

# [INFORME]

Evaluación del plan de gestión de residuos mineros y el análisis de rotura de presa de la mina de cobre de Touro y O pino de Cobre San Rafael



ecologistas  
en acción

## FICHA TÉCNICA

**Título:**

Evaluación del plan de gestión de residuos mineros en el estudio de impacto ambiental y el análisis de rotura de presa de la mina de cobre Touro de Cobre San Rafael, Galicia

**Realización:**

Steven H. Emerman (El Dr. Steven H. Emerman tiene un Bachelor of Science (B.S.) en Matemáticas de la Universidad Estatal de Ohio, un Máster (M.A.) en Geofísica de la Universidad de Princeton y es Doctor (Ph.D.) en Geofísica por la Universidad de Cornell)

**Coordinación:**

Área de Minería de Ecologistas en Acción

**Edición:**

Presentado el 8 de enero de 2025, Revisado el 12 de enero de 2025

**Edita:**

Ecologistas en Acción Galiza

**Contacto:**

mineria@ecologistasenaccion.org  
www.ecologistasenaccion.org

*Ecologistas en Acción agradece la reproducción y divulgación de los contenidos de este informe siempre que se cite la fuente.*

Esta actividad recibe financiación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.





## ÍNDICE

---

<b>RESUMEN RÁPIDO</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>9</b>
<b>PERSPECTIVA GENERAL</b>	<b>17</b>
El problema de los residuos mineros	
El rechazo del estudio de impacto ambiental anterior	
El análisis de rotura de presa	
Objetivos de este informe	
<b>TUTORIAL SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS MINEROS</b>	<b>29</b>
Métodos de construcción de presas de estériles de planta	
Presas de estériles de planta vs. presas de retención de agua	
Estándar global de gestión de relaves para la industria minera	
Inundaciones de diseño y terremotos de diseño	
Métodos empíricos para el análisis de rotura de presa	
Método de equilibrio límite y factor de seguridad	
Drenaje ácido de mina y lixiviación de metales	
<b>RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS MINEROS EN EL EIA</b>	<b>62</b>
<b>RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ROTURA DE PRESA</b>	<b>76</b>
<b>PREGUNTAS</b>	<b>82</b>
<b>RESPUESTAS</b>	<b>83</b>
La presa de estériles de planta estaría demasiado cerca de zonas poblada	
El análisis de rotura de presas no consideró todos los modos de falla creíbles	



El análisis de rotura de presas subestimó enormemente la distancia de escorrentía

El Análisis de Rotura de Presas Subestimó Enormemente la Velocidad del Flujo

Las consecuencias de una falla de presa serán extremas

Las presas construidas utilizando el método aguas abajo no son inherentemente seguras

Los criterios de diseño de inundaciones y de terremotos no cumplen con los estándares internacionales

Las inclinaciones del terraplén exterior son demasiado empinadas

Los factores de seguridad son inciertos

Los factores de seguridad no cumplen con los estándares internacionales

No existe un plan para separar los estériles de mina nag y pag

No existe un plan de contingencia si no hay suficientes estériles de mina nag

El plan de cierre del depósito de estériles de planta es inadecuado

El plan para el almacenamiento permanente de estériles de mina pag es inadecuado

**CONCLUSIONES EN RESUMEN** **128**

---

**RECOMENDACIONES** **132**

---

**SOBRE EL AUTOR** **133**

---

**REFERENCIAS** **134**

---







## RESUMEN RÁPIDO

---

Cobre San Rafael ha publicado un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la mina de cobre Touro en Galicia, una Comunidad Autónoma en el noroeste de España. El plan para la gestión de los residuos mineros es prácticamente idéntico al plan de un EIA anterior, publicado en 2017, que dio lugar a una Declaración de Impacto Ambiental Desfavorable, seguida del rechazo de la autoridad minera por parte del órgano competente de la Xunta de Galicia debido, entre otras razones, a deficiencias en el plan de gestión de residuos mineros. El EIA actual incluye las conclusiones de un análisis de rotura de presa que se publicó en 2023, pero no incluye el informe que respaldaría las conclusiones. El objetivo del presente informe es evaluar tanto el plan de gestión de residuos mineros en el EIA como el análisis de rotura de presa.

Aunque algunas jurisdicciones exigen una separación mínima de 10 kilómetros, la cual puede aumentarse hasta 25 kilómetros en algunas circunstancias, la presa de estériles de planta de la mina Touro estaría a sólo 197 metros y 252 metros de los núcleos de población de Os Torreis de Arriba y Arinteiro, respectivamente. Incluso China, que suele considerarse un país con normas ambientales y de seguridad pública débiles, exige una separación mínima de 1.000 metros.

El análisis de rotura de presa no consideró adecuadamente todos los modos de falla creíbles, incluida la posibilidad de falla debido a actividad sísmica o falla de la cimentación. Aunque el análisis de rotura de presa estimó una distancia de escorrentía de 2,788 kilómetros, con base en un modelo estadístico de fallas pasadas de presas de estériles de planta, la distancia de escorrentía inicial será de 46 kilómetros en el escenario más probable (liberación del 28% de los estériles de planta almacenados) con la contaminación de 33 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza.

Incluso en el escenario más probable, los procesos fluviales normales posteriores al evento inicial acabarán transportando los estériles de planta hasta la ría de Arousa. Aunque el análisis de rotura de presa estimó una velocidad de flujo de estériles de planta de 0,3485 kilómetros por hora, con base en fallas de presas de estériles de planta anteriores, la velocidad de pico de la inundación de estériles de planta superará los 100 kilómetros por hora, la velocidad media durante la escorrentía inicial será de aproximadamente 35 kilómetros por hora, después de lo cual los procesos fluviales normales transportarán los estériles de planta aguas abajo a aproximadamente 5



kilómetros por hora. El EIA clasificó las consecuencias de falla como Muy Altas, las cuales implican la pérdida potencial de menos de 100 vidas.

Sin embargo, dado que la falla de la presa de estériles de planta afectará a los núcleos de población de Arinteiro, Os Torreis de Arriba, Tribas, A Goleta, As Goritas y Os Torreis de Abaixo, todas ellas a 1,5 kilómetros de la presa, junto con muchos otros posibles núcleos de población más aguas abajo, y dado que la población combinada de sólo Arinteiro y A Goleta es de 117 habitantes, las consecuencias de falla deben clasificarse como extremas.

Aunque tanto el análisis de rotura de presa como el EIA establecen que las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo son inherentemente seguras, hay al menos 30 fallas catastróficas documentadas de presas de estériles de planta aguas abajo, incluida la falla de la presa de estériles de planta de la mina Los Frailes en Aznalcóllar, España, la cual causó el desastre en el Parque Nacional de Doñana en 1998 al liberar 6,8 millones de metros cúbicos de estériles de planta con una distancia de escorrentía de 41 kilómetros.

También se han documentado al menos 53 fallas catastróficas de presas de retención de agua construidas en escollera, las cuales son básicamente la misma que una presa de estériles de planta construida con estériles de mina utilizando el método aguas abajo. Entre las fallas de presas de retención de agua construidas en escollera en España se encuentran la falla de la presa Odiel en 1970 y el de Tous en 1982, que provocó ocho víctimas mortales.

Aunque la presa de estériles de planta está diseñada para soportar únicamente inundaciones y terremotos con períodos de retorno de 500 años, según el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM), la presa de estériles de planta debe estar diseñada para soportar la inundación con un período de retorno de 10.000 años o la Inundación Máxima Probable (IMP), y el terremoto con un período de retorno de 10.000 años o el Terremoto Máximo Creíble (TMC).

Las inclinaciones del terraplén exterior de la presa de estériles de planta serían de 1V: 2H, las cuales serían mucho más pronunciadas que el estándar del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de 1V: 5H para todas las presas y el estándar de la Comisión Europea de 1V: 3H para presas de estériles de planta. Los factores de seguridad de la presa de estériles de planta son inciertos porque no se han realizado mediciones de los



parámetros geotécnicos de los estériles de mina NAG (no generadora de ácido), los cuales serían el material de construcción de la presa. Los factores de seguridad estáticos (1,331-1,454) tampoco cumplen con los estándares internacionales. Aunque el EIA afirma que el factor de seguridad mínimo requerido por las directrices de ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas) es 1,3, el valor mínimo real es 1,5.

No existe un plan viable para separar los estériles de mina NAG y PAG (potencialmente generadora de ácido) porque los dos tipos no se pueden separar ni por su origen ni por su litología. Como solo existe un procedimiento de laboratorio elaborado para separar los estériles de mina PAG y NAG, es inevitable que algunos estériles de mina PAG se mezclen con los estériles de mina NAG que se utilizarían para construir la presa de estériles de planta.

No existe un plan de contingencia para construir la presa de estériles de planta si no hay suficientes estériles de mina NAG. El único plan de contingencia mencionado en un informe de consultoría para la empresa minera es que se encontrará otra fuente de material para la construcción de la presa.

El plan para el cierre permanente del depósito de estériles de planta y de la escombrera PAG es inadecuado, ya que el único medio para prevenir el drenaje ácido de mina es la colocación de un revestimiento plástico, lo cual tendría una eficacia limitada y una vida útil limitada (50-100 años). Además, no existe un plan para el monitoreo, inspección, mantenimiento y revisión permanentes de la presa de estériles de planta.

No existe un plan adecuado para el almacenamiento permanente de los estériles de mina PAG en las cortas agotadas, ya que las únicas opciones discutidas para la prevención del drenaje ácido de mina son la colocación de material alcalino en el nivel freático y la colocación de los estériles de mina PAG debajo del nivel freático.

Sin embargo, el EIA no incluye ningún cálculo de la cantidad de material alcalino necesario ni ningún plan sobre qué hacer una vez que, con el transcurso del tiempo (años, décadas, siglos), se agote el material alcalino.

Además, el EIA no incluye ningún plan sobre qué hacer si el nivel freático disminuye, lo que sin duda es posible, ya que la expectativa es que los estériles de mina PAG se almacenen en la corta agotada a perpetuidad.



En este informe se formulan las siguientes recomendaciones:

**1.- Con base en las deficiencias del plan de gestión de residuos mineros, el órgano competente de la Xunta de Galicia debería rechazar una vez más la propuesta para la mina de cobre Touro y O Pino presentada por la mercantil de Cobre San Rafael S.L.**

**2.- Si una propuesta de mina ha sido rechazada previamente, y ha sido clasificada con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) Desfavorable, sobre la base de deficiencias en el plan de gestión de residuos mineros, la Xunta de Galicia debería descartar la nueva presentación de una propuesta para la misma mina con un plan de gestión de residuos mineros prácticamente idéntico.**







## RESUMEN EJECUTIVO

---

Cobre San Rafael, una empresa creada por Explotaciones Gallegas y Atalaya Mining, ha presentado un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la mina de cobre propuesta en Touro y O Pino, en Galicia, una Comunidad Autónoma en el noroeste de España. El plan para la gestión de los residuos mineros es prácticamente idéntico al plan de un EIA anterior publicado en 2017, lo que dio lugar a una Declaración de Impacto Ambiental Desfavorable seguida del rechazo de la autoridad minera por parte del órgano competente de la Xunta de Galicia debido, entre otras razones, a deficiencias en el plan de gestión de residuos mineros.

El EIA actual incluye las conclusiones de un análisis de rotura de presa que se publicó en 2023, pero no incluye el informe que respaldaría las conclusiones. El objetivo del presente informe es evaluar tanto el plan de gestión de residuos mineros en el EIA como el análisis de rotura de presa.

El proyecto, de 16,5 años de duración, incluiría 13 años de explotación con la producción de 164,3 millones de toneladas de estériles de mina, 101,53 millones de toneladas de estériles de planta y 420.924 toneladas de cobre. Los estériles de mina se describen a veces como 110 millones de toneladas de roca PAG (potencialmente generadora de ácido) y 54 millones de toneladas de roca NAG (no generadora de ácido) y, en otras ocasiones, como 56,6% PAG (93,0 millones de toneladas) y 43,4% NAG (71,3 millones de toneladas).

Todos los estériles de planta se describen como PAG. Se construiría una presa de estériles de planta con una altura de 81 metros y una longitud de 3148 metros a partir de estériles de mina NAG para el almacenamiento permanente de 34 millones de toneladas de estériles de planta en el depósito de estériles de planta DEP1.

Una parte de los estériles de mina PAG se almacenaría permanentemente en la superficie en una escombrera con una altura de 160 metros. Los estériles de planta y estériles de mina restantes se utilizarían para rellenar las cortas agotadas, las cuales estarían rodeadas por un muro construido con estériles de mina NAG con una altura de 55 metros. Las cortas rellenas quedarían finalmente cubiertas por un domo de estériles de mina PAG.

Aunque el depósito de relaves DEP1 se describe repetidamente como “temporal”, DEP1 sería una estructura permanente y sería temporal sólo en el sentido de que recibiría



estériles de planta durante los primeros seis años de explotación, después de lo cual los estériles de planta adicionales que se produzcan se utilizarán para rellenar las cortas.

Durante la evaluación del anterior EIA, y en la posterior Declaración de Impacto Ambiental desfavorable de 28 de enero de 2020, las Administraciones gallegas que resolvieron la Declaración, indicaron el riesgo de que la rotura de la presa de estériles de planta de la mina de Touro pudiera afectar al sistema fluvial Ulla-Deza, clasificado como Zona de Especial Conservación (ZEC) de la Red Natura 2000.

El sistema fluvial Ulla-Deza se encuentra a tan sólo 4,75 kilómetros de la presa medidos en línea recta o 13 kilómetros medidos a lo largo de los cauces fluviales que llevarían los estériles de planta hasta el sistema fluvial protegido.

En respuesta a lo indicado por la Administración en sus informes y Declaración de Impacto Ambiental, los consultores de la empresa minera elaboraron un informe que resume los resultados de un análisis de rotura de presa que predice el área de inundación, la distancia de escorrentía y la velocidad de flujo para la inundación de estériles de planta.

El análisis de rotura de presa predice una distancia de escorrentía máxima de 2,788 kilómetros y una velocidad media de flujo de 0,3485 kilómetros por hora (basándose en una escorrentía de estériles de planta de 2,788 kilómetros en 8 horas). El informe de la empresa consultora no proporciona ninguna información sobre cómo se llevaron a cabo los cálculos, las suposiciones en las que se basaron o incluso qué software se utilizó para realizarlos.

Aunque ocho de las 30 páginas del informe de consultoría están dedicadas a revisar las calificaciones profesionales de los autores y de la empresa, el informe es sólo un resumen de otro documento no disponible y no presenta ningún análisis original de los autores, por lo que las calificaciones profesionales de los autores son irrelevantes. Además de la falta general de información, el informe de la consultora se ve empañado por numerosos ejemplos de información contradictoria, así como por escalas distorsionadas en los mapas o mediciones incorrectas en los mismos.

Por último, el informe de la consultora está escrito en una mezcla de inglés y español, lo que dificulta su lectura por parte del personal técnico de las Administraciones responsables y del público en general.



El objetivo de este informe se estructura para responder las siguientes preguntas:

- 1) ¿Existe una separación suficiente entre la presa de estériles de planta y los núcleos de población que se encuentran aguas abajo?
- 2) ¿El análisis de rotura de presa tuvo en cuenta adecuadamente todos los modos de falla creíbles?
- 3) ¿El análisis de rotura de presa estimó correctamente la distancia de escorrentía de los estériles de planta después de una falla de la presa de estériles de planta?
- 4) ¿El análisis de rotura de presa estimó correctamente la velocidad del flujo de estériles de planta después de una falla de la presa de estériles de planta?
- 5) ¿Se ha realizado una clasificación correcta de las consecuencias de falla de la presa de estériles de planta?
- 6) ¿Son las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo inherentemente seguras?
- 7) ¿Los criterios de diseño sísmicos y de inundaciones para la presa de estériles de planta cumplen con los estándares internacionales?
- 8) ¿Son las inclinaciones del terraplén exterior de la presa de estériles de planta suficientemente suaves?
- 9) ¿Se conocen con suficiente exactitud los factores de seguridad de la presa de estériles de planta?
- 10) ¿Cumplen los factores de seguridad de la presa de estériles de planta con los estándares internacionales?
- 11) ¿Existe un plan viable para separar los estériles de mina PAG y NAG?
- 12) ¿Existe un plan de contingencia para construir la presa de estériles de planta si no hay suficientes estériles de mina NAG?
- 13) ¿Existe un plan de cierre adecuado para el depósito de estériles de planta DEP1?
- 14) ¿Existe un plan adecuado para el almacenamiento permanente de los estériles de mina PAG?



Para facilitar la lectura a los no especialistas, este informe incluye un tutorial sobre aspectos clave de la gestión de residuos mineros, incluidos los métodos de construcción de presas de estériles de planta, una comparación entre presas de estériles de planta y presas de retención de agua, el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM), inundaciones de diseño y terremotos de diseño, métodos empíricos para el análisis de rotura de presa, factor de seguridad y drenaje ácido de mina y lixiviación de metales.

La presa para el depósito de estériles de planta DEP1 estaría a tan sólo 197 metros y 252 metros de los núcleos de población de Os Torreis de Arriba y Arinteiro, respectivamente. Algunas jurisdicciones, como Brasil y Ecuador, exigen una separación mínima de 10 kilómetros, la cual puede aumentarse hasta 25 kilómetros en algunas circunstancias. Incluso China, que suele considerarse un país con normas ambientales y de seguridad pública débiles, exige una separación mínima de 1.000 metros.

El análisis de rotura de presa no consideró adecuadamente todos los modos de falla creíbles, lo que es un requisito del Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM) y otros estándares internacionales. En particular, no se tuvo en cuenta la posibilidad de falla debido a la actividad sísmica o a una falla de la cimentación.

Aunque el análisis de rotura de presa estimó una distancia de escorrentía de tan sólo 2,788 kilómetros, basándose en un modelo estadístico de fallas de presas de estériles de planta anteriores, la distancia de escorrentía inicial será de 46 kilómetros en el escenario más probable (liberación del 28% de los estériles de planta almacenados) con la contaminación de 33 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza. Con la liberación del 37% de los estériles de planta almacenados, estos alcanzarán la ría de Arousa durante el evento inicial, contaminando la ría y 49 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza.

Incluso en el escenario más probable, los procesos fluviales normales posteriores al evento inicial acabarán transportando los estériles de planta hasta la ría de Arousa. Aunque el análisis de rotura de presa estimó una velocidad de flujo de estériles de planta de 0,3485 kilómetros por hora, basándose en roturas de presas de estériles de planta anteriores, la velocidad máxima de la inundación de estériles de planta (alcanzada cerca del inicio de la rotura de la presa) superará los 100 kilómetros por hora. La velocidad media durante el evento inicial (estimada en 46 kilómetros en el escenario más probable) será de unos 35 kilómetros por hora. Después del evento inicial, los procesos fluviales normales





transportarán los estériles de planta aguas abajo a unos 5 kilómetros por hora. El EIA ha clasificado las consecuencias de la falla como Muy Altas, las cuales implican la pérdida potencial de menos de 100 vidas. Sin embargo, una falla de la presa de estériles de planta afectará a los núcleos de población de Arinteiro, Os Torreis de Arriba, Tribas, A Goleta, As Goritas y Os Torreis de Abaixo, todas ellas situadas a 1,5 kilómetros de la presa, junto con muchos otros posibles núcleos de población situados más aguas abajo. Dado que la población combinada de sólo Arinteiro y A Goleta es de 117 habitantes, las consecuencias de la falla deben clasificarse como extremas.

Tanto el EIA como el análisis de rotura de presa afirman repetidamente que las presas de estériles de planta construidas utilizando el método de aguas abajo son inherentemente seguras y que nunca ha habido una falla de este tipo de presas. Sin embargo, hay al menos 30 fallas catastróficas documentadas de presas de estériles de planta aguas abajo, incluyendo la falla de la presa de estériles de planta de la mina Los Frailes en Aznalcóllar, España, la cual causó el desastre en el Parque Nacional de Doñana en 1998 al liberar 6,8 millones de metros cúbicos de estériles de planta con una distancia de escorrentía de 41 kilómetros.

Además, hay al menos 53 fallas catastróficas documentadas de presas de retención de agua en escollera, las cuales son esencialmente las mismas que una presa de estériles de planta construida con estériles de mina utilizando el método aguas abajo. De hecho, las presas de retención de agua en escollera deberían ser incluso más seguras que las presas de estériles de planta construidas con el método aguas abajo, ya que, a diferencia de las presas de estériles de planta, las presas de retención de agua no suelen construirse en etapas. Además, la escollera para presas de retención de agua se elige por su idoneidad para la construcción de presas y no solamente por los estériles de mina disponibles en el sitio de la mina que normalmente se utiliza para presas de estériles de planta. Entre las fallas de las presas de retención de agua en escollera en España se encuentran las de la presa Odiel en 1970 y la de Tous en 1982, que provocó ocho víctimas mortales.

La presa de estériles de planta está diseñada para soportar inundaciones y terremotos con períodos de retorno de sólo 500 años, de acuerdo con las regulaciones de seguridad de presas en España, la cual tiene los criterios de diseño de inundaciones y sísmicas más débiles del mundo. Sin embargo, el EIA insiste repetidamente en que la presa de estériles de planta se diseñará de acuerdo con el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM) y se dedica un informe de consultoría completo a demostrar el



cumplimiento del EGGRIM. De acuerdo con el EGGRIM, una presa de estériles de planta con consecuencias de falla Extremas debe diseñarse para soportar una inundación con un período de retorno de 10.000 años o la Inundación Máxima Probable (IMP), y un terremoto con un período de retorno de 10.000 años o el Terremoto Máximo Creíble (TMC).

Aunque el EIA establece que la agencia reguladora española, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), ha aprobado todos los aspectos del diseño de la presa de estériles de planta, el informe de evaluación del IGME critica específicamente el diseño por la falta de cumplimiento de los criterios de diseño sísmico y de inundaciones del EGGRIM.

Las inclinaciones del terraplén exterior de la presa de estériles de planta serían de 1V: 2H (1 metro vertical por 2 metros horizontales), mucho más pronunciado que los estándares internacionales. Por ejemplo, el estándar del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos es una inclinación mínima de 1V:5H para todas las presas con el fin de prevenir fallas por erosión interna y el estándar de la Comisión Europea es una inclinación mínima de 1V: 3H para presas de estériles de planta.

Los factores de seguridad de la presa de estériles de planta son inciertos porque no se han realizado mediciones de los parámetros geotécnicos de los estériles de mina NAG, los cuales serían el material de construcción de la presa. El EIA indica que los factores de seguridad estarían en el rango de 1,331 a 1,454 y afirma que estos factores de seguridad superarían el factor de seguridad mínimo de 1,3 requerido por las directrices de ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas). Sin embargo, el factor de seguridad mínimo de 1,3 que exige ANCOLD es incorrecto o desactualizado, ya que el factor de seguridad mínimo que exige ANCOLD es de 1,5 desde 2012, por lo que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 no cumplirían con las directrices de ANCOLD.

Además, el factor de seguridad mínimo de 1,3 que establece ANCOLD en el EIA se aplicaría únicamente al período de construcción de la presa, no al período de operación de la presa. Aunque las presas de estériles de planta suelen estar en construcción durante todo el período de operación, desde hace tiempo se entiende que un factor de seguridad más bajo para el período de construcción sólo sería aplicable antes de que se coloquen estériles de planta o agua detrás de la presa. El autor no ha podido localizar el documento de ANCOLD que establece un factor de seguridad mínimo de 1,3 para el período de construcción y no figura ningún documento de ese tipo en ninguna de las listas de referencia del EIA.



Finalmente, el factor de seguridad pseudoestático (en respuesta a la carga sísmica) no puede evaluarse adecuadamente en relación con las directrices de ANCOLD, ya que los análisis de estabilidad sísmica en el EIA se llevaron a cabo sólo para el terremoto con un período de retorno de 500 años, no para el terremoto de 10.000 años o el TMC.

Aunque sólo se pueden utilizar los estériles de mina NAG para la construcción de presa, no existe un plan viable para separar los estériles de mina PAG y NAG, y el EIA demuestra que los estériles de mina PAG y NAG no se pueden separar ni por origen ni por litología. Puesto que sólo existe un procedimiento de laboratorio elaborado para separar los estériles de mina PAG y NAG, lo cual ciertamente no se podría utilizar para analizar los estériles de mina gramo a gramo, es inevitable que parte de los estériles de mina PAG se mezcle con los estériles de mina NAG que se utilizarían para construir la presa de relaves y el muro alrededor de las cortas rellenadas.

No existe un plan de contingencia para construir la presa de relaves si no hay suficientes estériles de mina NAG. El único plan de contingencia mencionado en un informe de consultoría para la empresa minera es que se encontrará otra fuente de material para la construcción de la presa. El plan para el cierre permanente del depósito de estériles de planta y de la escombrera PAG es inadecuado, ya que el único medio para prevenir el drenaje ácido de mina es la colocación de un revestimiento plástico, lo cual tendría una eficacia limitada y una vida útil limitada (50-100 años).

Además, no existe un plan para el monitoreo, inspección, mantenimiento y revisión permanentes de la presa de estériles de planta. No existe un plan adecuado para el almacenamiento permanente de los estériles de mina PAG en las cortas agotadas, ya que las únicas opciones discutidas para la prevención del drenaje ácido de mina son la colocación de material alcalino en el nivel freático y la colocación de los estériles de mina PAG debajo del nivel freático.

