenas Prácticas Medioambientales para todas aquellas actividades relacionadas con la generación de ruido, de emisiones a la atmósfera, así como en la prevención respecto a la

protección del sistema hidrológico, la geología, geomorfología y el suelo, la fauna, la vegetación, y las actuaciones encaminadas a la prevención de los residuos y a la correcta gestión de los mismos.

El personal técnico deberá tener capacitación profesional para realizar las labores de control y de identificación de patologías, de signos de inestabilidad o de contaminación y de documentarlo por medio de informes.

#### **Almacenamiento de residuos salinos**

El depósito, susceptible de contaminar las aguas, estará debidamente impermeabilizado. La impermeabilización de la base del depósito atiende al siguiente esquema: bentonita, geomembrana PEAD de 1,5 mm de espesor, geocompuesto drenante y capa de filtro.

Así mismo, garantiza las dimensiones necesarias para acoger el volumen de residuos generados durante las distintas fases de crecimiento. Otro factor importante a la hora de garantizar la seguridad para el depósito es la secuencia de vertido y de compactado.

Durante el almacenamiento de los residuos salinos se realizará un control de los volúmenes generados, depositados y evacuados y se documentará por escrito en informes diarios.

Además, se realizará un control de la estabilidad física de la instalación por medio de inspecciones visuales y técnicas de auscultación (inclinómetros e hitos topográficos).

#### **Control del transporte de los residuos:**

El movimiento de residuos se realiza a través de vías que mantengan una distancia de seguridad con cauces o arroyos. Así mismo, los accesos y pistas deberán garantizar un buen estado, buen drenaje y evitar la generación de polvo. El propio comportamiento físico de la sal al ser vertida absorbe la humedad y recristaliza por lo que evita la generación de "polvo salino" en los alrededores del depósito, evitando su posible dispersión hacia los cursos de agua.

Mediante inspecciones visuales se comprobará el estado de las vías de acceso (ausencia de agrietamientos, de abombamientos o concavidades, de deslizamientos o deformaciones y de desprendimientos).

Además, se debe garantizar la disponibilidad y mantenimiento de las cintas que transportan los residuos salinos hacia el depósito y de los camiones que lo transportan al exterior de la instalación.

#### **Elementos de drenaje y conducciones:**

Se instala un sistema de drenes de fondo bajo el paquete de impermeabilización del depósito de residuos salinos para captar las aguas infiltradas y una red de drenes y cunetas en superficie para canalizar las aguas saladas hacia la balsa de lixiviados.

Al tratarse de una explotación minera de minerales evaporíticos, se contempla el control de los posibles deterioros por corrosión y obstrucción de las conducciones, contribuyendo así a aumentar

la durabilidad de los materiales, reduciendo la reposición de los mismos.

Se debe verificar el estado de cunetas de drenaje y balsas, incluyendo los elementos de conducción a las mismas, labios y desagües y canales de alivio. Se revisarán y limpiarán periódicamente, tanto la red de drenaje longitudinal como transversal, para mantener su operatividad y evitar que lleguen turbideces a la red de drenaje natural. Entre las medidas de mantenimiento se incluye la revisión de los equipos de bombeo.

#### **Barreras de retención y contención:**

Como barreras de retención de aguas saladas se proyecta una balsa de lixiviados que recoge las aguas de escorrentía y de filtración por el depósito y una barrera de protección sur compuesta por materiales inertes de baja permeabilidad.

La balsa de lixiviados se impermeabiliza en su base y taludes para evitar cualquier filtración de agua salada al medio. Así mismo, los diques contendrán las aguas almacenadas en caso de un aumento del nivel.

La barrera sur, compuesta por los materiales procedentes del movimiento de tierras, actúa como salvaguarda de los cauces situados aguas abajo de las instalaciones frente posibles avenidas de aguas saladas como producto del desbordamiento o rotura de los diques de las balsas. Como medida adicional, se propone la ejecución de una cuneta perimetral a pie del talud que recoja estas aguas en un pozo de bombeo desde donde se conducirán las aguas recogidas hacia las balsas.

Esta barrera actúa además como sistema de retención de residuos salinos en caso de rotura del depósito, evitando que se alcancen los cauces próximos.