Sin embargo, el EIA no incluye ningún cálculo de la cantidad de material alcalino necesario ni ningún plan sobre qué hacer una vez que, con el transcurso del tiempo (años, décadas, siglos), se agote el material alcalino.

Además, el EIA no incluye ningún plan sobre qué hacer si el nivel freático disminuye, lo que sin duda es posible, ya que la expectativa es que los estériles de mina PAG se almacenen en la corta agotada a perpetuidad.



En este informe se formulan las siguientes recomendaciones:

- 1) Con base en las deficiencias del plan de gestión de residuos mineros, el órgano competente de la Xunta de Galicia debería rechazar una vez más la propuesta para la mina de cobre Touro y O Pino presentada por la mercantil de Cobre San Rafael S.L.
- 2) Si una propuesta de mina ha sido rechazada previamente, y ha sido clasificada con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) Desfavorable, sobre la base de deficiencias en el plan de gestión de residuos mineros, la Xunta de Galicia debería descartar la nueva presentación de una propuesta para la misma mina con un plan de gestión de residuos mineros prácticamente idéntico.







## PERSPECTIVA GENERAL

---

### El problema de los residuos mineros

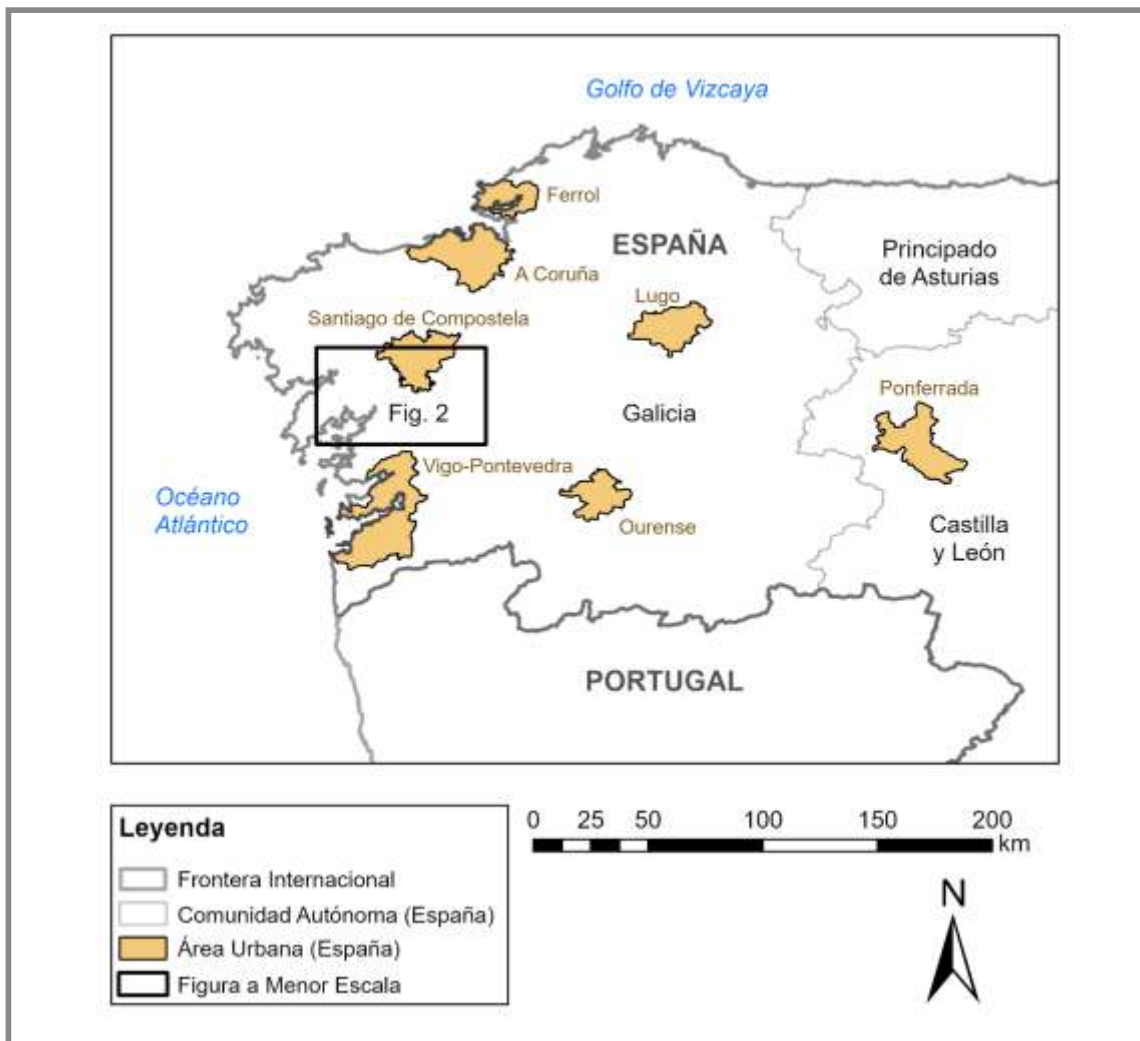
Cobre San Rafael S.L., una empresa creada por Explotaciones Gallegas y Atalaya Mining, ha presentado un nuevo Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la mina de cobre propuesta en los ayuntamientos de Touro y O Pino, en Galicia, una Comunidad Autónoma en el noroeste de España (ver Figs. 1-4). El proyecto propuesto con una duración de 16,5 años incluiría 13 años de explotación con la extracción de 102,74 millones de toneladas de mineral para producir 1,21 millones de toneladas de concentrado de cobre que contendrían 420.924 toneladas de metal de cobre, correspondientes a una ley de mineral de 0,41% (CRS Ingeniería, 2023a; Novotec, 2024a).

El concentrado de cobre se transportaría en camión a un puerto no identificado, desde donde se enviaría a instalaciones de refinación en el extranjero que no han sido identificadas. Las partículas de roca húmedas y trituradas que quedan después de que el producto de valor (como un concentrado de cobre) se ha extraído de un yacimiento de mineral constituyen un producto de desecho llamado estériles de planta (también llamado relaves).

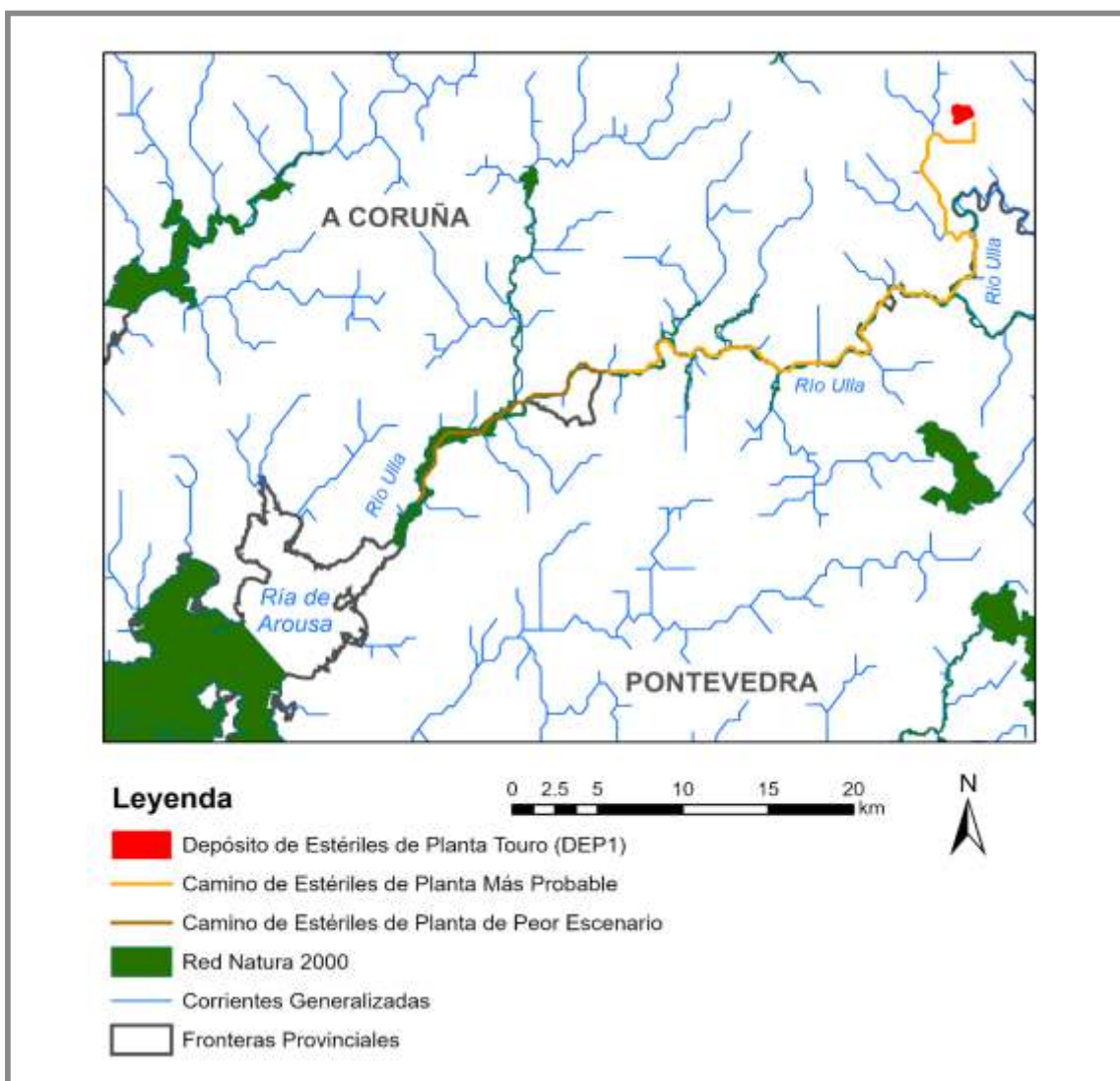
El punto importante es que la mina Touro convertiría el 98,82% del mineral procesado en estériles de planta, para un total de 101,53 millones de toneladas de estériles de planta generados durante la vida del proyecto. En cierto sentido, el producto de la mina Touro serían estériles de planta con concentrado de cobre como subproducto menor. Lo anterior sería cierto para cualquier mina de cobre moderna a gran escala, y aún más cierto para una mina de oro o plata, pero sería inusual que cualquier proceso industrial moderno, aparte del procesamiento de minerales, una proporción tan grande de residuos en relación con el producto de valor.

Otra fuente de residuos es la roca que debe eliminarse para llegar al yacimiento de mineral, que se denomina estériles de mina (también llamado roca estéril). En la mina Touro se generarían 164,3 millones de toneladas de estériles de mina durante la vida útil del proyecto. Por lo tanto, cada tonelada de metal de cobre de la mina Touro correspondería a 632 toneladas de residuos, incluyendo tanto los estériles de planta como los estériles de mina que quedarían en el sitio de la mina, pero sin incluir los residuos adicionales que quedarían en el sitio de la refinería después de la extracción del metal de

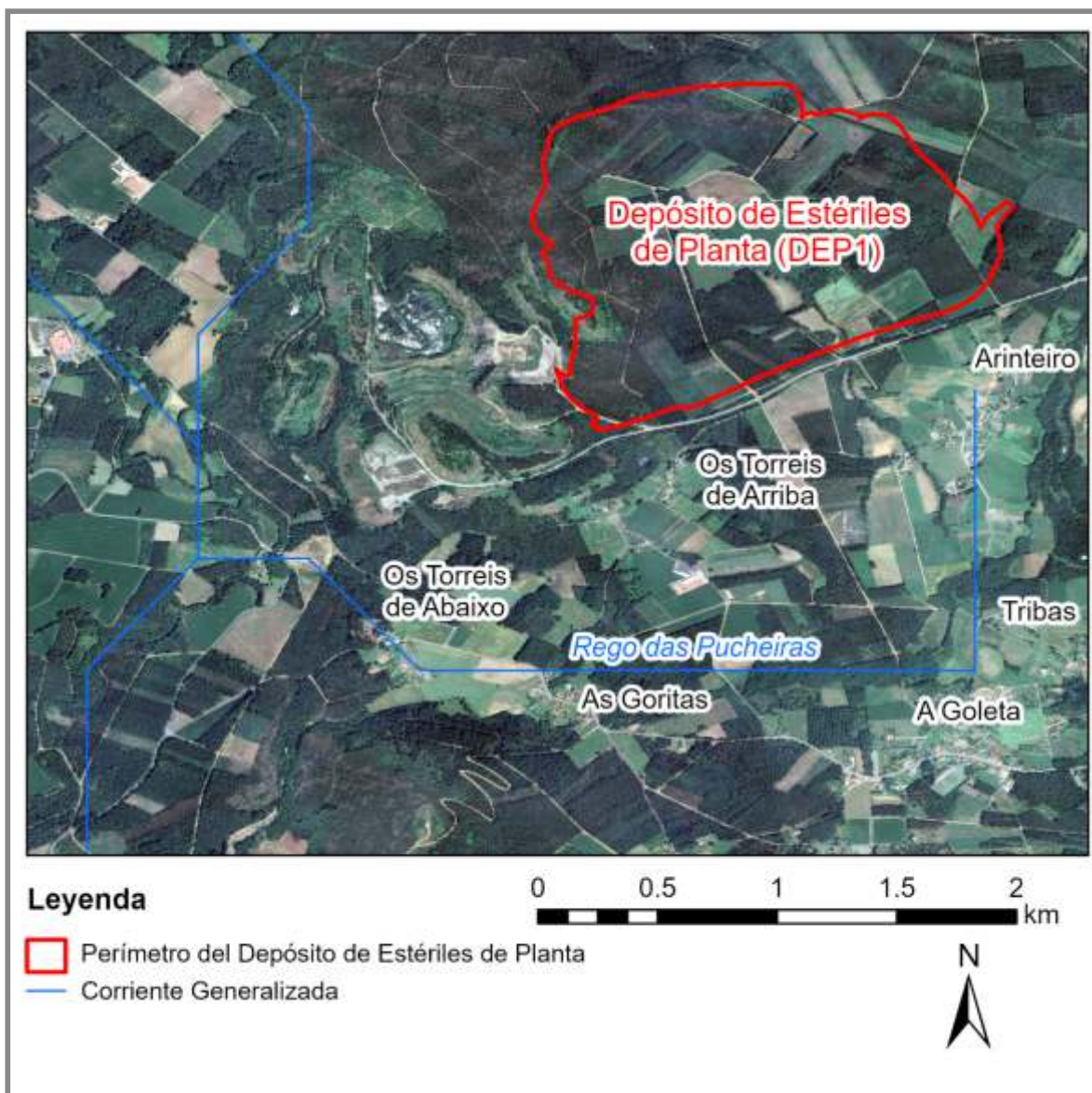
cobre. En comparación, como promedio mundial, cada tonelada de cobre corresponde a 513 toneladas de residuos mineros (Nassar et al., 2022a-b), por lo que la mina Touro sería una fuente relativamente ineficiente de cobre. Una gran parte de la ineficiencia surge de la baja ley del yacimiento de cobre que se explotaría (0,41%), en comparación con el promedio mundial de 0,64% para las minas de cobre (Nassar et al., 2022a-b).



**Figura 1.** Cobre San Rafael ha publicado un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la mina de cobre Touro en Galicia, una Comunidad Autónoma en el noroeste de España. El plan para la gestión de los residuos de la mina es prácticamente idéntico al plan incluido en un Estudio de Impacto Ambiental anterior que se publicó en 2017, lo cual dio lugar al rechazo de la mina propuesta por parte del gobierno de Galicia. Una de las razones del rechazo fue la posibilidad de que una rotura de la presa de estériles de planta pudiera liberar contaminantes al sistema fluvial Ulla-Deza y a la ría de Arousa (ver mapa a menor escala en Fig. 2). Áreas urbanas de España del Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana (2018).



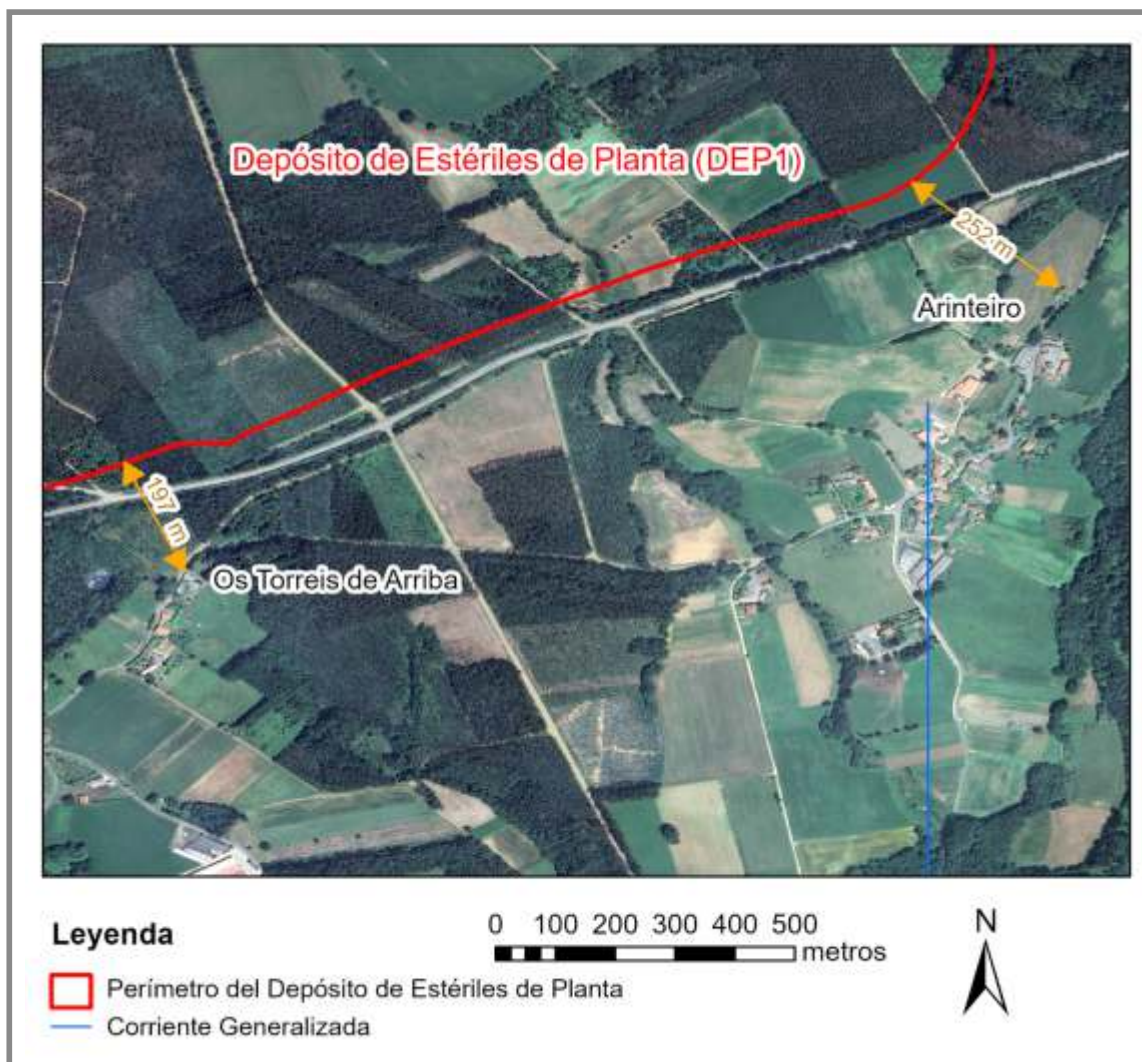
**Figura 2.** Un modelo estadístico desarrollado a partir de fallas históricas de presas de estériles de planta predice el volumen de liberación y la distancia de escorrentía en función de la altura de la presa y el volumen de estériles de planta almacenados. Con base en una altura de 81 m, una masa de estériles de planta almacenados de 34 Mt y una densidad de estériles de planta de 1,5 Mt/m<sup>3</sup>, el modelo predice una distancia de escorrentía de 46 km en el escenario más probable (liberación del 28 % de los estériles de planta almacenados) y una distancia de escorrentía de 183 km en el peor escenario (liberación del 100% de los estériles de planta almacenados) (ver Figs. 19a-b). En el escenario más probable, durante el evento inicial, los estériles de planta contaminarán 33 km del sistema fluvial Ulla-Deza dentro de la Red Natura 2000. Con la liberación del 37% de los estériles de planta almacenados, los estériles de planta llegarán a la ría de Arousa durante el evento inicial (una distancia de 62 km) contaminando la ría y 49 km del sistema fluvial Ulla-Deza. Incluso en el escenario más probable, los procesos fluviales normales posteriores al evento inicial transportarán los estériles de planta hasta la ría de Arousa. Depósito de estériles de planta trazado a partir del mapa en CRS Ingeniería (2021a), corrientes generalizadas de HydroSHEDS (2023) y Red Natura 2000 de Unión Europea (2022).



*Figura 3. Una rotura de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 afectará a los núcleos de población de Arinteiro, Os Torreis de Arriba, Tribas, A Goleta, As Goritas y Os Torreis de Abaixo, todas ellas situadas a dentro de 1,5 kilómetros de la presa, junto con otros muchos otros posibles núcleos de población más aguas abajo (ver Fig. 2).*

*Dado que la población combinada de solo Arinteiro y A Goleta es de 117, las consecuencias de la falla deben clasificarse como Extremas, no Muy Altas, como se indica en el Estudio de Impacto Ambiental (ver Fig. 20). Depósito de estériles de planta trazado a partir del mapa de CRS Ingeniería (2021a) y corrientes generalizadas de HydroSHEDS (2024). El fondo son imágenes de Google Earth del 23 de junio de 2023.*



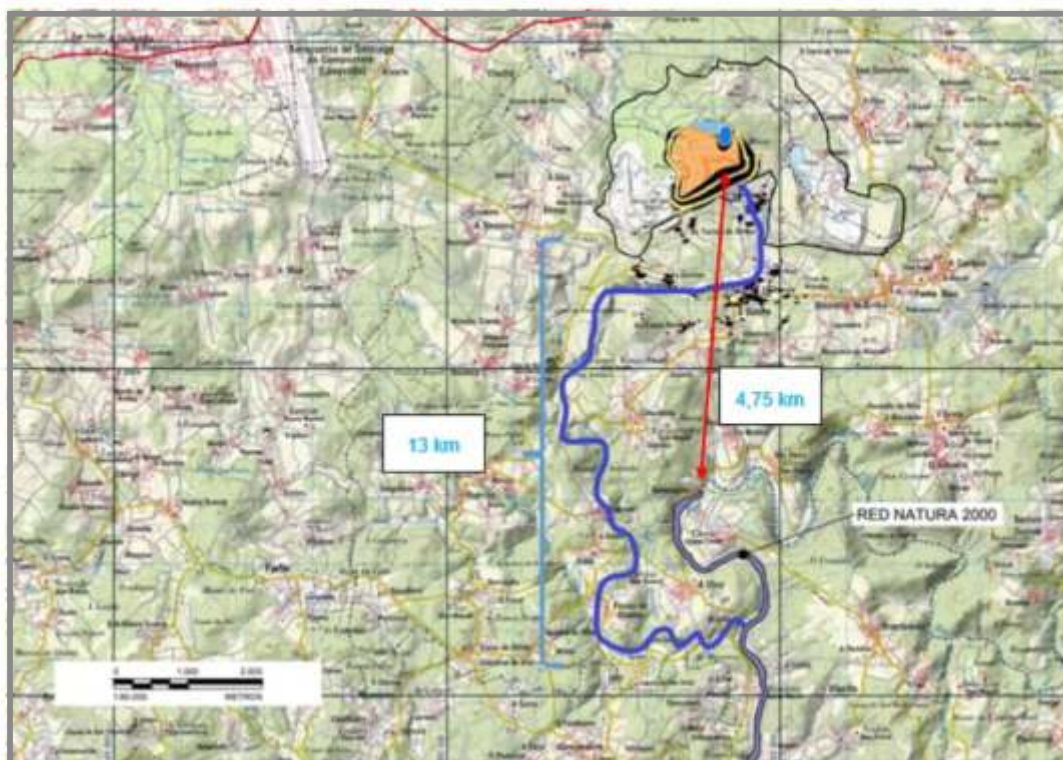


**Figura 4.** El borde aguas abajo de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 estaría a 197 metros del núcleo de población de Os Torreis de Arriba y a 252 metros de la localidad de Arinteiro. Un informe de consultoría de 2019 para la empresa minera establecía que la distancia a Arinteiro era de 270 metros (ver Fig. 18a). Con la posición del borde aguas abajo de la presa sin cambios, el último Estudio de Impacto Ambiental (EIA) establece la distancia en 442 metros (ver Fig. 18b). Depósito de estériles de planta trazado a partir del mapa de CRS Ingeniería (2021a) y corrientes generalizadas de HydroSHEDS (2024). El fondo son imágenes de Google Earth del 23 de junio de 2023.

La preocupación por la generación de tantos residuos mineros es que los residuos que permanecerán permanentemente en el sitio de la mina podrían actuar como una amenaza permanente de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Además, podría existir una amenaza permanente de falla catastrófica de cualquier instalación de almacenamiento de residuos en la superficie, la cual podría provocar muertes, así como la introducción de residuos mineros potencialmente tóxicos en las vías fluviales aguas abajo.