#### **Plan de seguimiento e inspección periódica de la balsa:**

Entre otros aspectos, se monitorizará el volumen de aguas saladas almacenadas respecto a la capacidad total. Para ello se tendrá en cuenta las siguientes estimaciones:

- Control pluviométrico y datos meteorológicos.
- Cálculo de la velocidad de vertido de las aguas saladas drenadas desde el depósito temporal de residuos salinos a la balsa de lixiviados, de modo que no se rebase la capacidad de almacenamiento, incluido en proceso de crecida.
- Cálculo de la capacidad de la balsa necesaria para adaptar el flujo de producción de aguas saladas para su reutilización en la planta de beneficio o hacia las balsas de evaporación/regulación.
- Cálculo de la estabilidad de la balsa de lixiviados ante rotura o desbordamiento y control de posibles procesos erosivos, desprendimientos o deslizamientos.

La vigilancia del nivel de almacenamiento se realizará mediante la instalación de sensores de nivel, minimizando el riesgo de desbordamiento.

En cuanto al control a establecer, debe incluir registros del volumen de agua salada vertida, de precipitaciones, evaporación y humedad del suelo, un balance de entradas/salidas, una verificación periódica de la capacidad de retención, un seguimiento de la presencia de agua y su composición en la zona no saturada, el control de la calidad del agua subterránea aguas abajo mediante una red de control de piezómetros.

#### **Control hidroquímico de las aguas saladas de la balsa de lixiviados:**

Se contempla el seguimiento de la calidad de las aguas a través de una adecuada red de control y seguimiento tanto del estado cuantitativo como del cualitativo. Para ello, se toma de manera periódica muestras del contenido de la balsa de lixiviados, siguiendo al menos las siguientes pautas:

- Muestreo de las aguas del depósito y de sus efluentes, mediante procedimientos normalizados.
- Medición in-situ de parámetros no conservativos: pH, potencial redox, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura.
- Remisión de informes a la autoridad competente, detallando las mediciones obtenidas in-situ y los resultados analíticos. Deberá incorporarse a los informes tanto los resultados del período como sus evoluciones temporales y aportar las correspondientes conclusiones y medidas correctoras.

#### **Reutilización de residuos**

Siempre que sea posible, se reutilizarán las tierras procedentes de la excavación en los rellenos a realizar en la propia explotación. Con los sobrantes no incluidos en rellenos, se ejecutarán barreras de protección. Además, el resto de los residuos que no incluyan las tierras procedentes de la excavación y que puedan ser valorizados o reciclados serán destinados a este fin, evitando su eliminación por vertido.

En la siguiente tabla, se resumen las medidas preventivas y correctoras aplicables a la instalación del depósito de residuos salinos:

DEPÓSITO TEMPORAL DE RESIDUOS SALINOS	
Proceso/instalación	Medidas preventivas y correctivas
ALMACENAMIENTO DEPÓSITO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación del depósito en lugar adecuado para ello. Aceptación de la superficie de apoyo.</li> <li>• Garantizar la capacidad de almacenamiento del volumen de residuos.</li> <li>• Impermeabilización del suelo por medio de geotextiles.</li> <li>• Reducción al máximo de la altura del depósito y compactación de la zona de depósito.</li> <li>• Mantenimiento de los residuos salinos con un grado de humedad suficiente para evitar la formación de polvo.</li> <li>• Plan de producción y gestión de los residuos salinos. Registro y documentación de volúmenes depositados y fases de crecimiento.</li> <li>• Control de inestabilidades mediante inspecciones visuales y métodos de auscultación (hitos topográficos e inclinómetros) en el depósito.</li> <li>• Red de seguridad y control del nivel freático, mediante arquetas de inspección y piezómetros perimetrales.</li> <li>• Reutilización de residuos como método de gestión.</li> <li>• Plan de emergencia y formación de personal cualificado.</li> </ul>
TRANSPORTE DE RESIDUOS SALINOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medios suficientes para el manejo y evacuación de los residuos.</li> <li>• Acondicionamiento y mantenimiento adecuado de las vías de acceso y circulación de vehículos y maquinaria, para evitar encharcamientos, embarrado y emisiones de polvo</li> <li>• Compactación o pavimentación de la superficie de los viales de acceso y de circulación.</li> <li>• Adición de material adecuado (grava, zahorra) en los suelos más pulverulentos.</li> <li>• Riego de los caminos de acceso, zonas de paso y pistas de tránsito (mediante camión cuba, manguera/, aspersores u otros sistemas)</li> <li>• Limpieza del material acumulado para despejar pasos.</li> <li>• Optimización de los planes de trabajo y minimización de los recorridos en la instalación.</li> <li>• Establecimiento de criterios de operación según condiciones climáticas.</li> <li>• Limitación de la velocidad de circulación de vehículos y maquinaria dentro de la instalación y señalización de la misma.</li> <li>• Cubrimiento de los materiales transportados en camiones mediante capotas, lonas u otros sistemas.</li> <li>• Inspecciones de vigilancia.</li> <li>• Plan de emergencia y formación de personal cualificado.</li> </ul>
BALSA DE LIXIVIADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de la balsa en lugar adecuado para ello.</li> <li>• Garantizar la capacidad de almacenamiento de los efluentes salinos y ante posibles crecidas.</li> <li>• Impermeabilización de la balsa en su base y taludes. Inspección y mantenimiento de la impermeabilización.</li> <li>• Existencia y funcionamiento de sistemas de evacuación de las aguas saladas hacia las balsas de almacenamiento. Mantenimiento del sistema de bombeo.</li> <li>• Drenaje de fondo</li> <li>• Mantenimiento de los accesos al emplazamiento de la balsa.</li> <li>• Disposición de cunetas hormigonadas perimetrales a la balsa de lixiviados.</li> <li>• Creación de una barrera de contención perimetral e impermeabilización de taludes.</li> <li>• Barrera de retención de sedimentos y depuración de efluentes.</li> <li>• Inspecciones de vigilancia de los niveles y calidad de las aguas. Documentación.</li> <li>• Inspecciones visuales, limpieza y control. Documentación.</li> <li>• Plan de emergencia y formación de personal cualificado.</li> </ul>

DEPÓSITO TEMPORAL DE RESIDUOS SALINOS	
Proceso/instalación	Medidas preventivas y correctivas
CONDUCCIONES Y DRENAJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia y funcionamiento de un sistema de evacuación de las aguas saladas desde la balsa de lixiviados hacia las balsas de almacenamiento y/o regulación.</li> <li>Existencia y funcionamiento de un sistema de recogida de las aguas saladas y transporte de las mismas hacia planta de beneficio o las balsas de almacenamiento.</li> <li>Programa de mantenimiento y limpieza de las conducciones para evitar obstrucciones.</li> <li>Revisión de los equipos de bombeo.</li> <li>Hojas de control de vaciado y limpieza.</li> <li>Inspecciones de vigilancia y control.</li> <li>Plan de emergencia y formación de personal cualificado.</li> </ul>

Tabla 5-1. Medidas preventivas y correctoras aplicables al depósito temporal de residuos salinos

## 5.2. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS DE LAS BALSAS DE EVAPORACIÓN Y/O REGULACIÓN

Las balsas de almacenamiento de aguas saladas dispondrán de las medidas y barreras de protección suficientes para evitar posibles infiltraciones de aguas saladas al medio hídrico. Su diseño debe proteger las aguas superficiales, subterráneas, puntos de abastecimiento e infraestructuras cercanas.

A continuación, se resumen las medidas que garantizan la seguridad del medio hídrico y aquellas que evitan el contacto con las aguas saladas almacenadas en las balsas de evaporación y regulación. Para ello, deberán estar debidamente impermeabilizadas de forma que no se produzcan infiltraciones y contará con una red de drenaje que conduce los distintos flujos a las instalaciones de la planta de beneficio.

Las medidas preventivas y correctoras aplicadas a las balsas se refieren a los siguientes procesos e instalaciones:

### Formación del personal

Todo personal involucrado dispondrá de los conocimientos mínimos de prevención recogidos en un Manual de Buenas Prácticas Medioambientales para todas aquellas actividades relacionadas con la generación de ruido, de emisiones a la atmósfera, así como en la prevención respecto a la protección del sistema hidrológico, la geología, geomorfología y el suelo, la fauna, la vegetación, y las actuaciones encaminadas a la prevención de los residuos y a la correcta gestión de los mismos.