En el caso de la mina Touro, la instalación permanente de almacenamiento de estériles de planta estaría en la cuenca del río Ulla, que desemboca en la ría de Arousa (ver Fig. 2). El sistema fluvial Ulla-Deza está clasificado como Zona de Especial Conservación (ZEC) de la Red Natura 2000. El sistema fluvial Ulla-Deza se encuentra a sólo 4,75 kilómetros de la instalación de almacenamiento de estériles de planta medidos en línea recta o 13 kilómetros medidos a lo largo de los canales de los cauces fluviales que llevarían los estériles de planta al sistema fluvial protegido (ver Fig. 5). Aunque el EIA se refiere repetidamente a la instalación de almacenamiento de estériles de planta sobre el terreno como el “Depósito de Estériles Temporal” (DET) (CRS Ingeniería, 2020a, 2021a), la instalación será temporal sólo en el sentido de que recibirá estériles de planta sólo durante los primeros seis años de explotación (CRS Ingeniería, 2023a). Ciertamente, no hay ningún plan para dismantelar la instalación de almacenamiento de estériles de planta sobre el terreno ni para trasladar los estériles de planta ya almacenados a otra ubicación. La instalación de almacenamiento de estériles de planta sobre el terreno también se refiere como DEP1 (Depósito de Estériles de Planta 1) en el EIA.



**Figura 5.** Las administraciones de Galicia han expresado su preocupación de que una falla en la presa de estériles de planta en la mina propuesta para Touro afecte el sistema fluvial Ulla-Deza dentro de la Red Natura 2000 (ver Fig. 2). El depósito de estériles de planta se encuentra a 4,75 km del sistema fluvial Ulla-Deza o a 13 km medidos a lo largo del recorrido de los cauces fluviales que conducirán los estériles de planta hasta la Red Natura 2000. Figura de WSP Golder (2023).



## El rechazo del estudio de impacto ambiental anterior

Durante la evaluación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) anterior del proyecto que se presentó por primera vez en 2017 (Proyecto Touro, 2017) y se actualizó en 2019 (Proyecto Touro, 2019), múltiples gobiernos locales y departamentos de la Administración a través de sus informes sectoriales expresaron su preocupación de que una falla de la instalación de almacenamiento de estériles de planta pudiera contaminar el sistema fluvial Ulla-Deza y la ría de Arousa (ver Fig. 2).

Xunta de Galicia [Gobierno de Galicia] (2020) enumera no menos de 60 “principais cuestións das alegacións e documentos técnicos” [principales cuestiones de las alegaciones y documentos técnicos], incluyendo “Afección a zona Ulla-Ría de Arousa, coas implicacións económicas que conleva” [Afectación de la zona de Ulla-Ría de Arousa, con las implicaciones económicas que conlleva]. Xunta de Galicia (2020) resumió las preocupaciones de “Corporacións municipais de Boiro, Oleiros, Sada e Teo, entre outras” [Corporaciones municipales de Boiro, Oleiros, Sada y Teo, entre otras] por escrito “*Instan á desestimación da autorización, xa que consideran que o proxecto non garante a calidade das augas da cunca do río Ulla e, polo tanto, afectará á riqueza pesqueira e marisqueira da ría de Arousa*” [Instan a desestimar la autorización, al considerar que el proyecto no garantiza la calidad de las aguas de la cuenca del río Ulla y, por tanto, afectará a la riqueza pesquera y mariscadora de la ría de Arousa].

La Xunta de Galicia (2020) también resumió las preocupaciones de la Dirección Xeral de Patrimonio Natural [Dirección General de Patrimonio Natural] por escrito, “*No primeiro informe con data abril de 2018 conclúe que a documentación non é suficiente para a realizar a avaliación sobre o Patrimonio Natural e a Biodiversidade, informando da existencia dun risco moi elevado para as poboacións humanas próximas e ao medio ambiente, en caso de catástrofe. Nun segundo informe con data febreiro de 2019 sinala que na documentación aportada se aprecian carencias documentais, e que quedan sen contestar algúns aspectos relevantes, non dando cobertura ao requirido.*

*No terceiro informe con data decembro de 2019, analiza principalmente a probabilidade de afección á ZEC Sistema Fluvial Ulla Deza (a 3,5 km ao sur), probabilidade que non foi avaliada polo promotor ao considerala inexistente. Emítense unha serie de consideracións con respecto á rotura do depósito de estériles e se indica que a análise realizada pola promotora conclúe que a probabilidade de ocorrencia dun suceso nunca é nula, se ben esta*





*pode minimizarse a valores pouco relevantes adoptando as medidas axeitadas. Na análise de riscos estudada pola promotora, conclúe a baixa probabilidade de ocorrencia dos escenarios de risco. Sen embargo, estes deberán ser previstos e avaliados posto que a probabilidade, aínda que baixa, non é cero.*

*A posibilidade do desencadeamento de escenarios accidentais descritos e, en concreto, da falla de diques dos depósitos de estériles ou a incorporación de augas subterráneas contaminadas obrigan, necesariamente, a dimensionar estas continxencias fronte ás repercusións directas e indirectas sobre os elementos da biodiversidade, en particular, sobre os espazos da Rede Natura 2000. Refírese ao recollido na normativa de aplicación en materia de patrimonio natural, respecto de que as autoridades competentes unicamente se poderán declarar de acordo co proxecto tras asegurarse de que non causará un prexuízo á integridade do espazo.*

*Conclúe que ao non terse definido as medidas necesarias no caso de materializarse un risco, a proposta non garante que non vaia a existir unha grave afección aos valores naturais da zona nin á integridade da ZEC Sistema Fluvial Ulla-Deza [En el primer informe de abril de 2018 se concluye que la documentación no es suficiente para realizar la evaluación sobre Patrimonio Natural y Biodiversidad, reportando la existencia de un riesgo muy elevado para las poblaciones humanas cercanas y el medio ambiente, en caso de catástrofe.*

En un segundo informe de febrero de 2019 señala que existen deficiencias documentales en la documentación aportada, y que quedan sin respuesta algunos aspectos relevantes, no cubriendo lo requerido. En el tercer informe de diciembre de 2019 se analiza principalmente la probabilidad de afectación a la ZEC Sistema Fluvial Ulla Deza (3,5 km al sur), probabilidad que no fue valorada por el promotor al considerarla inexistente. Se emiten una serie de consideraciones respecto a la ruptura del depósito de estériles y se indica que el análisis realizado por el promotor concluye que la probabilidad de ocurrencia de un evento nunca es cero, aunque esto puede minimizarse a valores insignificantes, adoptando las medidas adecuadas.

En el análisis de riesgos estudiado por el promotor se concluye la baja probabilidad de ocurrencia de los escenarios de riesgo. Sin embargo, estos deben ser previstos y evaluados, ya que la probabilidad, aunque baja, no es cero. La posibilidad de que se desencadenen los escenarios accidentales descritos y, en particular, de la falla de los





diques de los depósitos de estériles o de la incorporación de aguas subterráneas contaminadas obliga necesariamente a medir estas contingencias frente a las repercusiones directas e indirectas sobre los elementos de la biodiversidad, en particular, sobre los espacios de la Red Natura 2000.

Se refiere a lo incluido en la normativa aplicable en materia de patrimonio natural, respecto de la cual las autoridades competentes sólo pueden declararse de acuerdo con el proyecto después de asegurarse de que éste no causará daños a la integridad del espacio. Concluye que al no haberse definido las medidas necesarias en caso de materializarse un riesgo, la propuesta no garantiza que no se produzca una afectación grave a los valores naturales de la zona ni a la integridad del Ulla-Deza Sistema Fluvial ZEC].

El órgano competente en el proyecto de la Xunta de Galicia (2020) respondió a las múltiples preocupaciones emitiendo una Declaración de Impacto Ambiental desfavorable el 28 de enero de 2020, seguida de la denegación de la aprobación del proyecto de explotación y del plan de restauración el 22 de febrero de 2021. De acuerdo con Xunta de Galicia (2020), *“A vista da documentación aportada en relación á 'Actualización do Proxecto de Explotación, Plan de Restauración e Estudo de impacto ambiental' da concesión de explotación San Rafael núm. 2946, da provincia da Coruña, unha vez finalizada a tramitación e tendo en conta, principalmente, as consideracións recollidas nos informes emitidos por Augas de Galicia e pola Dirección Xeral de Patrimonio Natural, conclúese que : ... Na situación actual, o proxecto non dá resposta completa ás medidas de xestión a adoptar en caso de escenario accidental e, incluso, as medidas de prevención e xestión da continxencia parecen limitarse a xustificar que o suceso non se producirá.*

*Por conseguinte, en caso de materializarse un escenario de risco, non se pode garantir que a actuación proxectada non produza unha grave afección aos valores naturais da zona nin un prexuízo á integridade da Zona de Especial Conservación, en diante ZEC, 'Sistema fluvial Ulla-Deza'. En conclusión, formúlase proposta desfavorable á declaración de impacto ambiental de referencia, ao considerar que o proxecto da concesión derivada do permiso de investigación 'San Rafael número 2946' nos concellos de Touro e do Pino, situados na provincia da Coruña, promovido por Cobre San Rafael S.L (2017/0084) non acredita a ausencia de afeccións significativas sobre o ciclo hídrico e sobre as masas de auga afectadas nin conta coa conformidade do órgano competente; nin acredita a integridade da ZEC 'Sistema fluvial Ulla-Deza'”* [A la vista de la documentación aportada en relación a la Actualización del Proyecto de Explotación, Plan de Restauración y Estudio de Impacto



Ambiental' de la concesión de explotación San Rafael núm. 2946, de la provincia de A Coruña, una vez finalizada la tramitación y teniendo en cuenta, principalmente, las consideraciones recogidas en los informes emitidos por Aguas de Galicia y por la Dirección General del Patrimonio Natural, se concluye que: ... En la situación actual, el proyecto no da una respuesta completa a las medidas de gestión a adoptar ante un escenario accidental e incluso las medidas de prevención y gestión de contingencias parecen limitarse a justificar que el evento no se producirá.

En consecuencia, en caso de materializarse un escenario de riesgo, no se puede garantizar que la actuación prevista no produzca una afectación grave a los valores naturales de la zona ni perjudique la integridad de la Zona de Especial Conservación, en adelante ZEC, "Sistema fluvial Ulla-Deza". En conclusión, se formula una propuesta desfavorable a la declaración de impacto ambiental de referencia, al considerar que el proyecto de concesión derivado del permiso de investigación 'San Rafael número 2946' en los municipios de Touro y de O Pino, situados en la provincia de A Coruña, impulsado por Cobre San Rafael S.L. (2017/0084) no certifica la ausencia de condiciones significativas sobre el ciclo del agua y sobre las masas de agua afectadas ni cuenta con el cumplimiento del organismo competente; ni certifica la integridad de la ZEC 'Sistema fluvial Ulla-Deza'].

## El análisis de rotura de presa

Aunque la Xunta de Galicia rechazó la propuesta anterior para la mina Touro basándose, entre otras razones, en las deficiencias del plan de gestión de residuos mineros, el plan de gestión de residuos mineros del último EIA es prácticamente idéntico al del EIA publicado en 2017 y actualizado en 2019. Por lo tanto, las críticas anteriores del autor al plan de gestión de residuos mineros seguirían siendo en gran medida aplicables (Emerman, 2018).

Una adición en el último EIA, no en el plan en sí, sino en la evaluación de las consecuencias del plan, es la afirmación de que una falla en la instalación de almacenamiento de estériles de planta tendría consecuencias estrictamente locales. De acuerdo con el EIA, "Según la modelización de la rotura de dique realizada por la empresa Golder Associates en el año 2021, se identifica solo una afección local sobre el Rego das Pucheiras (cauce tributario) [ver Fig. 3 en este informe] pero no alcanzaría el cauce del Río Brandelos y, por tanto, tampoco la cuenca principal del río Ulla (ES1140001 ZEC Sistema Fluvial Ulla - Deza)



(Novotec, 2021). El EIA profundizó más, “Por otro lado, en el Estudio de rotura e inundación (GOLDER, 2021) se incluye la simulación de la rotura por fluidificación del DEP1 en la zona sur. En el caso más desfavorable analizado el flujo ocuparía un área máxima de unas 94 Ha, alcanzando una distancia de 2,7 km desde la brecha” (CRS Ingeniería (2021b)).

Es extraño que el último EIA afirme las conclusiones del análisis de rotura de presa realizado por Golder (2021), pero no incluya el análisis que respaldaría las conclusiones. La omisión del análisis de rotura de presa fue incluso señalada en el EIA. De acuerdo con el EIA, “El estudio de rotura e inundación del DEP1 (GOLDER, 2021) incluye todas las recomendaciones contempladas en este requisito, aunque éstas no se han incluido en el Proyecto Constructivo” (CRS Ingeniería, 2021b).

El “Proyecto Constructivo” presumiblemente se refiere a las secciones del EIA redactadas por CRS Ingeniería (2020a) y CRS Ingeniería (2021a). El análisis de rotura de presa de Golder (2021) no está disponible públicamente, pero la última versión es la de WSP Golder (2023), la cual sí está disponible al público.

## Objetivos de este informe

Los objetivos del presente informe son considerar si el plan de gestión de residuos mineros en el EIA y el análisis de rotura de presas realizado por WSP Golder (2023) garantizan una protección suficiente para las personas y el medio ambiente.

Dado que, como se ha mencionado anteriormente, la Xunta de Galicia rechazó la propuesta anterior para la mina Touro basándose, entre otras razones, en las deficiencias del plan de gestión de residuos mineros, los objetivos de este informe son equivalentes a preguntarse si la adición de un análisis de rotura de presa debería dar lugar a una reconsideración de la decisión anterior de la Xunta de Galicia.

Este informe también revisará un informe de consultoría para la empresa minera (Alejano, 2019), en respuesta a la revisión del autor del EIA anterior (Emerman, 2018). Una revisión más detallada del análisis de rotura de presa realizado por WSP Golder (2023) está disponible en Emerman (2023a). Para facilitar la lectura por parte de no especialistas, este informe incluye un tutorial sobre conceptos clave de la gestión de residuos mineros,



incluidos los métodos de construcción de presas de estériles de planta, una comparación de presas de estériles de planta y presas de retención de agua, el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera, inundaciones de diseño y terremotos de diseño, métodos empíricos para el análisis de rotura de presa, el método de equilibrio límite y factor de seguridad y el drenaje ácido de mina.

Después de los resúmenes del último EIA y el análisis de rotura de presa, los objetivos se perfeccionarán en una serie de 14 preguntas en la sección “Preguntas”.



*Figura 6. Por lo general, los estériles de planta se almacenan permanentemente sobre el terreno detrás de una presa de estériles de planta construida con residuos mineros. La foto de la presa Aguzadera en la mina de cobre Riotinto de Atalaya Mining fue tomada por el autor el 19 de junio de 2019. Aunque el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) enumera las presas de estériles de planta en la mina de Riotinto como ejemplos de presas de estériles de planta con “riesgo cero” (CRS Ingeniería, 2023a), un informe anterior del autor evaluó la probabilidad anual de falla de las presas de estériles de planta en la mina Riotinto en un 15% (Emerman, 2019).*



## TUTORIAL SOBRE GESTIÓN DE RESIDUOS MINEROS

---

### Métodos de construcción de presas de estériles de planta

Los estériles de mina a menudo se depositan como un vertedero de estériles de mina independiente. Por el contrario, debido a que son húmedos y de grano fino, los estériles de planta requieren confinamiento detrás de una presa (ver Fig. 6).



*Figura 7a. Una mezcla de agua y estériles de planta con un contenido de sólidos del 35% en masa se descarga hidráulicamente en el estanque de estériles de planta desde la cresta de la presa Cobre en la mina Riotinto de Atalaya Mining en Andalucía, España (ver Fig. 6). Foto tomada por el autor el 21 de junio de 2019.*





En la gestión de estériles de planta convencional (sin espesamiento de los estériles de planta), los estériles de planta húmedos se canalizan a la instalación de almacenamiento de estériles de planta sin deshidratación, de modo que los contenidos de sólidos estén en el rango de 20-40% en masa. La mezcla de estériles de planta y agua luego se descarga en el estanque de estériles de planta desde la cresta de la presa a través de espigas que se conectan a una tubería que proviene de la planta de procesamiento de mineral.

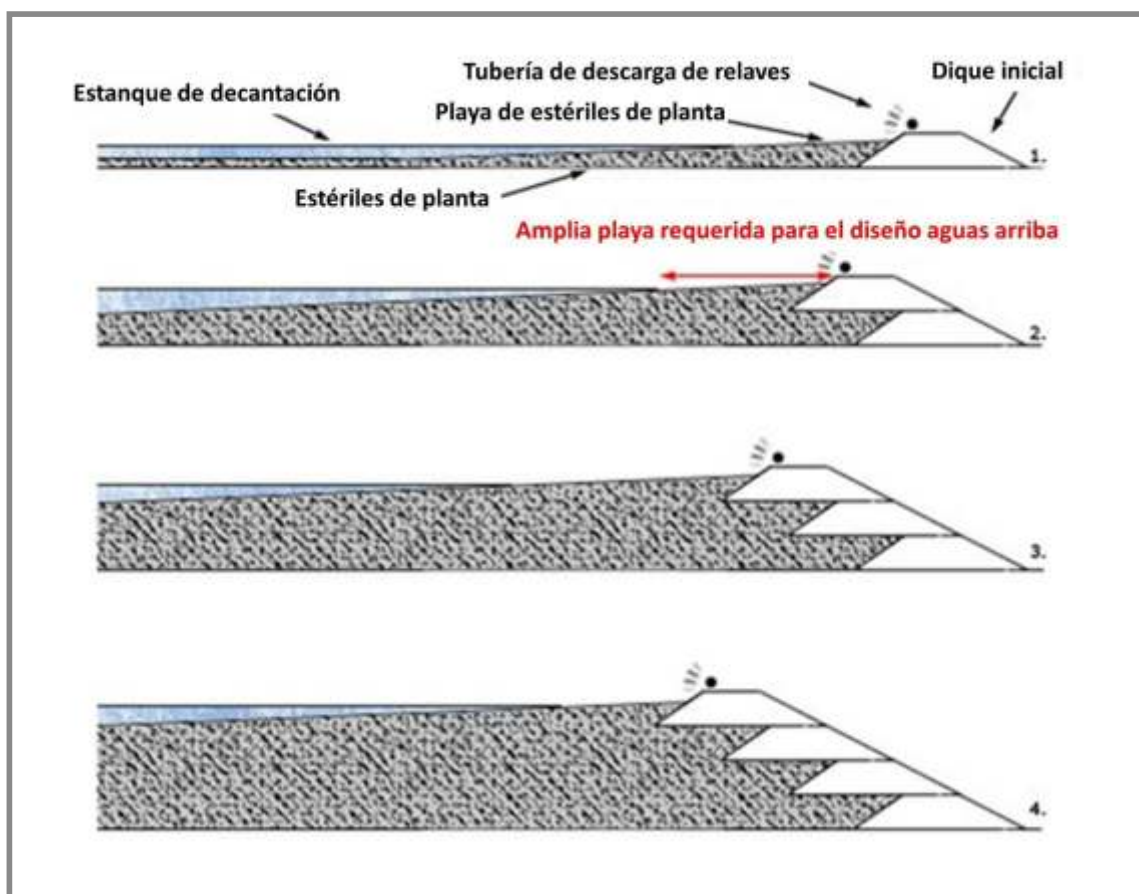
Las Figs. 7a-b muestran la descarga hidráulica de los estériles de planta al depósito de estériles de planta desde la cresta de la presa Cobre en la mina de cobre Riotinto de Atalaya Mining en Andalucía, España, con un contenido de sólidos del 35%. Los estériles de planta se pueden dividir en dos tamaños con propiedades físicas muy diferentes, los que son los estériles de planta gruesos o arenas (mayores de 0,075 mm) y los estériles de planta finos o lodos (menores de 0,075 mm).



**Figura 7b.** Una mezcla de agua y estériles de planta con un contenido de sólidos del 35% en masa se descarga hidráulicamente en el estanque de estériles de planta desde la cresta de la presa Cobre en la mina Riotinto de Atalaya Mining en Andalucía, España (ver Fig. 6). Foto tomada por el autor el 21 de junio de 2019.



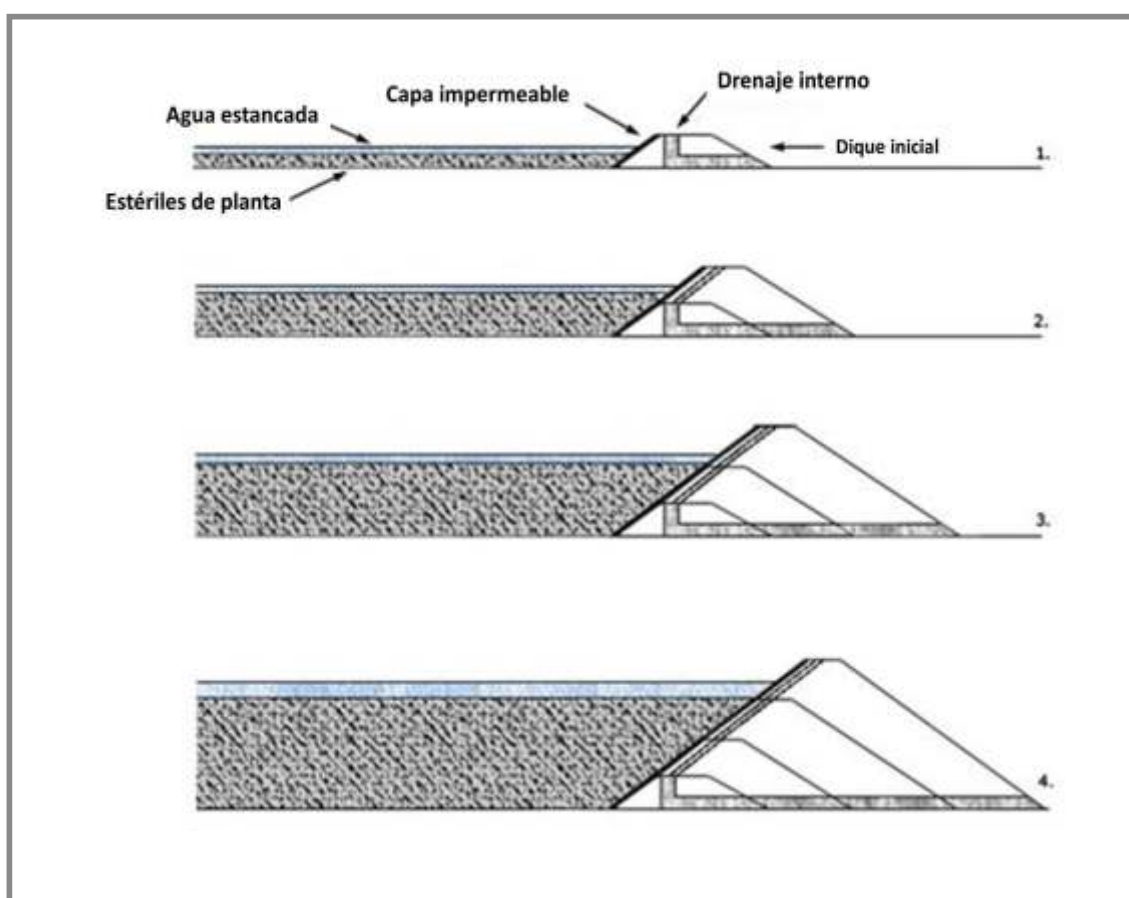
La descarga hidráulica da como resultado la separación de los tamaños de estériles de planta por gravedad. Las arenas más grandes se asientan más cerca de la presa para formar una playa. Los lodos más pequeños y el agua viajan más lejos de la presa para formar un estanque de decantación donde los lodos se asientan lentamente fuera de suspensión. Por lo general, el agua se recupera del estanque de decantación y se vuelve a bombear a la operación minera.



**Figura 8a.** En el método de construcción aguas arriba, se construyen diques sucesivos en dirección aguas arriba a medida que aumenta el nivel de estériles de planta almacenados. Los diques se pueden construir con estériles de mina, suelo natural, relleno de roca natural o la fracción más gruesa de estériles de mina (normalmente con una compactación adecuada). La ventaja del método es su bajo costo porque se requiere muy poco material para la construcción de la presa. La desventaja es que la presa es susceptible a fallas debido a la licuefacción sísmica o estática porque los estériles de mina húmedos no compactados están debajo de la presa. Por esta razón, el método de construcción aguas arriba es ilegal en Brasil, Chile, Ecuador y Perú. Figura de TailPro Consulting (2024) con superposición de etiquetas en español.



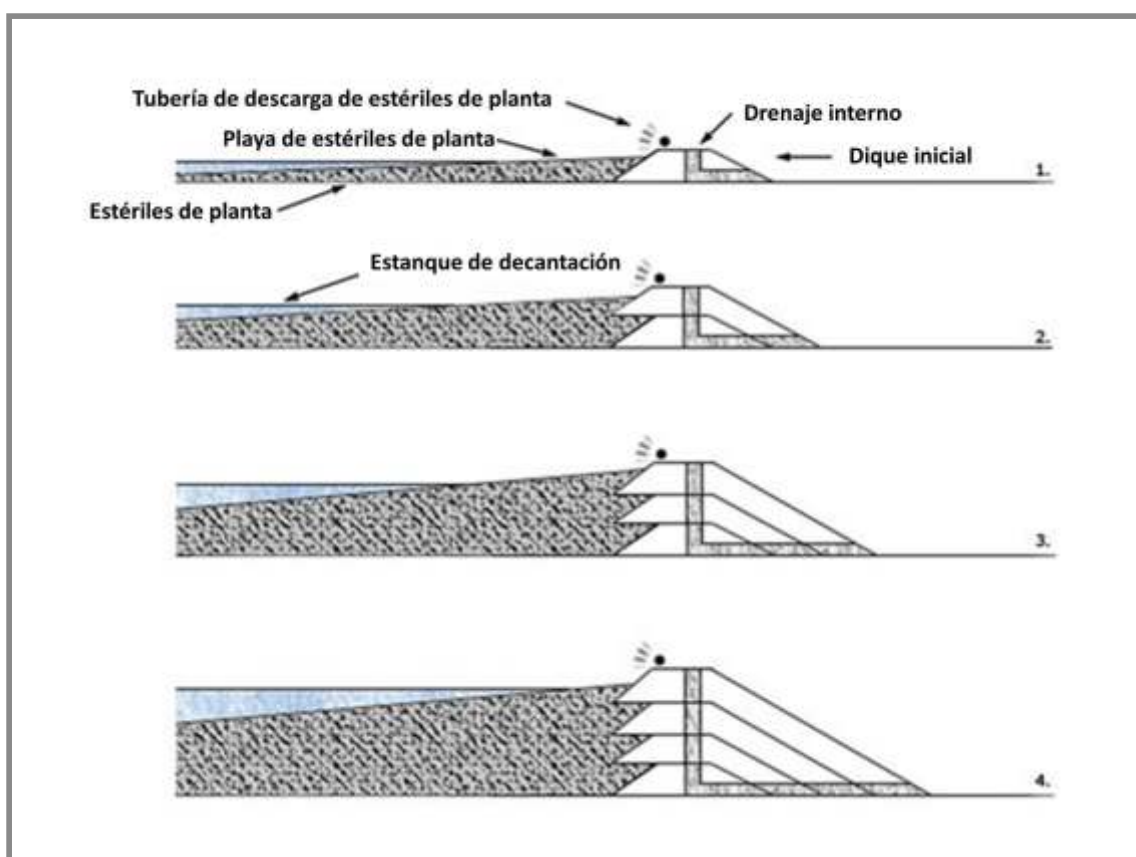
Cada uno de los tres métodos comunes de construcción de presas de estériles de planta (aguas arriba, aguas abajo y línea central) comienza con un dique inicial, el cual se construye a partir de suelo natural, escollera natural, estériles de mina o estériles de planta de un episodio anterior de procesamiento de mineral (ver Figs. 8a-c). En el método de construcción aguas arriba, los diques sucesivos se construyen en la dirección aguas arriba a medida que aumenta el nivel de estériles de planta almacenados.



**Figura 8b.** En el método de construcción aguas abajo, se construyen diques sucesivos en la dirección aguas abajo a medida que aumenta el nivel de estériles de planta almacenados. Los diques se pueden construir a partir de estériles de mina, suelo natural, relleno de roca natural o la fracción más gruesa de estériles de planta (normalmente con la compactación adecuada). La resistencia a la licuefacción sísmica y estática es alta porque no hay estériles de planta no compactado debajo de la presa. La desventaja de este método es su alto costo debido a la cantidad de material necesario para construir los diques (compare los volúmenes de los diques en Figs. 8a y 8b). Figura de TailPro Consulting (2024) con superposición de etiquetas en español



Es más común construir los diques sucesivos a partir de estériles de mina o la fracción más gruesa de estériles de planta (típicamente con la compactación apropiada). La ventaja del método es su bajo costo porque se requiere muy poco material para la construcción de la presa (ver Fig. 8a). El método de construcción aguas abajo es el más caro porque requiere la mayor cantidad de material de construcción (comparar Figs. 8a y 8b). En este método, los diques sucesivos se construyen en la dirección aguas abajo a medida que aumenta el nivel de estériles de planta almacenados.



**Figura 8c.** En el método de construcción de la línea central, se construyen diques sucesivos colocando material de construcción en la playa y en el terraplén aguas abajo del dique anterior. Las líneas centrales de las elevaciones coinciden a medida que se construye la presa hacia arriba. Los diques se pueden construir a partir de estériles de mina, suelo natural, relleno de roca natural o la fracción más gruesa de estériles de planta (normalmente con la compactación adecuada). El método de la línea central es intermedio entre los métodos aguas arriba y aguas abajo (ver Figs. 8a-b) en términos de costo y riesgo de falla. La resistencia a la licuefacción sísmica y estática es moderada porque todavía hay algunos estériles de planta no compactados debajo de los diques. Figura de TailPro Consulting (2024) con superposición de etiquetas en español.





El método de construcción de línea central es un equilibrio entre las ventajas y desventajas de la construcción aguas abajo y la construcción aguas arriba (comparar Figs. 8a-c). En este método, los diques sucesivos se construyen colocando material de construcción sobre la playa y sobre la pendiente aguas abajo del dique anterior. Las líneas centrales de los recrecimientos coinciden a medida que la presa se construye hacia arriba (ver Fig. 8c).

No es de extrañar que los métodos de construcción menos costosos también sean más vulnerables a las fallas. Las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas arriba son especialmente vulnerables a fallas por licuefacción sísmica o licuefacción estática porque la presa se construye sobre los estériles de planta no compactados (ver Fig. 8a).

Por lo tanto, incluso si la presa mantiene temporalmente su integridad estructural mientras los estériles de planta subyacentes se licúan, la presa podría fallar ya sea cayendo en o deslizándose sobre los estériles de planta licuados. Las presas construidas utilizando el método de la línea central conservan cierta vulnerabilidad a fallas durante la licuefacción porque todavía hay algunos estériles de planta sin compactar debajo de los diques (ver Fig. 8c).

Por otra parte, una presa de estériles de planta construida con el método aguas abajo podría sobrevivir a la licuefacción completa de los estériles de planta almacenados detrás de la presa (ver Fig. 8b). Por supuesto, todavía se necesita un diseño y una construcción adecuados para evitar la licuefacción de la presa en sí, incluso cuando se utiliza el método aguas abajo.

Las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo y utilizando la fracción más gruesa de los estériles de planta como material de construcción tienen mucho en común con las presas de retención de agua construidas en relleno de tierra. De la misma manera, las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo y utilizando estériles de mina como material de construcción tienen mucho en común con las presas de retención de agua construidas en escollera (Vick, 1990).

Las principales diferencias son que las presas de retención de agua no suelen construirse en etapas ni con residuos mineros. La comparación entre las presas de estériles de planta y las presas de retención de agua se analiza con más detalle en la siguiente subsección.



## Presas de estériles de planta vs. presas de retención de agua

Aunque las presas de estériles de planta y las presas de retención de agua se construyen con el propósito de restringir el flujo de agua o desechos que contienen agua, son fundamentalmente diferentes tipos de estructuras de ingeniería civil. Este punto importante fue enfatizado en el libro de texto de Vick (1990) titulado *Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams* [Planificación, Diseño y Análisis de Presas de Relaves].

De acuerdo con Vick (1990), *“A recurring theme throughout the book is that there are significant differences between tailings embankment and water-retention dams...Unlike dams constructed by government agencies for water-retention purposes, tailings dams are subject to rigid economic constraints defined in the context of the mining projects as a whole. While water-retention dams produce economic benefits that presumably outweigh their cost, tailings dams are economic liabilities to the mining operation from start to finish. As a result, it is not often economically feasible to go to the lengths sometimes taken to obtain fill for conventional water dams”* [Un tema recurrente a lo largo del libro es que existen diferencias significativas entre las presas de terraplén de relaves y las presas de retención de agua... A diferencia de las presas construidas por las agencias gubernamentales con fines de retención de agua, las presas de relaves son sujetas a restricciones económicas rígidas definidas en el contexto de los proyectos mineros en su conjunto. Si bien las presas de retención de agua producen beneficios económicos que presumiblemente superan su costo, las presas de relaves son desventajas económicas para la operación minera de principio a fin. Como resultado, no siempre es económicamente factible llegar a las distancias que a veces se toman para obtener relleno para las presas de agua convencionales].

Además de la inviabilidad económica de llegar a las distancias que a veces son ideales para obtener un relleno apropiado, Vick (1990) da muchos otros ejemplos de formas en que no es económicamente viable construir una presa de estériles de planta de la misma manera que una presa de retención de agua. Una presa de retención de agua (una que se construye de tierra) se construye de roca y suelo que se elige por su idoneidad para la construcción de presas. Sin embargo, una presa de estériles de planta normalmente se construye con material de construcción que es creado por la operación minera, como roca estéril, la fracción más gruesa de los estériles de planta, o relleno de roca o tierra que se extrae del sitio de la mina. Además, una presa de retención de agua se construye completamente al



principio antes de que su reservorio se llene de agua, mientras que una presa de estériles de planta se construye en etapas a medida que se producen más estériles de planta que requieren almacenamiento, a medida que se disponga de más material de la operación minera (como roca estéril) para la construcción, y a medida que se disponga de financiación para futuras construcciones. Las implicaciones de la construcción por etapas se resumieron en el SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración]) Tailings Management Handbook [Manual de Gestión de Relaves]. Según Snow (2022), *“The construction of a TSF over an operational period of many years or even decades introduces the potential for discontinuity in construction oversight, quality control, monitoring, and recognition of performance factors that can affect operation and safety”* [La construcción de un TSF durante un período operativo de muchos años o incluso décadas presenta el potencial de discontinuidad en la supervisión de la construcción, el control de calidad, el monitoreo y el reconocimiento de factores de desempeño que pueden afectar la operación y la seguridad].

Las consecuencias de las construcciones muy diferentes de presas de estériles de planta y presas de retención de agua son los registros de seguridad muy diferentes de los dos tipos de estructuras. Según un artículo ampliamente citado por Davies (2002), *“It can be concluded that for the past 30 years, there have been approximately 2 to 5 “major” tailings dam failure incidents per year... If one assumes a worldwide inventory of 3500 tailings dams, then 2 to 5 failures per year equates to an annual probability somewhere between 1 in 700 to 1 in 1750. This rate of failure does not offer a favorable comparison with the less than 1 in 10,000 that appears representative for conventional dams. The comparison is even more unfavorable if less “spectacular” tailings dam failures are considered. Furthermore, these failure statistics are for physical failures alone. Tailings impoundments can have environmental ‘failure’ while maintaining sufficient structural integrity (e.g. impacts to surface and ground waters)”* [Se puede concluir que, durante los últimos 30 años, ha habido aproximadamente de 2 a 5 incidentes de falla de presas de relaves 'importantes' por año... Si se asume un inventario mundial de 3.500 presas de relaves, entonces de 2 a 5 fallas por año equivale a una probabilidad anual de entre 1 en 700 a 1 en 1.750. Esta tasa de falla no ofrece una comparación favorable con menos de 1 en 10.000 que parece ser representativa de las presas convencionales.

La comparación es aún más desfavorable si se consideran fallas de presa de relaves menos 'espectaculares'. Además, estas estadísticas de fallas son sólo para fallas físicas. Los embalses de relaves pueden tener 'falla' ambiental mientras se mantiene una integridad



estructural suficiente (e.g., impactos a las aguas superficiales y subterráneas)]. Tanto el número total de presas de estériles de planta como el número de fallas de las presas de estériles de planta citados por Davies (2002) son probablemente demasiado bajos. Sin embargo, el Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel [Investigación de Ingeniería y Panel de Revisión de Expertos Independientes (2015) que investigó la falla de la presa de estériles de planta en la mina Mount Polley encontró una tasa de fallas similar en las presas de estériles de planta de 1 en 600 por año (probabilidad anual de falla del 0,17%) durante el período 1969-2015 en Columbia Británica (Canadá). La investigación del panel de expertos de Mount Polley implicó la documentación rigurosa de todas las fallas de las presas de estériles de planta en Columbia Británica, así como la documentación de los años de operación activa de cada presa de estériles de planta en Columbia Británica. En la actualidad, no existen otras estimaciones regionales confiables del tipo realizadas por el panel de expertos de Mount Polley.

Durante el periodo 1960 - 2017 se han documentado 12 fallas de presas de estériles de planta en España, incluidas tres en Galicia (A Nosa Terra [Nuestra Tierra], 1978; Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública], 2024; Roy, 2024; ver Tabla 1).

**Tabla 1. Fallas conocidas de presas de estériles de planta en España<sup>1</sup>**

Año	Comunidad Autónoma	Mina, Área Local	Distancia de Escorrentía (km)	Volumen de Liberación (m <sup>3</sup> )	Muertes
1960	Galicia	San Finx, Coruña	—	—	0
1960	Cantabria	La Luciana, Reocin	0,5 <sup>2</sup>	100.000	18
1963	Región de Murcia	El Descargador, Cartagena-La Unión	—	66.000	0
1969	País Vasco	Bilbao	0,035	115.000	6
1972	Región de Murcia	Brunita, Cartagena-La Unión	—	70.000	1
1975 <sup>3</sup>	Galicia	Penouta, Ourense	—	—	—
1998	Andalucía	Los Frailes, Aznalcóllar	41 <sup>2</sup>	6.800.000 <sup>2</sup>	0
1998 <sup>2</sup>	Andalucía	Fertiberia, Foret	—	50.000	—
2004	Andalucía	El Soldado, Alcaracejos	—	—	0
2010	Andalucía	La Carolina, Jaén	—	—	0
2014	Galicia	Monte Neme, Coruña	—	24.000	0
2017	Andalucía	Huelva, La Zarza	—	300.000	0

<sup>1</sup>Datos de Roy (2024) salvo que se indique lo contrario

<sup>2</sup>Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública] (2024)

<sup>3</sup>A Nosa Terra [Nuestra Tierra] (1978)





Entre las fallas de presas de estériles de planta en España se incluyen la falla en la mina La Luciana en Cantabria en 1960, la cual causó 18 muertes, la falla en la mina Bilbao en el País Vasco en 1969, la cual causó seis muertes, y la falla en la mina Los Frailes en Aznalcóllar, Andalucía, España, la cual causó el desastre en el Parque Nacional de Doñana en 1998 al liberar 6,8 millones de metros cúbicos de estériles de planta con una distancia de escorrentía de 41 kilómetros (ver Tabla 1). Con respecto a la falla de la presa de estériles de planta en la mina La Luciana, Roy (2024) escribió, *“Many died in the initial failure, trapped by a subsequent landslide—the worst catastrophe since the civil war, involving children* [Muchos murieron en la falla inicial, atrapados por un deslizamiento de tierra posterior, la peor catástrofe desde la guerra civil, involucrando a los niños]. De acuerdo con Roy (2024), la falla de la presa de estériles de planta en la mina San Finx *“rendered numerous high-quality land plots barren, with some remaining unproductive to this day”* [dejó estériles numerosas parcelas de tierra de alta calidad, y algunas siguen siendo improductivas hasta el día de hoy].

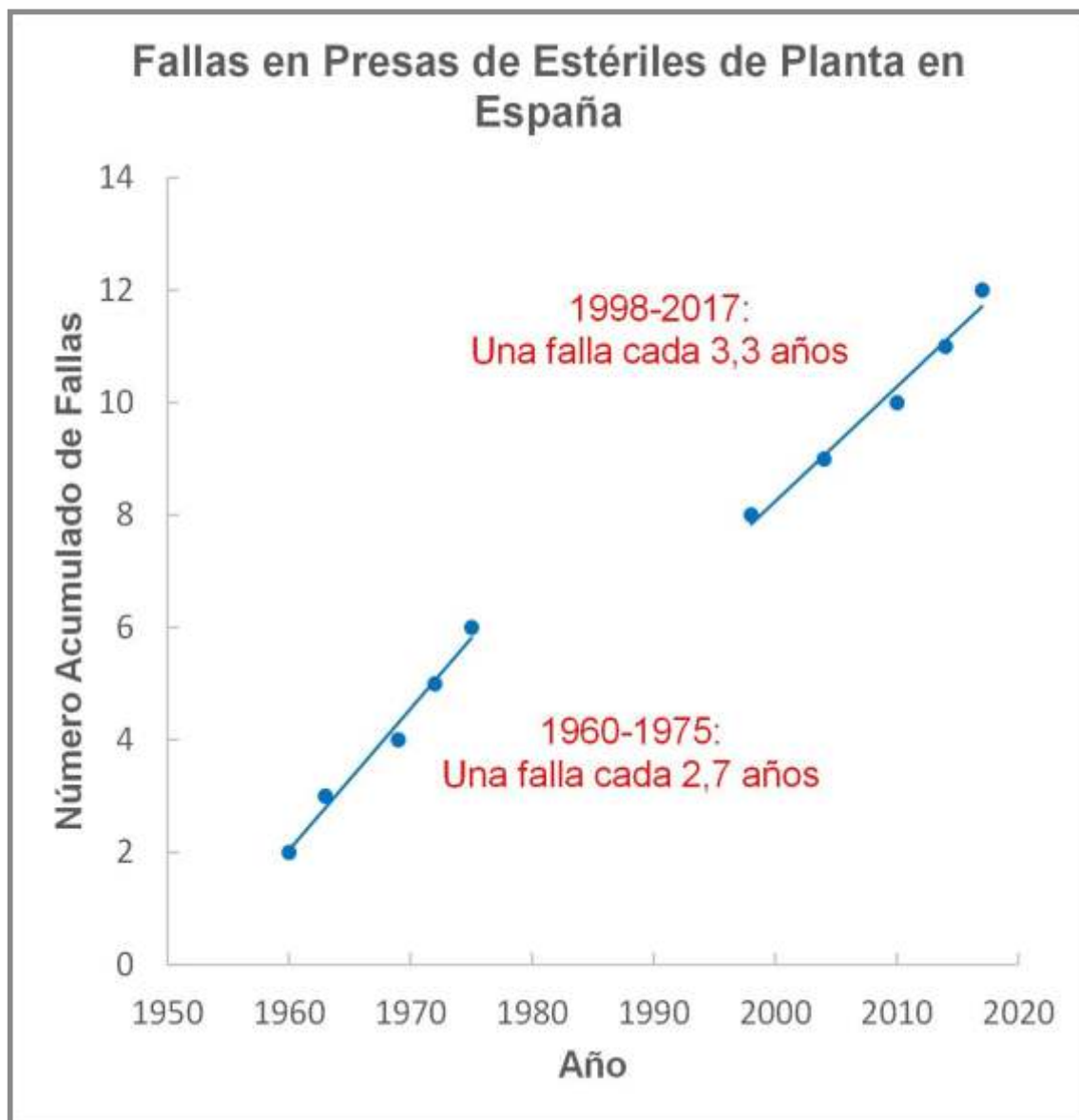
Entre 1960 y 1975 se produjeron en España seis fallas de presas de estériles de planta, lo que equivale a una falla cada 2,7 años de media (ver Tabla 1 y Fig. 9). Entre 1998 y 2017 se produjo el mismo patrón, con seis fallas, lo que equivale a una falla cada 3,3 años (ver Tabla 1 y Fig. 9). No está claro si el paréntesis de 22 años en las fallas de las presas de estériles de planta entre 1976 y 1997 es real o indica una falta de documentación durante ese período (ver Fig. 9). No es posible estimar la probabilidad anual de falla de una presa de estériles de planta en España, como se hizo en Columbia Británica, principalmente debido a la falta de documentación de los años de operación activa de cada presa de estériles de planta.

La discusión anterior contrasta en gran medida las presas de estériles de planta y las presas de retención de agua que están en operación activa. Al final de su vida útil, o cuando ya no es posible inspeccionar y mantener la presa, una presa de retención de agua se desmantela por completo. Una presa de retención de agua no puede simplemente abandonarse o eventualmente fallará en un momento impredecible con consecuencias que son difíciles de predecir.

Sin embargo, no se puede subestimar la importancia del almacenamiento permanente de estériles de planta, lo cual ya se ha mencionado varias veces. Una presa de estériles de planta no se puede desmantelar a menos que los estériles de planta se puedan mover a otro lugar, como un tajo abierto agotado. Por lo general, se espera que una presa de estériles de planta contenga los estériles de planta, a menudo tóxicos, a perpetuidad,



aunque normalmente la inspección, el monitoreo, el mantenimiento y la revisión de la presa cesan en algún momento después del final del proyecto minero.



*Figura 9. Desde 1960 se han documentado 12 fallas de presas de estériles de planta en España (ver Tabla 1). En promedio, se produjo una falla cada 2,7 años entre 1960 y 1975. Tras un paréntesis de 22 años, se produjo una falla cada 3,3 años en promedio entre 1998 y 2017. Datos de Roy (2024), Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública] (2024) y A Nosa Terra [Nuestra Tierra] (1978).*



La necesidad de mantenimiento perpetuo de una presa de estériles de planta, así como el realismo de tal perspectiva, se discutió en el documento de orientación La Seguridad ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves.

De acuerdo con Morrill et al. (2022), “Es imperativo que la reclamación y el cierre de las instalaciones de relaves sea un factor importante en su diseño inicial y ubicación ... Se considera que una obra de relaves está cerrada cuando ha cesado el depósito de relaves y se han completado todas las actividades de cierre, de manera que las instalaciones requieren solamente monitoreo de rutina, inspección y mantenimiento perpetuo o hasta que ya no existan modos creíbles de falla ... Actualmente, no existe tecnología adecuada para garantizar que instalaciones activas de relaves puedan cerrarse de modo para resistir la IMP [Inundación Máxima Probable] o TMC [Terremoto Máximo Creíble] de forma indefinida sin monitoreo, inspección y mantenimiento perpetuo ... En vista de que las empresas operadoras no permanecerán lo suficiente para lograr el monitoreo, la inspección, el mantenimiento y la revisión perpetua, la capacidad de las empresas operadoras para eliminar eventualmente todos los modos creíbles de falla debe ser una consideración clave durante el proceso de concesión de permisos. Si una agencia regulatoria estima que una empresa operadora no podrá ejercer su responsabilidad financiera y de cuidado perpetuo, ni eliminar todos los modos creíbles de falla, no debe aprobar las instalaciones propuestas”. La frase “modo creíble de falla” se analizará más a fondo en la subsección “Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera.”

En una presentación en una conferencia, Vick (2014a) concluyó que “*System failure probabilities much less than 50/50 are unlikely to be achievable over performance periods greater than 100 years ... system failure probability approaches 1.0 after several hundred years*” [Es poco probable que se puedan lograr probabilidades de falla del sistema mucho menores que 50/50 durante períodos de rendimiento superiores a 100 años ... la probabilidad de falla del sistema se aproxima a 1,0 después de varios cientos de años]. Vick (2014a) continuó, “*For closure, system failure is inevitable ... so closure risk depends solely on failure consequences*” [Para el cierre, la falla del sistema es inevitable ... por lo que el riesgo de cierre depende únicamente de las consecuencias de la falla].

En el documento de conferencia adjunto, Vick (2014b) elaboró, “*Regardless of the return period selected for design events, the cumulative failure probability will approach 1.0 for typical numbers of failure modes and durations. This has major implications. For closure conditions, the likelihood component of risk becomes unimportant and only the*



*consequence component matters ... This counterintuitive result for closure differs so markedly from operating conditions that it bears repeating. In general, reducing failure likelihood during closure—through more stringent design criteria or otherwise—does not materially reduce risk, simply because there are too many opportunities for too many things to go wrong. In a statistical sense, all it can do is to push failure farther out in time. System failure must be accepted as inevitable, leaving reduction of failure consequences as the only effective strategy for risk reduction during closure”* [Independientemente del período de retorno seleccionado para los eventos de diseño, la probabilidad de falla acumulada se acercará a 1,0 para números típicos de modos y duraciones de falla. Esto tiene implicaciones importantes. Para las condiciones de cierre, el componente de probabilidad del riesgo deja de ser importante y solo importa el componente de consecuencia... Este resultado contrario a la intuición para el cierre difiere tan marcadamente de las condiciones de operación que vale la pena repetirlo. En general, reducir la probabilidad de falla durante el cierre —a través de criterios de diseño más estrictos o de otra manera— no reduce materialmente el riesgo, simplemente porque hay demasiadas oportunidades para que muchas cosas salgan mal. En un sentido estadístico, todo lo que se puede hacer es empujar la falla más lejos en el tiempo. La falla del sistema debe aceptarse como inevitable, dejando la reducción de las consecuencias de la falla como la única estrategia efectiva para la reducción del riesgo durante el cierre].

Cabe señalar que Vick (2014a-b) no abordó explícitamente los problemas de la falta de mantenimiento a largo plazo, sino simplemente la multitud de cosas que podrían salir mal incluso si el mantenimiento se realizara a perpetuidad.

## **Estándar global de gestión de relaves para la industria minera**

En respuesta a la catastrófica falla de una presa de estériles de planta en Brumadinho, Brasil, en enero de 2019, que provocó la muerte de 270 personas, incluidos 258 trabajadores mineros (ver Fig. 14), el International Council on Mining & Metals [Consejo Internacional de Minería y Metales] (ICMM, por sus siglas en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Principles for Responsible Investment [Principios para la Inversión Responsable] (PRI, por sus siglas en inglés), publicaron el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM) el 5





de agosto de 2020 (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Las Empresas Miembros del ICMM estaban obligadas a cumplir plenamente con el EGGRIM antes del 5 de agosto de 2023 (ICMM, 2020, 2021). Aunque ni Cobre San Rafael, ni sus matrices Explotaciones Gallegas y Atalaya Mining no son Empresas Miembros, cabe destacar que las Asociaciones Miembros del ICMM incluyen Eurometaux, Euromines, la International Copper Association (ICA) [Asociación Internacional del Cobre], y el International Wrought Copper Council (IWCC) [Consejo Internacional del Cobre Forjado]. De esta manera, la expectativa de cumplimiento con el EGGRIM está bien establecida en Europa y en la industria mineras de cobre.