El personal técnico deberá tener capacitación profesional para realizar las labores de control y de identificación de patologías, de signos de inestabilidad o de contaminación y de documentarlo por medio de informes.

#### **Almacenamiento de aguas saladas**

Las balsas donde se vierten las aguas saladas dispondrán de una capacidad de retención y almacenamiento suficientes para garantizar el almacenamiento del volumen de aguas saladas generadas en la planta de beneficio y durante la extracción del mineral. Éstas están dimensionadas para albergar posibles incrementos en el nivel por sobrevenidas.

Se realizarán inspecciones de rutina visuales de la estructura de la balsa (erosiones, desprendimientos y deslizamientos) y un control topográfico. Además, se llevarán a cabo operaciones de limpieza en las balsas y mantenimiento de los equipos de bombeo.

#### **Elementos de drenaje y conducciones:**

Al tratarse de una explotación minera de minerales evaporíticos, se contemplan los posibles deterioros por corrosión y obstrucción, contribuyendo así a aumentar la durabilidad de los materiales, reduciendo la reposición de los mismos.

Se verificará el estado de las cunetas de drenaje y balsas, incluyendo los elementos de conducción a las mismas, labios y desagües y canales de alivio. Se revisarán y limpiarán periódicamente, tanto la red de drenaje longitudinal como transversal, para mantener su operatividad y evitar que lleguen turbideces a la red de drenaje natural y los sistemas de bombeo.

#### **Barreras de retención y contención:**

Como barreras de retención de aguas saladas se proyecta la impermeabilización del vaso de las balsas y una barrera de protección sur compuesta por materiales inertes de baja permeabilidad.

La barrera sur, compuesta por los materiales procedentes del movimiento de tierras, actúa como salvaguarda de los cauces situados aguas abajo de las instalaciones frente posibles avenidas de aguas saladas como producto del desbordamiento o rotura de los diques de las balsas. Como medida adicional, se propone la ejecución de una cuneta perimetral a pie del talud que recoja estas aguas en un pozo de bombeo desde donde se bombearán las aguas recogidas hacia las balsas.

Como medidas adicionales se realizará el cálculo de la estabilidad de las balsas ante rotura de dique y desbordamiento y el control topográfico y de los inclinómetros ante posibles inestabilidades en los diques y taludes.

### 🍃 Plan de seguimiento e inspección periódica de las balsas:

Entre otros aspectos, se monitorizará el volumen de aguas salinas almacenadas respecto a la capacidad total. Para ello se tendrá en cuenta las siguientes estimaciones:

- Control pluviométrico y datos meteorológicos.
- Cálculo de la velocidad de vertido de las aguas saladas desde las diferentes instalaciones hacia las balsas de evaporación y regulación, de modo que no se rebase la capacidad de almacenamiento, incluido durante un posible proceso de crecida.
- Cálculo de la capacidad de las balsas necesaria para adaptar el flujo de producción de aguas saladas para su reutilización en la planta de beneficio.
- Cálculo de la estabilidad de las balsas ante rotura o desbordamiento y control de posibles procesos erosivos, desprendimientos o deslizamientos.

La vigilancia del nivel de almacenamiento se realizará mediante la instalación de sensores de nivel, minimizando el riesgo de desbordamiento.

En cuanto al control a establecer, debe incluir registros del volumen de aguas saladas vertidas, de precipitaciones, evaporación y humedad del suelo, un balance de entradas/salidas, una verificación periódica de la capacidad de retención, un seguimiento de la presencia de agua y su composición en la zona no saturada, el control de la calidad del agua subterránea aguas abajo mediante una red de control de piezómetros.

### 🍃 Control hidroquímico de las aguas saladas de las balsas de evaporación y/o regulación

Se contempla el seguimiento de la calidad de las aguas a través de una adecuada red de control y seguimiento tanto del estado cuantitativo como del cualitativo. Para ello, se toma de manera periódica muestras del contenido de las balsas, siguiendo al menos las siguientes pautas:

- Muestreo de las aguas de las balsas, mediante procedimientos normalizados.
- Medición in-situ de parámetros no conservativos: pH, potencial redox, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura.
- Remisión de informes a la autoridad competente, detallando las mediciones obtenidas in-situ y los resultados analíticos. Deberá incorporarse a los informes tanto los resultados del período como sus evoluciones temporales y aportar las correspondientes conclusiones y medidas correctoras.