Es importante que el EIA afirme repetidamente que el diseño de la mina Touro se ha llevado a cabo de conformidad con el EGGRIM y que dicho cumplimiento ha sido verificado por la agencia reguladora española, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). De acuerdo con el EIA, “SUBTERRA Ingeniería, realizó la adaptación de este proyecto constructivo al ESTÁNDAR GLOBAL DE GESTIÓN DE RELAVES PARA LA INDUSTRIA MINERA, obteniendo como principal conclusión que el diseño del DEP1 asegura la estabilidad de la instalación” (CSR Ingeniería, 2023a).

De hecho, un informe completo de 96 páginas dentro del EIA está dedicado a demostrar el cumplimiento del proyecto Touro propuesto con el EGGRIM (CRS Ingeniería, 2021b).

El EIA profundizó más en este aspecto, “Se ha priorizado la seguridad por encima de cualquier otra característica, por lo que se ha seleccionado el método de construcción más seguro, aguas abajo o descendente, además de cumplir los exigentes criterios del nuevo Estándar Global de Gestión de Relaves para la industria minera... El Instituto Geológico Minero de España (IGME-CSIC), ha elaborado un informe que verifica que la instalación DEP1 cumple... el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera... El Proyecto se ha diseñado bajo los principios de la Minería Sostenible, e incorporando las MTD [Mejores Tecnologías Disponibles] de su sector que son de aplicación, incluyendo la aplicación de los exigentes criterios del nuevo Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera” (Novotec, 2024b). La veracidad de las afirmaciones anteriores en el EIA se examinará en la sección “Respuestas”.

Los aspectos clave del EGGRIM son el énfasis en la seguridad y la transparencia. El primer párrafo del Preámbulo del EGGRIM establece, “El Estándar Global sobre Gestión de Relaves (en adelante el Estándar), pretende alcanzar el objetivo final de cero daño en las



personas y en el medio ambiente, y tolerancia cero para fatalidades humanas. Exige a los operadores que asuman la responsabilidad y prioricen la seguridad de sus instalaciones de relaves, a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del proyecto, incluso cierre y post cierre. También exige la divulgación de la información pertinente como respaldo de la rendición de cuentas frente al público” (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Los requisitos particulares del EGGRIM que son más relevantes para las presas de estériles de planta de la mina Touro se revisarán en la siguiente subsección “Inundaciones de Diseño y Terremotos de Diseño”.

Es necesario agregar que, si bien el EGGRIM es ampliamente aceptado en Europa y en la industria minera del cobre, y aunque el EGGRIM enfatiza la seguridad y la transparencia, el EGGRIM no es el estándar de gestión de estériles de planta que más protege a las personas y al medio ambiente. El estándar más protector en la actualidad es La Seguridad ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves (Morrill et al., 2022), que ha sido respaldada por 158 organizaciones no gubernamentales y gobiernos tribales.



**Figura 10.** El 25 de enero de 2019, la falla de una presa de estériles de planta en la mina *Córrego do Feijão*, cerca de *Brumadinho*, *Brasil*, provocó la muerte de 270 personas, incluidas las de 258 trabajadores mineros. La falla condujo a la publicación del *Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera* en agosto de 2020 (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Foto de Robertson et al. (2019).



Por lo tanto, el cumplimiento del EGGRIM no debe considerarse como el cumplimiento de los estándares de seguridad más rigurosos, sino sólo como un mínimo indispensable. En la sección “Respuestas” se harán algunas comparaciones entre los requisitos del EGGRIM y los requisitos más estrictos de La Seguridad ante Todo.

## Inundaciones de diseño y terremotos de diseño

Cualquier presa de estériles de planta debe ser diseñada para resistir una inundación en particular y un terremoto en particular, llamado la inundación de diseño y el terremoto de diseño. Sin un conocimiento de la inundación de diseño y el terremoto de diseño, no hay una base para determinar el ancho de la playa de estériles de planta, las dimensiones del canal perimetral ni cualquier otro aspecto de un depósito de estériles de planta.

El terremoto de diseño es realmente una aceleración sísmica de diseño, que depende de la magnitud del terremoto de diseño, la distancia desde la falla en la que se espera que ocurra el terremoto y la naturaleza del material debajo de la presa. Típicamente, estos criterios de diseño dependen del potencial de peligro o las consecuencias de la falla. En la primera parte de esta subsección, se considerarán tres directrices ampliamente reconocidas para determinar inundaciones y terremotos de diseño, las cuales son las directrices de (U.S.) Federal Emergency Management Agency [(EE. UU.) Agencia Federal de Manejo de Emergencias] (FEMA, 2005, 2013), U.S. Army Corps of Engineers [Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.] (USACE, 1991, 2014, 2016), y Canadian Dam Association [Asociación Canadiense de Represas] (2013).

Todas las directrices anteriores se refieren a presas en general, en lugar de presas de estériles de planta en particular. Las directrices complementarias de la Canadian Dam Association (2019) consideran la aplicación de las directrices generales de seguridad de presas a las presas de estériles de planta.

Finalmente, se considerará la legislación vigente y propuesta en España, seguido de los requisitos del Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM). Aunque, por supuesto, sólo la legislación española actual tiene fuerza legal en España, la aceptación general del EGGRIM y la intención de Cobre San Rafael de cumplir con el EGGRIM se mencionaron en la subsección anterior.



La Federal Emergency Management Agency clasifica las presas en tres categorías según el potencial de peligro (FEMA, 2013). Potencial de alto peligro significa *“probable loss of life due to dam failure or misoperation”* [la probable pérdida de vida debido a la falla o mal funcionamiento de la presa]. Se aclara que *“probable loss of life”* [la probable pérdida de vida] se refiere a *“one or more expected fatalities”* [una o más muertes esperadas] y que *“economic loss, environmental damage or disruption of lifeline facilities may also be probable but are not necessary for this classification”* [la pérdida económica, el daño ambiental o la interrupción en las instalaciones vitales también pueden ser probables, pero no son necesarios para esta clasificación]. Un potencial de peligro significativo significa *“no probable loss of human life but can cause economic loss, environmental damage, or disruption of lifeline facilities due to dam failure or misoperation”* [no hay pérdida probable de vidas humanas, pero puede causar la pérdida económica, el daño ambiental o la interrupción en las instalaciones vitales debido a la falla o mal funcionamiento de la presa]. Potencial de bajo peligro significa *“no probable loss of human life and low economic and/or environmental losses due to dam failure or misoperation”* [no hay pérdida probable de vidas humanas y bajas pérdidas económicas y/o ambientales debido a la falla o mal funcionamiento de la presa].

Cada una de las clasificaciones de potencial de peligro corresponde a una inundación de entrada de diseño (FEMA, 2013). Una presa con un potencial de bajo peligro debe diseñarse para una inundación de 100 años (inundación con una probabilidad de excedencia del 1% en un cualquier año dado) o *“a smaller flood justified by rationale”* [una inundación más pequeña justificada por razones fundamentadas] (FEMA, 2013). Una presa con un potencial de peligro significativo debe diseñarse para una inundación de 1.000 años (inundación con una probabilidad de excedencia de 0,1% en cualquier año dado).

Sin embargo, una presa cuya falla se espera que resulte en la pérdida de al menos una vida (potencial de alto peligro) debe diseñarse para la Inundación máxima probable (IMP), que se define como *“the flood that may be expected from the most severe combination of critical meteorologic and hydrologic conditions that are reasonably possible in the drainage basin under study”* [la inundación que se puede esperar de la combinación más severa de condiciones meteorológicas e hidrológicas críticas que son razonablemente posibles en la cuenca de drenaje en estudio] (FEMA, 2013). La magnitud del IMP normalmente se deriva de la Precipitación máxima probable (PMP), que se define como *“the theoretical greatest depth of precipitation for a given duration that is physically*





*possible over a particular drainage area at a certain time of year*” [la mayor profundidad de precipitación teórica para un período determinado que es físicamente posible en un área de drenaje particular en una cierta época del año] (FEMA, 2013).

Vale la pena señalar que, según el U.S. Army Corps of Engineers , *“the PMF does not incorporate a specific exceedance probability, but is generally thought to be well beyond the 10,000 year recurrence interval”* [el IMP no incorpora una probabilidad de excedencia específica, pero en general se considera que está mucho más allá del intervalo de recurrencia de 10.000 años] (USACE-HCE, 2003).

De manera similar, cada uno de los potenciales de peligro corresponde a un terremoto de diseño. Según la Federal Emergency Management Agency, el Terremoto máximo creíble (TMC), es *“the largest earthquake magnitude that could occur along a recognized fault or within a particular seismotectonic province or source area under the current tectonic framework”* [la mayor magnitud de terremoto que podría ocurrir a lo largo de una falla conocida o dentro de una provincia sismotectónica particular o área fuente bajo el marco tectónico actual] (FEMA, 2005). Además, para las presas de potencial de alto peligro, *“the MDE [Maximum Design Earthquake] usually is equated with the controlling MCE [Maximum Credible Earthquake]”* [el TDM [Terremoto de diseño máximo] por lo general se equipara con el TMC de control].

Al igual que en las inundaciones de diseño, *“where the failure of the dam presents no hazard to life, a lesser earthquake may be justified, provided there are cost benefits and the risk of property damage is acceptable”* [donde la falla de la presa no representa un peligro para la vida, se puede justificar un terremoto menor, siempre que haya beneficios de costo y el riesgo de daños a la propiedad sea aceptable] (FEMA, 2005). El U.S. Army Corps of Engineers utiliza un lenguaje similar para afirmar que *“for critical features, the MDE is the same as the MCE”* [para características críticas, el TDM es el mismo que el TMC] y al igual que con la IMP, ha enfatizado *“There is no return period for the MCE”* [No hay ningún período de retorno para el TMC] (USACE, 2016).

Por otro lado, en el contexto de la discusión de los criterios para determinar el TMC en un lugar en particular, FEMA (2005) declara, *“For high-hazard potential dams, movement of faults within the range of 35,000 to 100,000 years BP is considered recent enough to warrant an 'active' or 'capable' classification”* [Para las presas de potencial de alto peligro, el movimiento de fallas dentro del rango de 35.000 a 100.000 años AP se considera



bastante reciente para justificar una clasificación “activa” o “capaz”). En otras palabras, el TMC puede ser tan raro como un terremoto de 100.000 años, con una probabilidad de excedencia anual correspondiente de 0,001%.

En términos de inundaciones de diseño, las directrices de seguridad para presas diseñadas por el U.S. Army Corps of Engineers son, en algunos casos, incluso más estrictas que las recomendadas por FEMA (2013). Para todas las presas diseñadas o mantenidas por el U.S. Army Corps of Engineers, “APF [Annual Probability of Failure]  $\geq 1$  in 10,000 (0.0001) Per Year. Annual probability of failure in this range is unacceptable except in extraordinary circumstances” [PFA [Probabilidad de falla anual]  $\geq 1$  en 10.000 (0,0001) por año. La probabilidad de falla anual en este rango es inaceptable, excepto en circunstancias extraordinarias] (USACE, 2014). El U.S. Army Corps of Engineers tiene cuatro categorías de estándares de seguridad de presas, similares a los tres potenciales de peligro de la Federal Emergency Management Agency.

La más estricta “Standard 1 applies to the design of dams capable of placing human life at risk or causing a catastrophe, should they fail” [Estándar 1 se aplica al diseño de presas capaces de poner en riesgo la vida humana o causar una catástrofe, en caso de que falle] (USACE, 1991). Para esta estándar, “structural designs will be such that the dam will safely pass an IDF [Inflow Design Flood] computed from probable maximum precipitation (PMP) occurring over the watershed above the dam site” [los diseños estructurales serán tales que la presa pasará de manera segura una IED [Inundación de entrada de diseño] calculada a partir de la precipitación máxima probable (PMP) que se produce sobre la cuenca hidrográfica sobre el sitio de la presa] (USACE, 1991).

Para la tercera más estricta presa de Estándar 3, “the base safety standard will be met when a dam failure related to hydraulic capacity will result in no measurable increase in population at risk and a negligible increase in property damages over that which would have occurred if the dam had not failed” [la norma de seguridad básica se cumplirá cuando una falla de la presa relacionada con la capacidad hidráulica resulte en un aumento no medible de la población en riesgo y un aumento insignificante en los daños a la propiedad por encima de lo que habría ocurrido si la presa no había fallado] (USACE, 1991). Para las presas de Estándar 3, “one-half of the PMF is the minimum acceptable IDF” [la mitad de la IMP es la IED mínima aceptable] (USACE, 1991). Las directrices de la Canadian Dam Association (2013) incluyen cinco clases de presas, clasificadas según las consecuencias de falla. El riesgo para cualquier población permanente coloca a una presa en las tres



categorías de mayor consecuencia, en las que las categorías de Alta consecuencia, Muy Alta consecuencia y Extrema consecuencia corresponden a muertes esperadas de diez o menos, 100 o menos, y más de 100, respectivamente. Cada una de las clases de presas también incluye criterios de daños a los valores ambientales y culturales y de daños a la infraestructura y a la economía, además de la pérdida de vidas. Las directrices consideran los criterios de diseño de inundaciones y terremotos basados tanto en un enfoque informado por riesgo como un enfoque tradicional, basado en estándares.

Según el enfoque informado por riesgo, la probabilidad de excedencia anual mínima de la inundación de diseño o el terremoto de diseño en la categoría de Muy Alta o Extrema consecuencia debe ser 1/10.000 (correspondiente a un período de retorno de 10.000 años). Según el enfoque tradicional, basado en estándares, para una presa en la categoría de Muy Alta consecuencia, la inundación de diseño debe ser 2/3 entre la inundación de 1.000 años y la IMP, mientras que el terremoto de diseño debe estar a medio camino entre el terremoto de 2.475 años y ya sea el terremoto de 10.000 años o el TMC. Para una presa en la categoría de Extrema consecuencia, la inundación de diseño debe ser la IMP, mientras que el terremoto de diseño debe ser el terremoto de 10.000 años o el TMC.

La actual legislación de seguridad de presas en España reconoce tres categorías de riesgo potencial (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 1996; Ministerio de Medio Ambiente, 1996). Categoría A “corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes” (Ministerio de Medio Ambiente, 1996).

Categoría B “corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas” (Ministerio de Medio Ambiente, 1996).

Categoría C “corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas” (Ministerio de Medio Ambiente, 1996). Ministerio de Medio Ambiente (1996) aclara además que un “núcleo urbano” requiere tan sólo 50 habitantes.

Sobre esa base, la Categoría A corresponde a potencial de alto peligro (Federal Emergency Management Agency), Estándar 1 (U.S. Army Corps of Engineers) y presas de Muy Altas o Extremas consecuencias (Canadian Dam Association).



La legislación actual sobre seguridad de presas en España protege menos a la población, la infraestructura económica y el medio ambiente que en la mayoría de los países desarrollados. La legislación española en el Boletín Oficial del Estado (1996) distingue entre la “avenida de proyecto”, la cual es la “máxima avenida que debe tenerse en cuenta para el dimensionado del aliviadero, los órganos de desagüe y las estructuras de disipación de energía, de forma que funcionen correctamente y la “avenida extrema”, la cual es “la mayor avenida que la presa puede soportar”.

Ministerio de Medio Ambiente (1996) luego declara, “En la actualidad, la avenida de proyecto es, en la mayor parte de los casos, la correspondiente a un período de retorno de 500 años”. La avenida de proyecto parece tener el mismo período de retorno (probabilidad de excedencia anual) independientemente de las consecuencias de la falla de la presa. Además, el Ministerio de Medio Ambiente (1996) no establece ningún período de retorno ni medios para calcular la magnitud de la “avenida extrema”.

Sin embargo, en el caso de las presas de estériles de planta, la avenida de proyecto y la avenida extrema no son conceptos realmente diferentes, ya que existen pocas circunstancias en las que una presa de estériles de planta podría sobrevivir a la falla del aliviadero. Aunque la legislación sobre seguridad de presas (Boletín Oficial del Estado, 1996; Ministerio de Medio Ambiente, 1996) no trata los terremotos de diseño, las normas de construcción (Ministerio de Fomento, 2009) clasifican las presas en las Categorías A y B como obras civiles de “importancia especial” que debe ser diseñada para soportar un terremoto correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

La nueva legislación propuesta sobre seguridad de presas pretende que España esté al día con el resto del mundo desarrollado ((Ministerio para la Transición Ecológica, 2018a-b). Esta legislación propone períodos de retorno de 5.000 años y 10.000 años para la “avenida extrema” para presas de tierra en las Categorías B y A, respectivamente (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018b). Para todas las presas en la Categoría A, el “seísmo extremo” sería el terremoto de 5.000 años en regiones de sismicidad baja y moderada ( $0.04g < ab < 0.20g$ ) y el terremoto de 10.000 años en áreas de alta sismicidad ( $ab \geq 0.20g$ ) (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018b), donde  $ab$  es la aceleración sísmica con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años y  $g$  es la aceleración por la gravedad.

La legislación anterior sería bastante similar a las directrices de la Canadian Dam Association (2013), especialmente utilizando su enfoque basado en el riesgo. De acuerdo





con el EIA de la mina de Touro la propuesta es: “Por último, destacar que, atendiendo a la sismicidad, en la zona de estudio se ha obtenido una aceleración sísmica de cálculo de 0,054g” (CRS Ingeniería, 2021a). Por lo tanto, el terremoto de diseño para las presas de estériles de planta sería el terremoto de 5.000 años, de acuerdo con la legislación propuesta si las presas pudieran colocarse en la Categoría A o B.

Al igual que las directrices de seguridad de presas de la Canadian Dam Association (2013, 2019), el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM) tiene cinco clases de presas de estériles de plantas, clasificadas según las consecuencias de la falla de la presa (Baja, Significativa, Alta, Muy Alta, Extrema).

Los criterios para las categorías de consecuencias Altas, consecuencias Muy Altas y consecuencias Extremas son la pérdida potencial de vidas de 1-10, 10-100 y más de 100, respectivamente (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Cada categoría incluye también criterios para pérdidas medioambientales, pérdidas de salud, de ámbito cultural y sociales, y pérdidas de infraestructura y la economía. Por ejemplo, en la categoría de consecuencias Extremas, los criterios medioambientales son: “Pérdida catastrófica de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Aguas de proceso altamente tóxicas. Muy alta posibilidad de drenaje ácido de roca o de efectos de lixiviación de metales de relaves liberados. Área potencial de impacto >20 km<sup>2</sup>. Imposible restauración o compensación en especie o se requiere de un largo período (>20 años)” (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Los criterios de salud, de ámbito cultural y sociales son: “>5000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, o por desintegración del tejido social durante años. Significativa destrucción de patrimonio o de instalaciones comunitarias o bienes culturales a nivel nacional. Posibilidad de efectos graves en la salud humana y/o a largo plazo” (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

Finalmente, en la categoría de consecuencias Extremas, los criterios para las pérdidas a la infraestructura y a la economía son: “Pérdidas económicas extremas que afectan la infraestructura o los servicios críticos (por ejemplo, hospitales, complejos industriales importantes, grandes depósitos de almacenamiento de sustancias peligrosas) o el empleo. Reubicación/compensación muy importante a las comunidades y costos de reajuste social muy altos. >USD 1B” (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

Uno de los principales propósitos del análisis de rotura de presa es la determinación de las consecuencias de la falla. De acuerdo con el EGGRIM, “[El análisis de rotura de presa] se



utiliza principalmente para informar la planificación de la preparación y respuesta ante emergencias, y la clasificación por consecuencias de la falla” (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

En el caso de las presas de estériles de planta de consecuencias Altas, Muy Altas y Extremas, las inundaciones de diseño y los terremotos de diseño son los eventos con períodos de retorno de 2475 años, 5000 años y 10.000 años, respectivamente. Después del cierre de la presa, todas las presas de estériles de planta deben poder sobrevivir a inundaciones y terremotos con un período de retorno de 10.000 años, independientemente de la clasificación de las consecuencias durante la operación activa. La Inundación Máxima Probable (IMP) también podría utilizarse como criterio de diseño siempre que supere la inundación de cada 10.000 años.

De acuerdo con el EGGRIM, “Los términos 'Precipitación Máxima Probable' (PMP) o 'Crecida Máxima Probable' (CMP) a veces se utilizan para designar eventos hidrológicos extremos. Los conceptos de PMP y CMP son aceptables para asignar cargas por crecidas, siempre que satisfagan o excedan los requisitos indicados precedentemente para las instalaciones con Clasificación por Consecuencia Extrema y/o instalaciones en etapa de Post cierre (o Cierre en condición de cuidado pasivo)” (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

## Métodos empíricos para el análisis de rotura de presa

Los métodos computacionales para el análisis de rotura de presa mediante software como HEC-RAS o FLO-2D están ahora bien establecidos en la industria minera. Estos métodos computacionales pueden producir predicciones muy detalladas, como profundidades de flujo, velocidades de flujo y tiempos de llegada de la inundación de estériles de planta. La desventaja de estos métodos computacionales es que requieren una gran cantidad de parámetros de entrada, incluyendo la topografía detallada, los detalles de la ruptura de la presa (como las dimensiones y la tasa de crecimiento de la ruptura), la rugosidad del lecho del río, y la reología (comportamiento del flujo) de los estériles de planta. Muchos de estos parámetros son poco conocidos, especialmente la reología, por lo que podrían estar sujetos a manipulación, que podría ser intencional o no.

El método estándar en ingeniería para generar confianza en modelos basados en una gran cantidad de parámetros, algunos de los cuales son poco conocidos, es validar y luego



calibrar el modelo. La validación del modelo se refiere a la comparación de las predicciones del modelo con las observaciones. Por ejemplo, una ciudad podría tener un modelo para su sistema de gestión de aguas pluviales. El modelo debería hacer predicciones sobre, por ejemplo, las velocidades de flujo o las profundidades de flujo en algún canal de aguas pluviales, durante un evento de precipitación particular que también se puede observar. Si las predicciones son completamente diferentes de lo que se observa durante ese evento de precipitación en particular, entonces es necesario reconsiderar por completo el modelo.

Sin embargo, lo más común es que las predicciones sean algo cercanas a las observaciones, pero no exactamente iguales. En ese caso, el modelo se calibra, es decir, se ajustan los parámetros menos conocidos hasta que las predicciones coinciden con las observaciones. En circunstancias ideales, este tipo de modelos computacionales se actualizan continuamente mediante calibración a medida que se dispone de más observaciones que se pueden comparar con las predicciones.

El problema de los modelos computacionales para el análisis de rotura de presas de estériles de planta es que nunca se calibran. Estos modelos sólo se podrían calibrar si ya se hubiera producido una falla menor en una presa de estériles de planta en particular y las observaciones de esa falla menor se estuvieran utilizando para calibrar un modelo para una falla mayor futura. El autor no conoce ningún modelo computacional que haya sido calibrado en las circunstancias anteriores.

Por lo tanto, en todos los casos, los modelos computacionales para fallas de presas de estériles de planta no están calibrados porque no hay observaciones (ni profundidades de flujo, ni velocidades de flujo, ni tiempos de llegada de inundaciones de estériles de planta) para comparar con las predicciones. En otras palabras, los análisis computacionales de rotura de presas de estériles de planta deberían tener un bajo nivel de confianza casi por definición.

Una alternativa a la dependencia de modelos computacionales con sus parámetros de entrada intensivos es el uso de modelos empíricos o estadísticos desarrollados a partir de fallas de presas de estériles de planta pasadas.

El modelo estadístico más reciente de fallas de presas de estériles de planta pasadas fue desarrollado por Larrauri y Lall (2018). El modelo estadístico predice la escorrentía inicial



de estériles de planta después de la falla de la presa. La escorrentía inicial es la distancia cubierta por los estériles de planta debido a la liberación de energía potencial gravitacional a medida que los estériles de planta caen del depósito de estériles de planta. Después del cese de la escorrentía inicial, los procesos fluviales normales podrían transportar los estériles de planta aguas abajo indefinidamente hasta que los estériles de planta lleguen a un lago importante o al océano.

Cuando la escorrentía inicial llega a un río importante, como sucedería en la falla de la presa de estériles de planta de la mina Touro (ver Fig. 2), puede ser difícil separar la escorrentía inicial de los procesos fluviales normales posteriores. Por ejemplo, la falla de la presa de estériles de planta en la mina Samarco en Minas Gerais, Brasil, derramó estériles de planta en el río Doce, por lo que la escorrentía inicial se extendió 637 kilómetros hasta el Océano Atlántico (Larrauri y Lall, 2018).

Según (Larrauri y Lall, 2018), el mejor predictor de la escorrentía inicial de estériles de planta liberados es el factor de presa  $H_f$ , definido como

$$H_f = H \left( \frac{V_F}{V_T} \right) V_F \quad (1)$$

donde  $H$  es la altura de la presa (metros),  $V_T$  es el volumen total de estériles de planta y agua encerrados (millones de metros cúbicos) y  $V_F$  es el volumen del derrame (millones de metros cúbicos). Las predicciones más probables para el volumen del derrame y la escorrentía inicial  $D_{max}$  (kilómetros) son entonces

$$V_F = 0.332 \times V_T^{0.95} \quad (2)$$

$$D_{max} = 3.04 \times H_f^{0.545} \quad (3)$$

Cabe señalar que las Ecs. (2)-(3) expresan las consecuencias más probables de la falla de la presa. En particular, la consecuencia más probable es que la falla de la presa resultará en la liberación de aproximadamente un tercio de los estériles de planta almacenados (ver Ec. (2)). Sin embargo, el peor escenario es que la falla de la presa resultará en la liberación del 100 % de los estériles de planta almacenados. Existen al menos cuatro ejemplos documentados de pérdidas totales de estériles de planta, incluyendo la falla de la Nueva Presa El Cobre en Chile en marzo de 1965 (350.000 metros cúbicos), y las fallas en la mina





de carbón Pittston en Buffalo Creek, Virginia Occidental (EE. UU.) en febrero de 1972 (500.000 metros cúbicos), la mina de uranio United Nuclear en Churchrock, Nuevo México (EE. UU.) en julio de 1979 (370.000 metros cúbicos), y la mina de aluminio Louyang Xiangjiang Wanji en China en agosto de 2016 (2 millones de metros cúbicos). Por lo tanto, la escorrentía del peor escenario ( $V_F = V_T$ ) debe calcularse utilizando la Ec. (3) con

$$H_f = HV_T \quad (4)$$

La desventaja del método empírico o estadístico es que sólo proporciona el volumen del derrame y la escorrentía, en lugar del detalle bidimensional de las profundidades del flujo, las velocidades del flujo y los tiempos de llegada de la inundación de estériles de planta que proporciona un modelo computacional. Por supuesto, otra desventaja es que el método estadístico sólo tiene en cuenta la altura de la presa y el volumen de almacenamiento y ninguna otra característica de la presa de estériles de planta, los estériles de planta o la topografía aguas abajo (aunque esas características pueden ser poco conocidas). El mejor enfoque suele ser una comparación de los resultados de un modelo estadístico y un modelo computacional.

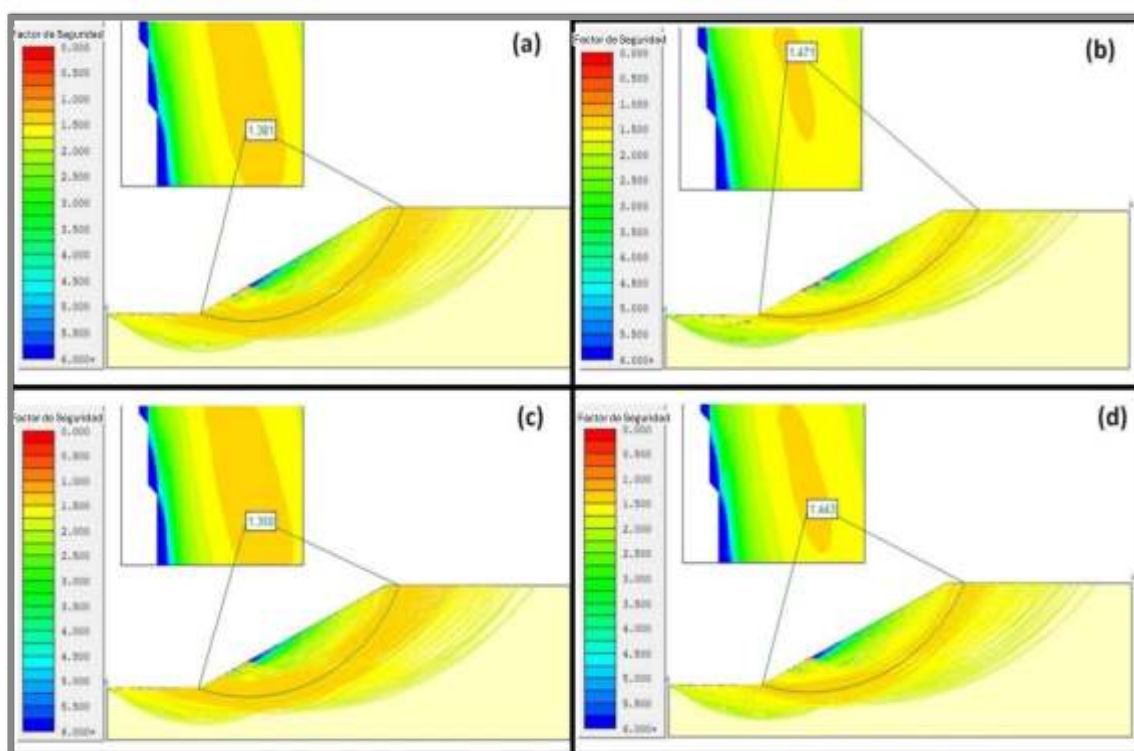
Si un modelo computacional hace predicciones que son muy diferentes de las de un modelo estadístico, el modelo computacional debe verse con gran sospecha. Otro medio para probar un modelo computacional es comparar las velocidades de flujo de estériles de planta previstas con las velocidades de flujo que se han medido en fallas de presas de estériles de planta anteriores. Si un modelo computacional hace predicciones que son aproximadamente consistentes con fallas de presas de estériles de planta anteriores, entonces es apropiado usar el modelo computacional para hacer predicciones que sean más detalladas que las que se pueden obtener a partir de modelos empíricos.

## Método de equilibrio límite y factor de seguridad

El método de equilibrio límite evalúa la estabilidad de una masa de roca o suelo evaluando la tendencia de un talud o estructura a fallar cuando un bloque rígido se desliza sobre otro (ver Fig. 11). El resultado del método de equilibrio límite es el factor de seguridad, lo cual es la relación entre la resistencia y la carga, o la relación entre la resistencia al corte y el esfuerzo cortante. Por lo tanto, un factor de seguridad igual a 1,0 indica un talud en el borde de la falla, mientras que factores de seguridad más altos indican pendientes con



estabilidad creciente. La limitación del método de equilibrio límite es que no todas las fallas implican el deslizamiento de un bloque rígido sobre otro. Por ejemplo, el método de equilibrio límite no evalúa la tendencia de un talud a fallar por deslizamiento lento que podría acelerarse hasta convertirse en un movimiento más rápido, por desprendimiento de rocas o por fallas controladas estructuralmente a lo largo de diaclasas o fallas preexistentes. En resumen, el método de equilibrio límite es un punto de partida útil, pero no debe ser la totalidad de un análisis de estabilidad de taludes.



**Figura 11.** El factor de seguridad es la relación entre la resistencia al corte y el esfuerzo cortante (relación entre la resistencia y la carga) en algún punto dentro de una pendiente, terraplén u otro tipo de estructura de tierra. El método de equilibrio límite utiliza el peso unitario, los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción), la presión de agua intersticial y la posición del nivel freático para calcular el factor de seguridad promediado a lo largo de cada superficie de falla posible. La superficie de falla con el factor de seguridad mínimo se denomina superficie de falla crítica.

El factor de seguridad de la superficie de falla crítica se considera el factor de seguridad de la estructura. Un factor de seguridad igual a 1,0 indica que una estructura está al borde de una falla o, más precisamente, que la probabilidad de falla es del 50%. Cabe señalar que el método de equilibrio límite no aborda todos los modos posibles de falla, como caída de rocas o fallas controladas estructuralmente (movimiento a lo largo de diaclasas, fallas u otros planos de debilidad preexistentes). Figura de Sengani y Allopi (2022) con superposición de etiquetas en español.



Los datos de entrada para el método de equilibrio límite son la topografía (geometría), los pesos unitarios (densidades), los parámetros de esfuerzo cortante (cohesión y ángulo de fricción) y las presiones de agua intersticial en todo el talud o estructura y su cimentación, así como la posición del nivel freático. Los significados precisos de cohesión y ángulo de fricción no son necesarios para este informe, excepto que una mayor cohesión y un mayor ángulo de fricción corresponden a una mayor resistencia al corte.

Los materiales que están saturados (por debajo del nivel freático) tienen una resistencia al corte menor y los materiales que están sobrepresurizados con agua tienen resistencias al corte aún menores. El método de equilibrio límite considera todas las superficies de falla posibles y calcula el factor de seguridad en cada punto a lo largo de una posible superficie de falla (ver Fig. 11). El factor de seguridad de una superficie de falla es el promedio de los factores de seguridad a lo largo de cada punto de una superficie.

La superficie de falla con el factor de seguridad más bajo se denomina superficie de falla crítica y el factor de seguridad de la superficie de falla crítica se considera el factor de seguridad del talud o la estructura (ver Fig. 11). Los factores de seguridad se pueden calcular tanto para la carga estática (lo que da como resultado un factor de seguridad estático) como para la carga en respuesta a un terremoto (lo que da como resultado un factor de seguridad pseudoestático).

La respuesta de una estructura a un terremoto se simula mediante un análisis pseudoestático en el que el terremoto se simula mediante una fuerza horizontal igual a la aceleración sísmica de diseño multiplicada por la masa de la estructura multiplicada por un coeficiente sísmico (que explica la reducción de la aceleración que se produce cuando las ondas sísmicas interactúan con materiales más blandos que el lecho de roca).

No se puede exagerar el hecho de que un factor de seguridad no es una medición que se realiza, sino el resultado de un modelo que depende de una amplia gama de mediciones, estimaciones y suposiciones. Puede haber una incertidumbre considerable en el factor de seguridad como resultado de la incertidumbre en las mediciones de los datos de entrada y el muestreo incompleto de estructuras para las cuales los parámetros geotécnicos pueden tener una variabilidad espacial considerable.

También existen múltiples métodos computacionales para llevar a cabo el método de equilibrio límite para un conjunto dado de datos de entrada, cada uno con sus ventajas y



desventajas, de modo que existe incertidumbre en cuanto a si se ha utilizado el método computacional correcto (Fell et al., 2015). Como consecuencia de la incertidumbre de los datos y del método de cálculo, no se puede suponer que el factor de seguridad calculado sea el mismo que el factor de seguridad real.

Un talud debe ser estable siempre que el factor de seguridad real sea mayor que 1,0, aunque debe tenerse en cuenta que el método de equilibrio límite y su factor de seguridad resultante evalúan solo una clase limitada de tipos de fallas de taludes. Sin embargo, debido a la incertidumbre en el factor de seguridad calculado, la práctica de ingeniería es requerir un factor de seguridad calculado significativamente mayor que 1,0 para garantizar que el factor de seguridad real (que podría ser menor que el factor de seguridad calculado) sea en realidad mayor que 1,0.

Existen numerosas publicaciones, documentos de orientación de la industria y regulaciones sobre el factor de seguridad mínimo adecuado. Estos factores de seguridad mínimos dependen de la aplicación y el contexto, pero un factor de seguridad mínimo de 1,5 es común para muchas aplicaciones geotécnicas (ANCOLD, 2012, 2019; Fell et al., 2015).

## **Drenaje ácido de mina y lixiviación de metales**

La generación de ácido ocurre cuando los minerales de sulfuro debajo de la superficie se excavan y se exponen al oxígeno y al agua en la superficie, de modo que la reacción con el oxígeno y el agua (llamada oxidación) convierte los sulfuros en ácido sulfúrico. La conversión de minerales de sulfuro en ácido sulfúrico se promueve triturando los minerales de sulfuro, lo que aumenta el área de superficie expuesta al oxígeno y al agua, y mediante la disposición permanente sobre el terreno, la que permite un tiempo prolongado durante el cual las reacciones generadoras de ácido pueden ocurrir.

La generación de ácido puede ser el resultado de la disposición sobre el terreno de cualesquier residuos mineros. Los residuos mineros pueden denominarse no generadores de ácido (NAG, por sus siglas en inglés) o potencialmente generadores de ácido (PAG, por sus siglas en inglés), según las concentraciones de minerales de sulfuro, especialmente en comparación con otros minerales, como los minerales de carbonato, que podrían



neutralizar la generación de ácido. La generación de ácido puede incluso resultar de la exposición de las paredes de minas a cielo abierto o de obras mineras subterráneas si la roca anfitriona tiene una concentración suficiente de minerales de sulfuro.

La reacción general de generación de ácido se puede escribir como una reacción química balanceada como



o en palabras como



La pirita (sulfuro de hierro) es el mineral de sulfuro más común, pero muchos otros elementos metálicos forman sulfuros, como la arsenopirita (sulfuro de hierro y arsénico o  $\text{AsFeS}$ ), la calcopirita (sulfuro de cobre o  $\text{CuFeS}_2$ ), la bornita (sulfuro de cobre y hierro o  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), la galena (sulfuro de plomo o  $\text{PbS}$ ) y la esfalerita (sulfuro de zinc o  $\text{ZnS}$ ). Basado en la reacción anterior, un subproducto de la generación de ácido es la movilización de metales pesados en forma disuelta. La oxidación de la pirita da como resultado la movilización del hierro disuelto. Sin embargo, la mayoría de los minerales de sulfuro incluyen una variedad de otros metales pesados que pueden sustituir al metal primario (como los sustitutos del hierro en el mineral pirita), de modo que la oxidación de la pirita puede resultar en la movilización de una amplia gama de otros metales pesados.

El drenaje ácido de mina (AMD, por sus siglas en inglés) se produce cuando los metales disueltos y el ácido sulfúrico se introducen en las aguas superficiales o subterráneas, lo que puede tener un impacto perjudicial en el suministro público de agua y la vida acuática. El drenaje ácido de mina en las corrientes se caracteriza típicamente por colores intensos en el rango de rojo, marrón y amarillo, los cuales resultan de la oxidación de metales disueltos para formar partículas de grano muy fino de óxidos metálicos u oxihidróxidos metálicos que son transportados con el flujo de la corriente. En algunas circunstancias, la lixiviación de metales (introducción de metales disueltos de subproductos de la minería en aguas superficiales o subterráneas) de minerales de sulfuro también puede ocurrir en ausencia de acidez o incluso en condiciones alcalinas. Así, las corrientes afectadas por la lixiviación de metales neutros (no ácidos) pueden tener los mismos colores que aquellos afectados por el drenaje ácido de mina. Por supuesto, la determinación del drenaje ácido de mina





requiere que las observaciones visuales del color estén respaldadas por mediciones de la acidez y las concentraciones de metales pesados. La literatura sobre el drenaje ácido de mina y sus impactos en la salud humana y el medio ambiente es amplia y buenos puntos de partida son Maest et al. (2005) y la Global Acid Rock Drainage Guide [Guía Global de Drenaje Ácido de Roca] (INAP, 2014).

El drenaje ácido de mina puede inducir una retroalimentación positiva en el sentido de que la carga aguas abajo de metales disueltos puede exceder en gran medida los metales disueltos que resultan de la oxidación de los minerales de sulfuro expuestos. Los sedimentos de las corrientes normalmente incluyen minerales arcillosos, cuyas superficies tienen sitios cargados negativamente que se unen a cationes (iones cargados positivamente). La mayoría de los metales disueltos son cationes, aunque hay algunas excepciones, como el arsénico (en realidad, un metaloide), el molibdeno y el uranio, que se encuentran en forma disuelta como oxianiones (iones poliatómicos con carga negativa que incluyen oxígeno).

Cuando el agua ácida interactúa con estos sedimentos de la corriente, los cationes de hidrógeno en el agua desplazan a otros cationes (como los cationes metálicos) de los sitios cargados negativamente en los sedimentos de la corriente, de modo que los metales ya no se fijan en el sedimento, sino que se movilizan en la columna de corriente como metales disueltos. Los lechos de las corrientes también pueden incluir estériles de planta de episodios anteriores de minería que tienen metales pesados adheridos a los sitios de superficie. Como se mencionó anteriormente, estos metales pesados pueden ser movilizados por la introducción de nuevo drenaje ácido de mina en las corrientes o por otros aumentos antropogénicos en la acidez de las corrientes. Por esta razón, los estériles de planta en los lechos de las corrientes a menudo se denominan “bomba de tiempo química”. Las pruebas para predecir el drenaje ácido de mina y la lixiviación de metales que podrían resultar de un cuerpo particular de residuos mineros expuestos se clasifican en las categorías generales de pruebas estáticas, pruebas de lixiviación a corto plazo y pruebas cinéticas (a largo plazo). Las pruebas estáticas se utilizan para detectar posibles contaminantes y clasificar los residuos mineros como potencialmente generadores de ácido (PAG) o no generadores de ácido (NAG). Las pruebas estáticas no tienen en cuenta las velocidades de reacción (ya sea de oxidación o neutralización) ni la disponibilidad de minerales para reacciones químicas. Una evaluación de la composición elemental de los residuos mineros es una prueba estática común para detectar la posibilidad de lixiviación de metales en términos de detección de posibles contaminantes que sean inusualmente



abundantes. Una prueba estática común para el drenaje ácido de mina es la contabilidad ácido-base, en la que el contenido de sulfuro (o azufre) del residuo de mina conduce al potencial de acidez (AP, por sus siglas en inglés).

De la misma forma, el contenido de carbonatos o el contenido que reaccionará con el ácido conduce al potencial de neutralización (NP, por sus siglas en inglés). Tanto AP como NP se expresan en unidades como kilogramos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) equivalente por tonelada de residuos mineros. El potencial de neutralización neto (NNP, por sus siglas en inglés) se calcula como  $\text{NP} - \text{AP}$ , mientras que la relación de potencial de neutralización (NPR, por sus siglas en inglés) es la relación  $\text{NP}/\text{AP}$ . No existen umbrales fijos para NNP o NPR para la separación de materiales PAG y NAG. Los umbrales recomendados para materiales PAG varían desde  $\text{NPR} < 1$  a  $\text{NPR} < 4$  (Maest et al., 2005).

En comparación con datos cinéticos sobre tasas de agotamiento de minerales neutralizantes, Schärer et al. (2000) concluyeron que los vertederos de estériles de mina heterogéneos con NPR de hasta 5,0 aún pueden generar drenaje ácido de mina a largo plazo. De acuerdo con USEPA (1994), *"If the difference between NP and AP is negative then the potential exists for the waste to form acid. If it is positive then there may be lower risk. Prediction of the acid potential when the NNP is between -20 and 20 [kg  $\text{CaCO}_3$  per metric ton] is more difficult"* [Si la diferencia entre NP y AP es negativa, entonces existe la posibilidad de que los desechos formen ácido. La predicción del potencial ácido cuando el NNP está entre -20 y 20 kg  $\text{CaCO}_3$  por tonelada es más difícil]. Otras pruebas estáticas que se utilizan a menudo junto con la contabilidad ácido-base son el contenido de azufre pirítico y el pH de los residuos mineros después de la oxidación (llamado NAG pH). Los umbrales comunes para evaluar los residuos mineros como PAG son un contenido de azufre pirítico mayor al 0,3 % en peso y un pH NAG menor a 4,5 (INAP, 2014). Se ha desarrollado una amplia gama de herramientas para la mitigación de drenaje ácido de mina que resulta de minería que involucra la excavación de minerales de sulfuro. Por ejemplo, las cubiertas de suelo o arcilla en las instalaciones de almacenamiento de estériles de planta pueden minimizar el contacto de los estériles de planta con el oxígeno y la lluvia, mientras que los canales de desvío de aguas pluviales alrededor de las instalaciones pueden minimizar el contacto con el agua superficial. La piedra caliza triturada se puede mezclar con los residuos mineros para neutralizar cualquier acidez que se genera. Se pueden colocar revestimientos impermeables debajo de las instalaciones de almacenamiento de estériles de planta para evitar la filtración a las aguas subterráneas. Los pozos se pueden colocar alrededor de las instalaciones de almacenamiento de



estériles de planta para la captura y el tratamiento de cualquier drenaje ácido de mina que haya escapado a las aguas subterráneas. De hecho, la mayoría de las herramientas anteriores se deben usar en cualquier sitio minero que lleve a cabo excavaciones de minerales de sulfuro y no se debe depender de una sola herramienta, como un revestimiento. A pesar de las herramientas disponibles, es importante señalar que no hay ejemplos de minas que hayan explotado depósitos de mineral de sulfuro sin drenaje ácido minero u otras formas de contaminación de aguas subterráneas o superficiales (Emerman, 2023b).

Como punto final, en su respuesta a la crítica del autor (Emerman, 2018) al plan de gestión de residuos mineros en el EIA anterior del proyecto de la mina de Touro denegado, Alejano (2019) adoptó el enfoque de que la minería en realidad previene el drenaje ácido de mina al eliminar minerales de sulfuro de debajo de la superficie. De acuerdo con Alejano (2019), “Finalmente, cabe destacar que la operación minera que se plantea, pretende extraer unos 100 Mt de mineral de cobre de la zona con leyes inferiores al 1 %, reduciendo de manera relevante la presencia de minerales sulfurosos en el terreno. Así pues, de producirse una bajada del nivel freático a largo plazo por causas ambientales, la situación sería peor en el caso de que no se explotara el yacimiento, ya que quedaría más material potencialmente generador de ácido en la zona.

En este sentido y ante una improbable situación de bajada relevante y continuada del nivel freático, la explotación contribuiría a mitigar el posible efecto de acidificación de las aguas, que se sabe ocurre naturalmente en algunas zonas del planeta”. El enfoque anterior, lo cual sugiere que la minería en realidad reduce el drenaje ácido de mina, es único en la literatura geológica y minera. Es suficiente señalar que la generación de drenaje ácido de mina se maximiza al triturar la roca, maximizando así la superficie para la reacción con el oxígeno y el agua, así como al exponer la roca triturada al oxígeno en la superficie o dentro de una mina a cielo abierto. Podría producirse cierta difusión de oxígeno hasta cierta profundidad por debajo de la superficie, dependiendo de la existencia de fracturas y porosidad en las rocas, pero seguramente será mucho más limitada que el oxígeno disponible en la superficie. Para ser justos con la empresa minera, cabe señalar que el argumento anterior no aparece en ninguna parte del último EIA. Finalmente, cabe señalar que la ley del mineral es de 0,41 % (CRS Ingeniería, 2023a) y que la ley de corte entre estériles de mina y mineral ha sido asignada en 0,2 % para el proyecto Touro (CRS Ingeniería, 2021c), ninguna de las cuales se acerca a la ley de 1 % que fue planteada por Alejano (2019).



## RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS MINEROS EN EL EIA

Los 164,3 millones de toneladas de estériles de mina que se producirían en el proyecto Touro se describen a veces en el EIA como y 110 millones de toneladas de estériles de mina PAG (potencialmente generadora de ácido) y 54 millones de toneladas de estériles de mina NAG (no generadora de ácido) (CRS Ingeniería, 2023b; Intacta Gestión Ambiental, 2023) y, otras veces como 56,6% PAG (93,0 millones de toneladas) y 43,4% NAG (71,3 millones de toneladas) (CRS Ingeniería, 2020b, 2021c).

No hay duda de que los estériles de mina PAG requieren un manejo cuidadoso para evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, el potencial de generación de ácidos y lixiviación de metales de los estériles de planta es aún más crítico, ya que una falla catastrófica de una instalación de almacenamiento de estériles de planta sobre el terreno podría transportar los estériles de planta decenas o cientos de kilómetros hacia vías fluviales aguas abajo. El paquete de informes que componen el EIA incluye análisis químicos de dos muestras de estériles de planta provenientes de estudios piloto de procesamiento del mineral que sería explotado en el proyecto Touro, uno de los cuales está contenido en el informe de Rivera (2019) que se incluye dentro del EIA como CRS Ingeniería (2019a), y el otro de los cuales se incluye como informe separado dentro del EIA (CRS Ingeniería, 2019b).

El primer análisis de estériles de planta en un informe de consultoría para la empresa minera realizado por Rivera (2019) proporciona pistas importantes sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta derramados al río Ulla. Rivera (2019) encontró que los estériles de planta tienen un potencial de neutralización neto (NNP) de -209,98 kilogramos de  $\text{CaCO}_3$  por tonelada de residuos y una relación de potencial de neutralización (NPR) de 0,03 (ver Fig. 12a), lo que coloca a los estériles de planta bien dentro de la zona de residuos mineros potencialmente generadores de ácido (PAG) según cualquier estándar. A modo de comparación, USEPA (1994) colocó cualquier residuo minero con un NNP menor a -20 kilogramos de  $\text{CaCO}_3$  por tonelada de residuos en la categoría PAG y los umbrales mínimos para los residuos PAG varían de  $\text{NPR} < 1$  a  $\text{NPR} < 5$  (Scharer et al., 2000; Maest et al., 2005). De manera similar, los estériles de planta superaron en casi cuatro veces el Nivel Genérico de Referencia (NGR) del cobre en Galicia (ver Fig. 12b).



La presencia de una concentración tan alta de cobre en los estériles de planta a partir de un mineral de cobre puede no ser sorprendente, pero sigue siendo inquietante considerando la gran cantidad de residuos que generará el proyecto Touro, la extracción ineficiente de concentrado de cobre a partir del mineral y la cantidad significativa de cobre que quedará retenida en los estériles de planta. De hecho, la concentración de cobre dentro de los estériles de planta (0,078%) será ligeramente menor que una quinta parte de la concentración promedio de cobre del mineral (0,41%). Rivera (2019) concluyó que los estériles de planta “tienen un contenido en sulfuro superior al 1 %, por lo que no cumplirían el requisito de contenido en sulfuro para ser considerados inertes” y que “la concentración de metales no cumpliría con los niveles genéricos de referencia establecidos para el Cu”.