### 🍃 Reutilización de las aguas

Siempre que sea posible se reutilizarán las aguas generadas para minimizar la gestión de las mismas y evitar posibles picos de almacenamiento.

En la siguiente tabla, se resumen las medidas preventivas y correctoras aplicables a las balsas de evaporación y regulación:

BALSAS DE EVAPORACIÓN Y REGULACIÓN	
Proceso/instalación	Medidas preventivas y correctivas
<b>ALMACENAMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de la balsa en lugar adecuado para ello.</li> <li>• Garantizar la capacidad de almacenamiento de las aguas saladas y en situaciones de sobrevenidas.</li> <li>• Impermeabilización del suelo por medio de geotextiles.</li> <li>• Inspección del estado del sistema de impermeabilización.</li> <li>• Barreras de contención con sistemas de control de estabilidad (control topográfico e inclinómetros).</li> <li>• Drenaje de fondo</li> <li>• Mantenimiento de los accesos al emplazamiento de las balsas.</li> <li>• Disposición de cunetas hormigonadas perimetrales a las balsas para canalizar las aguas.</li> <li>• Medidas de auscultación y control sobre los niveles de agua en las balsas y en la red de control piezométrica.</li> <li>• Control hidroquímico de las aguas.</li> <li>• Mantenimiento y limpieza de las balsas.</li> <li>• Inspección visual ante comportamientos anómalos (deformaciones, fisuras, filtraciones) en la estructura de la balsa y en los diques. Control topográfico.</li> <li>• Plan de emergencia y formación de personal cualificado.</li> <li>• Reutilización de las aguas como método de gestión.</li> </ul>
<b>CONDUCCIONES Y DRENAJE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de conducciones de evacuación de las aguas saladas hacia las balsas de almacenamiento.</li> <li>• Disposición de cunetas hormigonadas perimetrales a las balsas.</li> <li>• Programa de mantenimiento y limpieza de las cunetas.</li> <li>• Programa de mantenimiento y limpieza de conducciones para evitar corrosión y obstrucciones.</li> <li>• Hojas de control de vaciado y limpieza de las conducciones.</li> <li>• Inspecciones de vigilancia de los sistemas de desagüe y bombeo.</li> <li>• Inspección visual del estado de las conducciones, evitar fugas, encharcamientos, roturas...</li> <li>• Plan de emergencia y formación de personal cualificado.</li> </ul>

Tabla 5-2. Medidas preventivas y correctoras aplicables a las balsas de evaporación y/o regulación de aguas saladas

## 6. COSTES DE LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL

Para la estimación de los costes de recuperación ambiental, se ha utilizado la aplicación MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad ambiental) que desarrolló la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural para la monetización del daño medioambiental asociado a cada escenario de riesgo conforme a la metodología de valoración que establece el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre.

Se ha estimado el coste de la recuperación ambiental del peor escenario de los todos los analizados. Se trata del Escenario Accidental EA-12 Infiltración de agua salada desde balsa de regulación/evaporación con contaminación de aguas subterráneas.

En concreto, se ha realizado para la balsa de evaporación 4 al ser la que mayor volumen alberga. En estudio completo se incluye en el Anexo IV Análisis Cuantitativo de Riesgos Ambientales del Proyecto Mina Muga. No obstante, se resumen a continuación los resultados obtenidos:

Combinaciones agente-recurso del escenario	Tipo de medida	Importe (€)
Sustancias inorgánicas no biodegradables en Agua subterránea	Reparación primaria	4.700.063,95
	Reparación compensatoria	1.085.264,86
	Reparación complementaria	0,00
	Subtotal	5.785.328,81
Presupuesto Construcción Camino		10.534,58
Total reparación primaria (incluyendo construcción de camino)		6.037.450,62
Total reparación compensatoria (sin incluir construcción de camino)		1.121.309,74
Total reparación complementaria (sin incluir construcción de camino)		0,00
Total reparación		7.158.760,36

Tabla 6-1. Coste de la recuperación ambiental del EA-12. Fuente: Aplicación MORA