Por lo tanto, se debe esperar la introducción de drenaje ácido de mina y lixiviación de cobre en cualquier cuerpo de agua que sea impactado por los estériles de planta derramados. Rivera (2019) concluyó además que “el ensayo de ecotoxicidad concluye que la muestra no es ecotóxica”. Sin embargo, la prueba de ecotoxicidad discutida por Rivera (2019) no consideró la posibilidad de movilización de metales pesados actualmente adsorbidos en sedimentos en lechos de corrientes, como se analiza en la subsección “Drenaje Ácido de Mina y Lixiviación de Metales”.

Además de lo anterior, Rivera (2019) también escribió, “En conclusión, el fluido que acompañará al estéril del proceso de planta, en caso de rotura del depósito de estériles, se verterá por el medio pero con un impacto químico nulo dado que la caracterización de

Tabla 4. Determinación del potencial de neutralización					
Cód. muestra	Descripción	AP (Kg CO <sub>3</sub> /Tn)	NP (Kg CO <sub>3</sub> /Tn)	NNP (Kg CO <sub>3</sub> /Tn)	NPR
MN-18/000015	APT20171218	216,85	6,87	- 209,98	0,03
Potencial de Acidez (AP) / Potencial de Neutralización (NP)					
Potencial de Neutralización Neto (NNP) = NP-AP / Ratio de Potencial de Neutralización (NPR) = NP/AP					

**Figura 12a.** Algunas pistas sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta vertidos al río Ulla están contenidas en un informe de consultoría para la empresa minera realizado por Rivera (2019). Rivera (2019) encontró que los estériles de planta tienen un potencial de neutralización neto (NNP) de -209,98 kilogramos de CaCO<sub>3</sub> por tonelada de desechos y una relación de potencial de neutralización (NPR) de 0,03, lo que coloca a los estériles de planta bien en la zona de desechos mineros potencialmente generadores de ácido (PAG), según cualquier estándar. Figura de Rivera (2019).





dicho lixiviado no es agua ácida ni tiene alto contenido en metales disueltos". Así, el resumen de Rivera (2019) parece contradecir las citas antes mencionadas, así como los datos de las tablas (ver Figs. 8a-b). Sin embargo, el texto real escrito por el propio Ricardo Juncosa Rivera consta de sólo dos páginas más una portada, una página para el índice y dos páginas de tablas y notas a pie de página.

Tabla 6. Valoración del contenido metálico total en la muestra APT20171218		
Parámetro	MN-18/000015	NGR Galicia
	APT20171218 (mg/Kg)	
Antimonio	14,79	100
Arsénico	10,30	50
Bario	18,65	1000
Berilio	< 5,00	25
Cadmio	< 5,00	20
Cobalto	101,67	150
<b>Cobre</b>	<b>782,74</b>	<b>200</b>
Cromo	117,74	300
Hierro	89492,26	
Manganeso	395,08	2000
Mercurio	< 10,0	20
Molibdeno	< 10,0	100
Níquel	107,16	200
Plata	< 5,00	20
Plomo	27,32	500
Selenio	< 10,0	100
Talio	< 5,00	20
Vanadio	87,44	1000
Zinc	796,09	1000

*Figura 12b. Algunas pistas sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta derramados al río Ulla están contenidas en un informe de consultoría para la empresa minera realizado por Rivera (2019). Rivera (2019) encontró que los estériles de planta superaban el Nivel Genérico de Referencia (NGR) del cobre en Galicia por un factor de casi cuatro. Figura de Rivera (2019).*



El resto del informe de 32 páginas de Rivera (2019) se titula “Anejo I: Informe de Caracterización de Colas de Flotación del Proyecto Touro según el RD 777/2012” escrito por AGQ Mining & Bioenergy [Minería y Bioenergía] para Atalaya Mining y con fecha 29 de enero de 2018. Las tablas (ver Figs. 12a-b) y las citas anteriores que argumentan a favor de la naturaleza tóxica del agua en el depósito de estériles de planta se encuentran en el anexo escrito por AGQ Mining & Bioenergy, no en las dos páginas del texto escrito por Ricardo Juncosa Rivera. En resumen, Ricardo Juncosa Rivera no da ninguna indicación de por qué no está de acuerdo con los datos y las conclusiones del informe que incluyó como anexo en su propio informe. El segundo análisis de estériles de planta, en un informe que forma parte del paquete de informes del EIA (CRS Ingeniería, 2019b), corrobora aún más los hallazgos del primer análisis de estériles de planta (CRS Ingeniería, 2019a; Rivera, 2019). Para una sola muestra de estériles de planta, CRS Ingeniería (2019b) encontró un contenido de azufre pirítico de 4,53% (ver Fig. 12c), potencial de neutralización neta (NNP) de -128,67 kilogramos de CaCO<sub>3</sub> por tonelada de estériles de planta, relación de potencial de neutralización (NPR) de 0,033 (ver Fig. 12d), y concentración de cobre (0,07%) superior a 3,5 veces el Nivel de Referencia Genérico (ver Fig. 12e).

Por lo tanto, los estériles de planta del proyecto Touro deben considerarse potencialmente generadores de ácido (PAG) y lixiviación de metales según cualquier estándar. A modo de comparación, un contenido de azufre pirítico superior al 0,3% es un valor umbral típico para los residuos mineros PAG. En resumen, cualquier vertido de estériles de planta en el sistema fluvial Ulla-Deza o en la ría de Arousa (ver Fig. 2) puede tener impactos ecológicos muy significativos.

Cód. muestra	Descripción	% S total	% SO <sub>4</sub>	% S sulfuro
MN-19/002298	EP TOURO (SÓLIDO)	4,53	0,81	4,26
MN-19/002299	MUESTRA NAG	< 0,1	< 0,3	< 0,1
MN-19/002300	MUESTRA PAG	2,71	0,45	2,56
MN-19/002301	MUESTRA NAG/PAG	1,23	0,55	1,05

**Figura 12c.** Algunas pistas sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta vertidos al río Ulla están contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). De acuerdo con la tabla arriba, los estériles de planta tienen un contenido de azufre pirítico de 4,53% y un contenido de azufre de sulfuro pirítico de 4,26%, lo que los ubica en la zona de desechos mineros potencialmente generadores de ácido (PAG) según cualquier estándar. Tabla de CRS Ingeniería (2019b).

# Evaluación del Plan de Gestión de Residuos Mineros y el Análisis de Rotura de Presa de la Mina de Cobre Touro de Cobre San Rafael

Parte de la evidencia de que el agua será ácida y tóxica en el depósito de estériles de planta de la mina Touro propuesta es que la naturaleza ácida y tóxica del vertido en curso de la minería histórica del depósito de mineral de Touro es bien conocida. Según Explotaciones Gallegas, S.L. (2018), “Los resultados obtenidos constata que estos dos ríos, que fueron fuertemente afectados por los vertidos ácidos de la mina de Touro en la década de los 90, presentan un desequilibrio en la comunidad bentónica (de forma mucho más aguda en el río Brandelos), en la que están ausentes muchos de los invertebrados esperados en un tramo de características similares si no hubiese alteración”.

Tabla 3. Determinación de S pirítico. Resultados.				
Cód. muestra	Descripción	% S total	% SO <sub>4</sub>	% S sulfuro
MN-19/002298	EP TOURO (SÓLIDO)	4,53	0,81	4,26
MN-19/002299	MUESTRA NAG	< 0,1	< 0,3	< 0,1
MN-19/002300	MUESTRA PAG	2,71	0,45	2,56
MN-19/002301	MUESTRA NAG/PAG	1,23	0,55	1,05

Figura 12c. Algunas pistas sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta vertidos al río Ulla están contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). De acuerdo con la tabla arriba, los estériles de planta tienen un contenido de azufre pirítico de 4,53% y un contenido de azufre de sulfuro pirítico de 4,26%, lo que los ubica en la zona de desechos mineros potencialmente generadores de ácido (PAG) según cualquier estándar. Tabla de CRS Ingeniería (2019b).

Tabla 4. Determinación del potencial de neutralización					
Cód. muestra	Descripción	PA (Kg CO <sub>3</sub> /Tn)	PN (Kg CO <sub>3</sub> /Tn)	NNP (Kg CO <sub>3</sub> /Tn)	NPR
MN-19/002298	EP TOURO (SÓLIDO)	133,11	4,44	-128,67	0,033
MN-19/002299	MUESTRA NAG	< 3,13	2,26	-0,87	0,722
MN-19/002300	MUESTRA PAG	79,99	< 0,25	-79,74	0,003
MN-19/002301	MUESTRA NAG/PAG	32,82	18,14	-14,68	0,553

Potencial de Acidez (AP) / Potencial de Neutralización (NP)  
 Potencial de Neutralización Neto (NNP) = NP-AP / Ratio de Potencial de Neutralización (NPR) = NP/AP

Figura 12d. Algunas pistas sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta vertidos al río Ulla están contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). De acuerdo con la tabla arriba, los estériles de planta tienen un potencial de neutralización neta (NNP) de -128,67 kilogramos de CaCO<sub>3</sub> por tonelada de desecho y una relación de potencial de neutralización (NPR) de 0,033, lo que los ubica en la zona de desechos mineros potencialmente generadores de ácido (PAG) según cualquier estándar. Tabla de CRS Ingeniería (2019b).



Así, Explotaciones Gallegas, S.L. (2018) también llamaron la atención sobre la naturaleza ecotóxica del vertido ácido de la mina Touro. Explotaciones Gallegas, S.L. (2018) continuó con respecto a los ríos aguas abajo de la mina Touro, “Tal como se ha citado con anterioridad, cabe adscribir las aguas residuales objeto de caracterización como 'aguas de escorrentía circulantes a través de las superficies por la anterior actividad minera', generándose este vertido afectadas independientemente de la presencia de actividad en la zona.

El carácter contaminante de estas aguas se asocia a una carga variable metales pesados, además de una alteración del pH, fruto del lavado de los minerales que quedan accesibles tras los procesos de extracción de los metales, junto con la presencia de diversos procesos oxidativos, presentes en dichas condiciones”.

De los 101,53 millones de toneladas de estériles de planta, 34 millones de toneladas se almacenarían de forma permanente en una instalación sobre el terreno denominada “Depósito de Estériles de Planta 1” (DEP1).

Tabla 5. Valoración del contenido metálico					
Parámetro	MN-19/002298	MN-19/002299	MN-19/002300	MN-19/002301	NGR Galicia
	EP TOURO (SÓLIDO)(mg/Kg)	MUESTRA NAG(mg/Kg)	MUESTRA PAG(mg/Kg)	MUESTRA NAG/PAG(mg/Kg)	
Arsénico	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	50
Cadmio	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	20
Cobalto	97,77	16,32	20,31	23,96	150
Cobre	<b>702,22</b>	51,41	100,89	96,82	200
Cromo	73,54	60,06	30,81	26,91	300
Mercurio	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	20
Molibdeno	< 10,0	< 10,0	11,00	< 10,0	100
Níquel	105,70	44,70	88,42	58,46	200
Plomo	8,60	7,66	11,95	< 5,00	500
Vanadio	66,25	86,20	53,90	22,31	1000
Zinc	837,08	< 100,0	124,71	< 100,0	1000

*Figura 12e. Algunas pistas sobre las posibles consecuencias ambientales de la llegada de estériles de planta vertidos al río Ulla están contenidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). De acuerdo con la tabla arriba, los estériles de planta superaban en un factor de más de 3,5 el Nivel Genérico de Referencia (NGR) para el cobre en Galicia. Tabla de CRS Ingeniería (2019b).*



Se construiría una presa en estériles de mina NAG para confinar los estériles de planta. La presa se construiría utilizando el método aguas abajo (ver Figs. 8b y 13a-b) con una inclinación de terraplén exterior de 1V: 2H (1 metro vertical por 2 metros horizontal) o 26,6° con respecto a la horizontal (ver Figs. 13a-b), y con una altura final de 81 metros y una longitud de 3.148 metros (CRS Ingeniería, 2023a). La presa y toda la instalación de almacenamiento de estériles de planta se diseñarían para resistir la inundación con un período de retorno de 500 años (probabilidad anual de excedencia igual al 0,2%) y el terremoto con un período de retorno de 500 años.

Con respecto a la inundación de diseño, el EIA indicó, “Las balsas de decantación tendrán una capacidad suficiente para poder sedimentar los gruesos y finos arrastrados por el caudal de aportación de diseño para un período de retorno de 500 años. Todos los elementos que integran el sistema de drenaje están diseñados para un caudal correspondiente a un período de retorno de 500 años ... La celda de almacenamiento de sobrenadante tiene una capacidad 500.000 m<sup>3</sup>, con un resguardo más que suficiente para albergar la avenida de lluvia para T=500 años” (CRS Ingeniería, 2020a). Con respecto al terremoto de diseño, el EIA indicó, “La Figura 3.6.1.a muestra el mapa de peligrosidad sísmica de España para un periodo de retorno de 475 años elaborado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) y revisado en octubre de 2015.

Este mapa permite obtener, en función de su posición geográfica, los valores de la aceleración sísmica básica y del coeficiente de contribución K” (CRS Ingeniería, 2020a). IGME (2022) explicó además, “La aceleración sísmica se ha calculado de acuerdo con el procedimiento detallado en la publicación 'Actualización de Mapas de Peligrosidad Sísmica de España 2012' (IGNUPM, 2013) y partiendo de los valores de aceleración en roca para periodo de retorno 475 años dados allí para el término municipal de Touro. Se hace constar aquí que la diferencia entre periodo de retorno 500 y 475 años es, a efectos de cálculo, despreciable”.

El EIA afirma que no existe riesgo de falla de la presa de estériles de planta. De acuerdo con el EIA, “Con la elección del método de construcción de mayor seguridad, aguas abajo, se incrementa el factor de seguridad, con la ejecución de medidas adicionales, como la Celda de Almacenamiento de Sobrenadante (CAS), que elimina el agua sobrenadante en el depósito, y el refuerzo de roca en los diques, además de modernos métodos de control en continuo y autoprotección, **se elimina el riesgo de rotura del depósito**” (énfasis en el original) (CRS Ingeniería, 2023b).





El EIA continúa afirmando que nunca ha habido una falla o incluso un accidente en una presa de estériles de planta construida utilizando el método aguas abajo. De acuerdo con el EIA, “Las principales ventajas e inconvenientes del método elegido de aguas abajo son las siguientes: ... **No hay registro de accidentes catalogados con este método de construcción elegido: Aguas abajo, con dique y espaldón contruidos con pedraplén de estéril de mina**” (CRS Ingeniería, 2023a) ... “Alternativa 3.2: método aguas abajo o descendente ... Así mismo, no hay registro de accidentes catalogados que combinen este método de construcción con el material seleccionado, empleando pedraplén de estéril de mina en su construcción (frente al uso de arenas ciclonadas) y, además, con la construcción de un espaldón de refuerzo secuencial” (Novotec, 2024c) ... “Como ya se ha descrito, el dique se construirá mediante el método aguas abajo. Las principales ventajas de este método son las siguientes: Este método tiene la ventaja de ofrecer una mayor estabilidad, en particular si la represa está sujeta a carga dinámica (es decir, ubicada en áreas de actividad sísmica, aunque no es el caso). **No hay registro de accidentes catalogados con este método de construcción elegido**” (CRS Ingeniería, 2020a, 2021a) (énfasis en el original).

La veracidad de las afirmaciones precedentes se examinará en la sección “Respuestas”. No está del todo claro si el EIA afirma que no ha habido fallas en las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo, o fallas en las presas de estériles de planta construidas a partir de estériles de mina utilizando el método aguas abajo, o fallas en las presas de estériles de planta construidas utilizando cada una de las características de diseño de la presa de estériles de planta planificada. Por supuesto, si se considera el diseño en cada uno de sus detalles, el diseño será inédito y no habrá antecedentes de fallas. Debe quedar claro que un diseño inédito no puede ser garantía de seguridad.

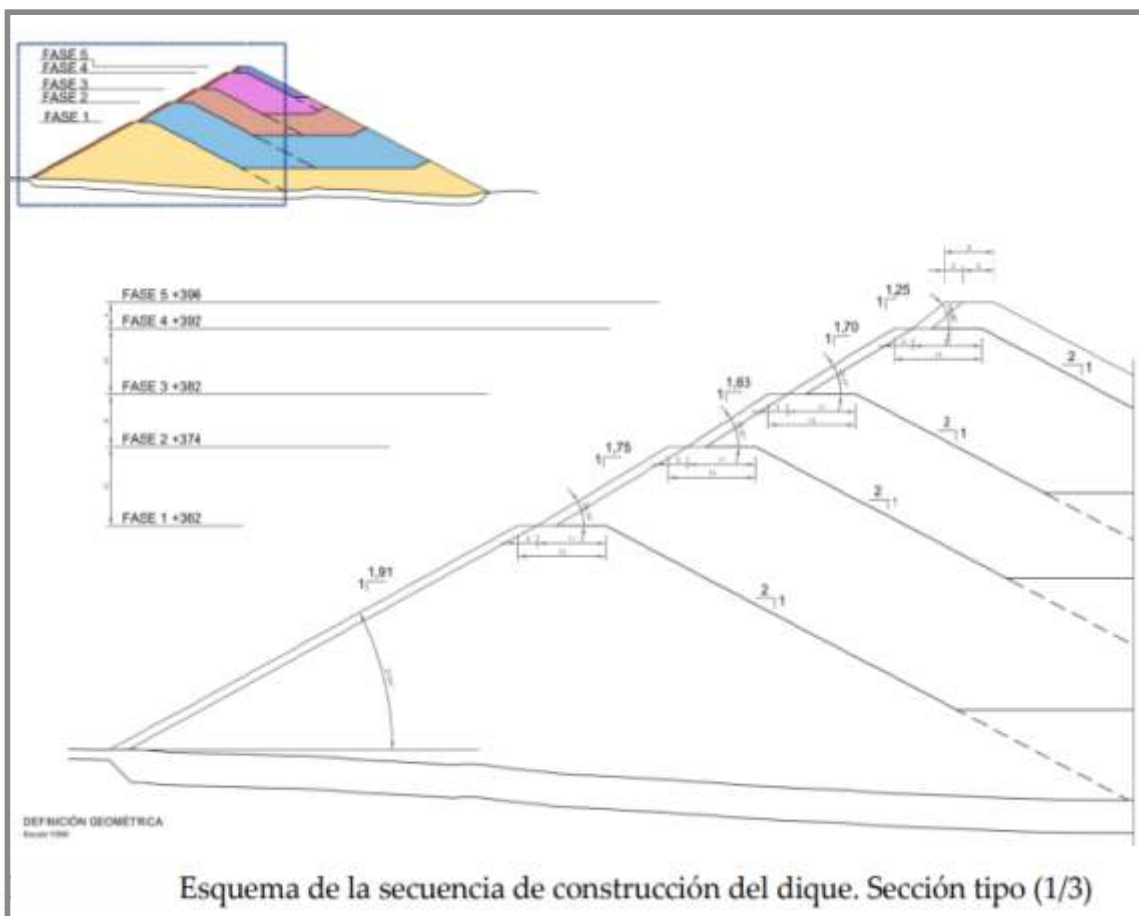
El EIA se refiere a las presas de estériles de planta de la mina Riotinto de Atalaya Mining en Andalucía, España (ver Figs. 6 y 7a-b), como otro ejemplo de presa de estériles de planta con riesgo cero. De acuerdo con el EIA, “La elección del método de construcción de mayor seguridad, aguas abajo, alcanza el riesgo cero con la ejecución de medidas adicionales, como la Celda de Almacenamiento de Sobrenadante (CAS), la construcción de un espaldón de refuerzo, el refuerzo de roca en los diques, como se aprecia en la fotografía adjunta (ejemplo mina de Riotinto, Huelva)” (CRS Ingeniería, 2023a).

La comparación no sorprende si se tiene en cuenta que Atalaya Mining es una de las empresas matrices de Cobre San Rafael.

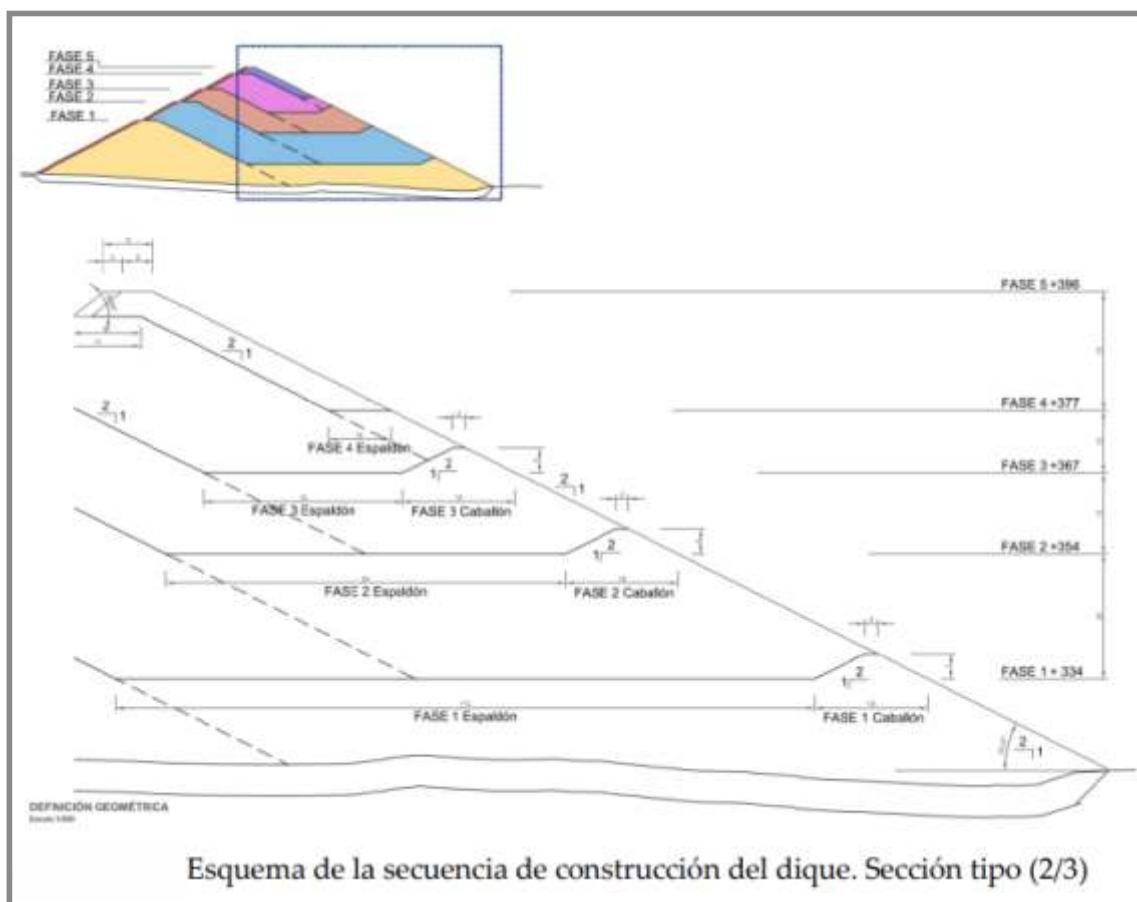


Sin embargo, lo irónico es que el autor ha llamado la atención en repetidas ocasiones sobre la alta probabilidad de falla de las presas de estériles de planta en la mina Riotinto. De acuerdo con Emerman (2019), “El mejor juicio de este autor es que la probabilidad de la falla de las presas debido a la licuefacción es del 15% en un año dado. Este valor numérico es más o menos equivalente a una ronda anual colectiva de ruleta rusa (con un revólver con seis cámaras y una bala) por parte de los trabajadores mineros y los residentes aguas abajo de la mina Riotinto”.

De acuerdo con Emerman (2024), “El objetivo de este informe es reevaluar el riesgo que representan las presas de estériles de planta de la mina Riotinto, lo cual incluye tanto las consecuencias de la falla como la probabilidad de la falla, a la luz del recrecimiento planificado.



**Figura 13a.** La inclinación del terraplén exterior de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 sería de 1V:2H (26,6°), la cual es mucho más empinada que los estándares internacionales. Ver la parte aguas abajo de la presa en Fig. 13b. Figura de IGME (2022).



**Figura 13b.** La inclinación del terraplén exterior de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 sería de 1V:2H (26,6°), la cual es mucho más empinada que los estándares internacionales. Ver la parte aguas arriba de la presa en Fig. 13a. Figura de IGME (2022).

Sin embargo, no se intentará ajustar la probabilidad anual de falla previamente evaluada del 15 % (Emerman, 2019) simplemente porque el valor ya es tan alto ... Por lo tanto, en términos de cualquier respuesta por parte del público o del gobierno, no tiene importancia si la probabilidad sigue siendo del 15% o si ha aumentado al 20%". En cualquier caso, las presas de estériles de planta de la mina Riotinto no se construyeron utilizando el método aguas abajo, sino el mucho más peligroso método aguas arriba (ver Figs. 8a-b). De acuerdo con el EIA, "El Método Aguas Arriba ... también es el menos resistente frente a oscilaciones sísmicas puesto que el dique de sedimentos gruesos va tomando altura sobre arcillas y sílices saturados de agua, lo que podría resultar peligroso para la estabilidad de la estructura al producirse licuefacción" (Novotec, 2024c).

Una parte de los estériles de mina PAG se almacenaría de forma permanente en una escombrera independiente con una altura de 160 metros (CRS Ingeniería, 2023c). Al igual



que en el caso de la presa de estériles de planta de DEP1, el EIA descuenta tanto la probabilidad como las consecuencias de un colapso de la escombrera PAG. De acuerdo con el EIA, “Por todo lo expuesto, se considera que la probabilidad de deslizamiento de la escombrera PAG es muy poco probable y sus consecuencias serían significativas” (Novotec, 2021). El EIA explica con más detalle, “El material con el que se construirá la escombrera tendrá una granulometría heterogénea, aunque en general se compondrá de bloques de roca de hasta casi 1,5 m de diámetro.

Esto implica que, por la naturaleza del material una vez puesto en obra, no se producirá saturación del cuerpo de la escombrera que pudiera desencadenar una inestabilidad y la distancia de Run-Out no alcanzaría distancias superiores a 80 m - 90 m” (CRS Ingeniería, 2023c). La estimación anterior de la distancia de escorrentía no estaba respaldada por ningún cálculo ni referencia al historial de fallas de las escombreras.

Los 67 millones de toneladas de estériles de planta que no se almacenarían en la instalación sobre la superficie DEP1 se rellenarían en dos cortas agotadas adyacentes (llamadas Arinteiro y Vieiro) como una instalación de almacenamiento de estériles de planta dentro de la corta llamada Depósito de Estériles de Planta 2 (DEP2). Se volverían a rellenar con estériles de mina NAG y PAG adicionales las dos cortas adyacentes, de modo que los residuos mineros se elevarían por encima de la superficie y las dos cortas se combinarían en una sola.

Las cortas combinadas estarían rodeadas por un muro de estériles de mina NAG con una altura de 55 metros y una longitud de 2.806 metros. Los estériles de mina PAG restante se colocaría como un domo sobre las combinadas cortas rellenas. Se construirían tres escombreras temporales de estériles de mina NAG, todas ellas completamente desmanteladas al final del proyecto mediante el traslado de los estériles de mina NAG a la presa que confina DEP1, a las cortas Arinteiro-Vieiro o al muro que rodea las cortas Arinteiro-Vieiro (CRS Ingeniería, 2023a).

Parte de la dificultad de seguir el EIA es que las masas totales de estériles de mina que se destinan a cada ubicación no se encuentran o son difíciles de encontrar. Sin embargo, el EIA incluye una sección (CRS Ingeniería, 2023a) que enumera las masas de estériles de mina NAG y PAG que se depositarían en cada ubicación durante cada una de las ocho fases del proyecto (ver Tabla 2). La compilación que figura en Tabla 2 de este informe también muestra las transferencias de estériles de mina que se producirían durante cada fase. Por



ejemplo, en la Fase 4, se transferirían 1,8 millones de toneladas de estériles de mina PAG desde la escombrera PAG a una corta (ver Tabla 2). En la Fase Final, se retirarían 7,56 millones de toneladas de estériles de mina PAG de la escombrera PAG para construir un domo sobre las cortas rellenas Arinteiro-Vieiro (ver Tabla 2).

**Tabla 2. Flujos de masa para estériles de mina<sup>1</sup>**

Fase	Años	Estériles de Mina NAG (Mt)			Estériles de Mina PAG (Mt)		
		Presa (DEP1)	Muro (DEP2)	Relleno	Escombrera	Relleno	Domo
1	1-3	23			51		
2	4	5,5			7,3		
3	5	2,6				4,3	
4	6-8		0,3	4,85	-1,8	17,8	
5	9-10		1	4,5		6,9	
6	11-12		2,2			14,9	
7	13		2,6			9,76	
Final	14-15			9	-7,56		7,56
Total		31,1	6,1	18,35	48,94	53,66	7,56
				Total NAG = 55,55 Mt		Total PAG = 110,16 Mt	

<sup>1</sup>Data de CRS Ingeniería (2023a)

La suma de los flujos de masa muestra que la presa de estériles de planta se construiría con 31,1 millones de toneladas de estériles de mina NAG, mientras que el muro que rodea las cortas se construiría con 6,1 millones de toneladas de estériles de mina NAG (ver Tabla 2).

La suma de los flujos de masas genera algunas inconsistencias con otra información del EIA. En particular, la suma de los flujos de masas lleva a la conclusión de que el proyecto generaría 55,55 millones de toneladas de estériles de mina NAG y 110,16 millones de toneladas de estériles de mina PAG (ver Tabla 2).

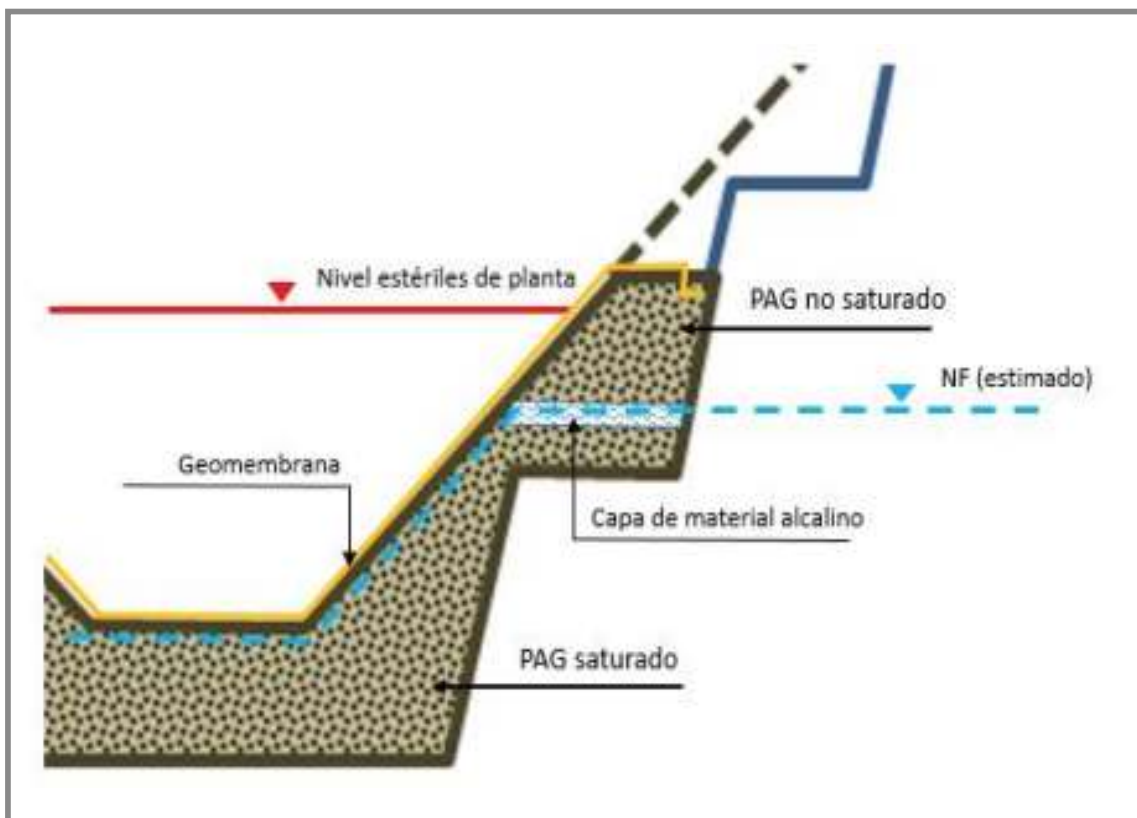
A modo de comparación, el EIA a veces indica las masas de estériles de mina como 110 millones de toneladas de estériles de mina PAG y 54 millones de toneladas de estériles de mina NAG (CRS Ingeniería, 2023b; Intacta Gestión Ambiental, 2023) y, otras veces, como 56,6% PAG (93,0 millones de toneladas) y 43,4% NAG (71,3 millones de toneladas) (CRS Ingeniería, 2020b, 2021c). El EIA sí establece una capacidad máxima de 57 millones de toneladas para la escombrera PAG (CRS Ingeniería, 2021d), la cual es ligeramente mayor que la masa de 53,66 millones de toneladas que se obtiene al sumar los flujos de masas (ver Tabla 2).





El plan de gestión de residuos mineros en la mina Touro incluye tres métodos para prevenir el drenaje ácido de mina. El primer método es el uso de geomembranas (revestimientos plásticos impermeables) para evitar la reacción del material PAG con el oxígeno (ver Fig. 14a). El segundo método es la colocación de material alcalino (como caliza triturada) al nivel freático dentro de las cortas rellenadas con el fin de neutralizar la generación de acidez (ver Fig. 14a).

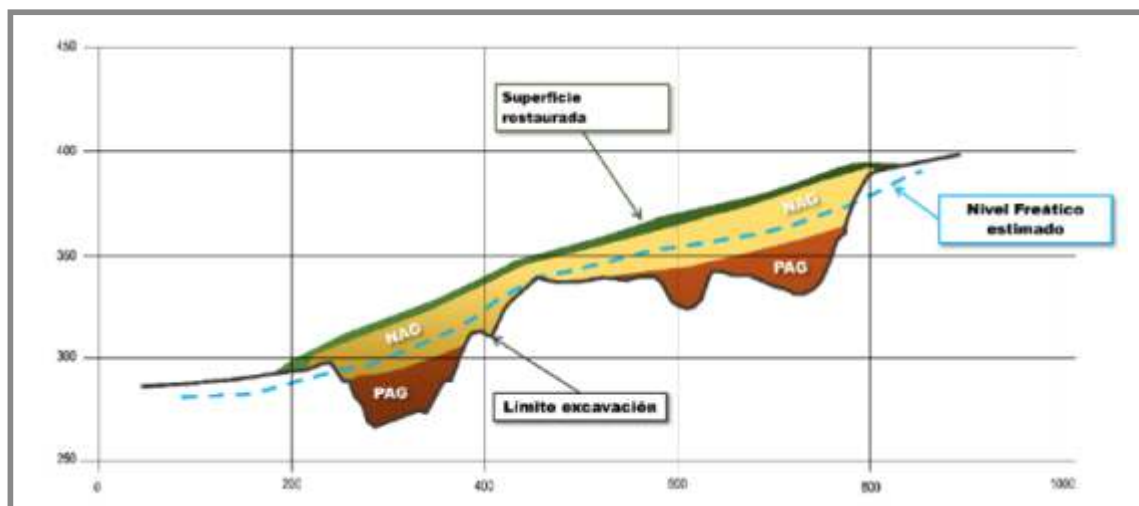
El tercer método consiste en colocar el material PAG por debajo del nivel freático para evitar el contacto con el oxígeno conjunto con la colocación del material NAG por encima del nivel freático (ver Fig. 14b-c). En la sección “Respuestas” del EIA se proporcionará más información sobre el plan de gestión de residuos mineros.



**Figura 14a.** El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) propone una variedad de opciones para prevenir la generación de drenaje ácido de mina a partir de los estériles de mina PAG. Un método implicaría la colocación de material alcalino al nivel del nivel freático para reaccionar con los estériles de mina PAG y amortiguar la acidez. Sin embargo, el EIA no incluye ningún cálculo de la cantidad de material alcalino necesaria ni ningún plan sobre qué hacer una vez que, con el transcurso del tiempo (años, décadas, siglos), se agote el material alcalino. Figura de CRS Ingeniería (2023a).



*Figura 14b. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) propone una variedad de opciones para prevenir la generación de drenaje ácido de mina a partir de los estériles de mina PAG. Un método implicaría la colocación de los estériles de mina PAG debajo del nivel freático actual en una corta agotada. Sin embargo, el EIA no incluye ningún plan sobre qué hacer si el nivel freático cae, lo que ciertamente es posible ya que la expectativa es que los estériles de mina PAG se almacenen de forma permanente en la corta agotada. Figura de CRS Ingeniería (2023a).*



*Figura 14c. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) propone una variedad de opciones para prevenir la generación de drenaje ácido de mina a partir de los estériles de mina PAG. Un método implicaría la colocación de los estériles de mina PAG debajo del nivel freático actual a lo largo de la ladera de una corta agotada con una cubierta de estériles de mina NAG por encima del nivel freático. Sin embargo, el EIA no incluye ningún plan sobre qué hacer si el nivel freático cae, lo que ciertamente es posible ya que la expectativa es que los estériles de mina PAG se almacenen de forma permanente en la corta agotada. Figura de CRS Ingeniería (2023a).*



## RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ROTURA DE LA PRESA

---

La pregunta fundamental que se planteó WSP Golder (2023) fue si los estériles de planta derramados podrían llegar al sistema fluvial Ulla-Deza de la Red Natura 2000, a una distancia directa de 4,75 kilómetros desde la presa de estériles de planta propuesta y a una distancia de 13 kilómetros medidos a lo largo de los probables cauces fluviales que seguirán los estériles de planta derramados (ver Figs. 2 y 5). WSP Golder (2023) consideró los dos modos de falla de erosión interna y desbordamiento y calculó la distancia de escorrentía, el área máxima de inundación, el volumen de estériles de planta liberados y el máximo caudal de salida a través de la brecha de la presa en los escenarios tanto en “día soleado” como en “día lluvioso”.

De acuerdo con WSP Golder (2023), “Los resultados de la simulación en una condición normal (sunny day) y más severa por lluvias (rainy day), se presentan en la siguiente tabla” (ver Fig. 15). Nada en WSP Golder (2023) aclaró el significado de “día soleado” o “día lluvioso” ni especificó la precipitación que debería corresponder a un “día lluvioso”. El evento de precipitación apropiado para un análisis de rotura de presa se discutirá en la sección “Respuestas” de este informe.

En el escenario más extremo (“día lluvioso”), WSP Golder (2023) predijo que, tras la falla de la presa, el volumen de estériles de planta liberados sería de 8.401.438 metros cúbicos, el máximo caudal de salida de los estériles de planta sería de 9.236 metros cúbicos por segundo, la distancia de escorrentía de los estériles de planta sería de 2,788 kilómetros y la inundación de estériles de planta cubriría 943.488 metros cuadrados (ver Fig. 15).

WSP Golder (2023) concluyó que “... la ola de estériles mineros liberada por la ruptura seguiría el cauce natural y necesitaría recorrer más de 13 km, para llegar a alcanzar a la superficie o entorno protegido de la Red Natura 2000 (ZEC). Las simulaciones avanzadas de la hipotética inundación indican que la ola de estériles quedaría acotada a un cuarto de esa distancia, es decir, en el peor de los escenarios considerados, distanciada a unos 10 km de la ZEC”. En cuanto al caudal máximo previsto de estériles de planta (9.236 metros cúbicos por segundo), a modo de comparación, el caudal medio anual del río Douro, el río más grande de la Península Ibérica, es de sólo 700 metros cúbicos por segundo.



característica del flujo	Unidad	Sunny day	Rainy day
Área máxima de afectación	m <sup>2</sup>	825.470	943.488
Distancia recorrida	m	2.357	2.788
Volumen de flujo liberado	m <sup>3</sup>	7.516.524	8.401.438
Máximo caudal de salida en la brecha	m <sup>3</sup> /s	8.898	9.236

*Figura 15. WSP Golder (2023) informó los resultados de un análisis de rotura de presa en el que se indicó que la distancia de escorrentía (distancia recorrida) de los estériles de planta después de la falla de la presa sería de sólo 2,357 km en el escenario de “Sunny day” [Día soleado] y 2,788 km en el escenario de “Rainy day” [Día lluvioso]. WSP Golder (2023) no explicó cómo se llevó a cabo el cálculo ni los supuestos detrás del cálculo. Tabla de WSP Golder (2023).*

WSP Golder (2023) no estableció explícitamente una velocidad de los estériles de planta, pero la velocidad se puede calcular a partir del tiempo requerido para que los estériles de planta lleguen al pueblo de As Goritas en el extremo más lejano (occidental) del área de inundación (ver Fig. 16). De acuerdo con WSP Golder (2023), “A partir de las 2 h, el flujo llegaría a las afueras de la población de A Goleta, situada a 1,5 km, donde afectaría en general el área inmediata a la parroquia y cementerio local.

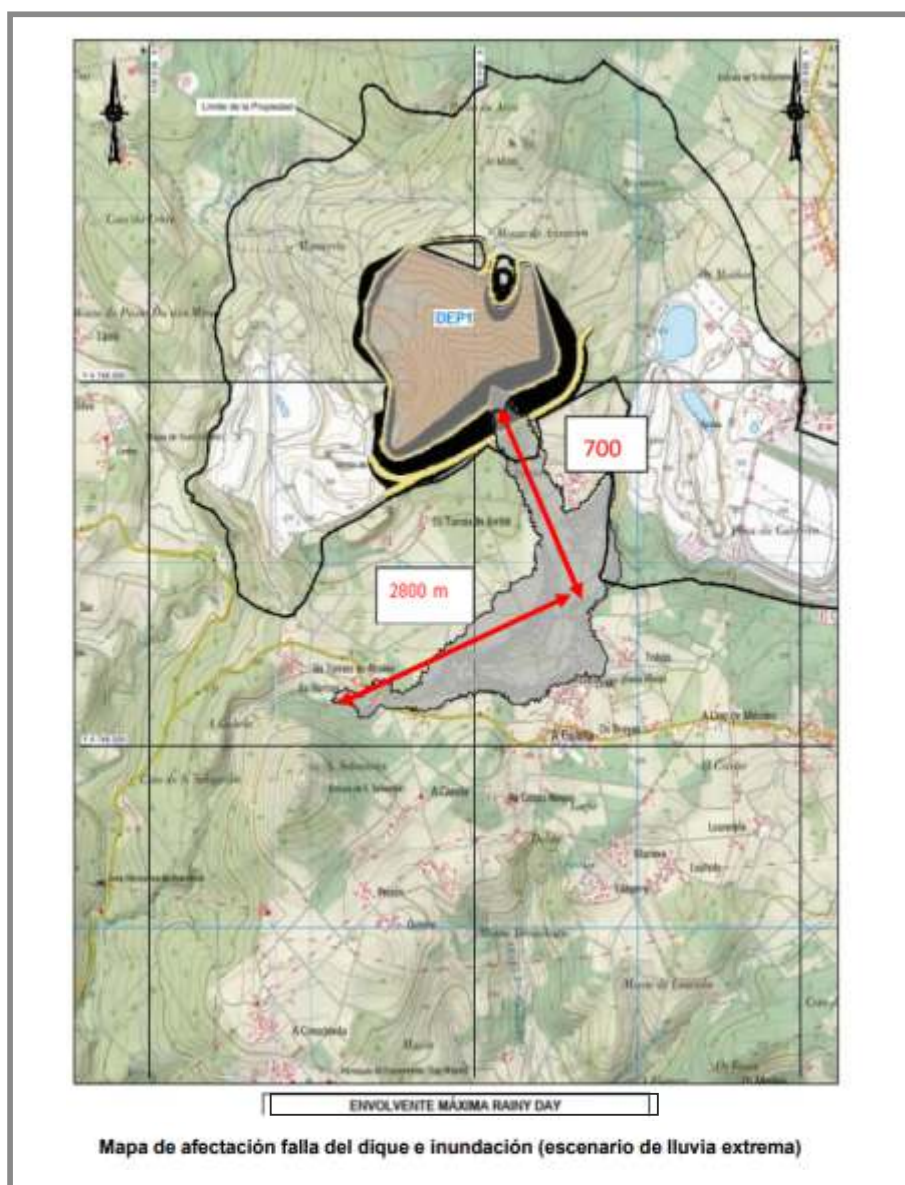
Desde las 2 h hasta las 8 h calculadas el flujo afectaría a zonas adicionales de cultivos y puntos de carreteras locales y finalmente llegaría a la población de As Goritas”. Con base en una distancia de escorrentía de 2,788 kilómetros (ver Fig. 15) y un tiempo total de viaje de ocho horas, la velocidad promedio del flujo sería de 0,3485 kilómetros por hora.

El mapa de inundaciones es bastante difícil de entender porque muestra dimensiones de 700 metros en dirección noroeste-sureste y 2800 metros en dirección noreste-suroeste, aunque ambas flechas de doble cara parecen tener la misma longitud (ver Fig. 16). Por lo tanto, el mapa está mal etiquetado, se han realizado mediciones incorrectas del mapa o las escalas del mapa están distorsionadas.

La situación es aún más confusa porque la suma de 700 metros y 2800 metros es 3500 metros y WSP Golder (2023) establece dos veces la distancia de escorrentía como 3500 metros, en oposición a la tabla de WSP Golder (2023) que establece 2788 metros como la distancia de escorrentía (ver Fig. 15). De acuerdo con WSP Golder (2023), “Un hipotético escenario de rotura se produciría potencialmente por 'Overtopping' o desborde del agua



sobrenadante, que si bien es un mecanismo de rotura que se considera posible, implicaría un episodio de acumulación de agua muy extraordinario para originar el transbordo y erosión del dique, o una acumulación significativa de agua acoplada con un sismo también muy extraordinario que pudiera llegar a romper el borde del dique, con una distancia acotada de aproximadamente 3,5 km desde el pie del dique ...



**Figura 16.** Según WSP Golder (2023), la inundación de estériles de planta después de la falla de la presa de estériles de planta afectaría un área con dimensiones de aproximadamente 700 m por 2800 m. La figura reproducida arriba es difícil de entender porque las flechas de doble cara etiquetadas como 700 m y 2800 m tienen casi la misma longitud. Figura de WSP Golder (2023).





Ese análisis muestra que por un lado la hipotética rotura se limita a condiciones muy particulares y que es un escenario poco probable, y que la potencial ola de estériles se acotaría significativamente lejos de la ZEC, recorriendo potencialmente no más que un cuarto de los 13 km que serían necesarios para alcanzar ese espacio natural protegido. Esto queda sustentado por la simulación realizada entre los trabajos base de este Informe Pericial; simulación que evalúa que, en el escenario más desfavorable, la ola de estériles quedaría acotada a menos de 3.5 km de DET [Depósito de Estériles Temporal]". Si la distancia de escorrentía fuera de 3,5 kilómetros después de ocho horas, entonces la velocidad promedio del flujo aumentaría a 0,4375 kilómetros por hora.

El informe de WSP Golder (2023) proporciona muy poca información sobre cómo se llevaron a cabo los cálculos, las suposiciones detrás de los cálculos o incluso qué software se utilizó para realizar los cálculos. Aunque ocho de las 30 páginas de WSP Golder (2023) están dedicadas a revisar las cualificaciones profesionales de los autores y de la empresa, el informe es sólo un resumen de otro documento no disponible y no presenta ningún análisis original por parte de los autores, por lo que las cualificaciones profesionales de los autores parecerían ser irrelevantes. De acuerdo con WSP Golder (2023), "Exponemos a continuación los principales resultados del 'ESTUDIO DE ROTURA DEL DEPÓSITO DE ESTÉRILES DE PLANTA DE LA MINA DE TOURO', realizado por WSP Golder".

El estudio mencionado anteriormente no parece estar disponible públicamente y no figura en una sección de referencias en WSP Golder (2023), que, de hecho, no incluye ninguna referencia. Es posible que el informe no disponible mencionado anteriormente sea el mismo que el informe no disponible de Golder (2021) que se menciona en el EIA (CRS Ingeniería, 2021b), pero esto no está claro, especialmente porque el nombre del informe indicado por WSP Golder (2023) es similar, pero no exactamente igual, al nombre del informe mencionado como "Golder (2021)" en el EIA.

Además de la falta general de información, el informe de WSP Golder (2023) se ve empañado por numerosos ejemplos de información contradictoria, algunos de los cuales ya han sido mencionados. En este informe no se intentó documentar toda la información contradictoria contenida en WSP Golder (2023). Finalmente, el informe de la empresa consultora está escrito en una mezcla de inglés y español (ver Fig. 15 como uno de muchos ejemplos), lo que inhibe su lectura por parte de las agencias responsables y el público en general. El informe de consultoría de Pérez (2023) llegó a conclusiones similares a las de WSP Golder (2023) al resumir un informe diferente no disponible. Según Pérez (2023), "En



el proyecto se incluye un estudio de modelización de transporte conservativo “Modelo hidrodinámico y de transporte conservativo de los ríos del entorno de la mina de Touro” (mayo 2018), en el que se evalúa el alcance de distintos elementos y compuestos contaminantes en el supuesto caso de que hubiese un vertido accidental. En dicho estudio se consideraron los peores escenarios, es decir, las peores condiciones en las que se pudiera producir un hipotético vertido accidental.

Estas corresponden a las concentraciones más altas de los compuestos para distintos escenarios hidrológicos (años secos, medios y húmedos) que corresponden con distintas situaciones hidrodinámicas (caudales) de los ríos de la cuenca. Dicha modelización hidrológica establece que la llegada de compuestos contaminantes al río Ulla sería muy restringida y que la mezcla con el caudal del río provocaría un impacto imperceptible para el medio (Epígrafe 9: conclusiones)”. Pérez (2023) sí incluye referencias, pero el estudio mencionado anteriormente no está incluido entre las referencias.

WSP Golder (2023) también enfatizó la baja probabilidad de falla de la presa de estériles de planta propuesta, basada en el uso del método de construcción aguas abajo, aunque la probabilidad de falla y las consecuencias de falla son conceptos completamente diferentes. De acuerdo con WSP Golder (2023), “El método seleccionado por CSR para el diseño del DET es el conocido como Downstream o aguas abajo, donde la construcción y operación de la balsa de lodos siempre está resguardada por un muro de contención o dique de sección y materiales aplicados de forma controlada, generando las mejores condiciones de seguridad para la instalación”.

Pérez (2023) también escribió, “Tal y como expone la memoria del proyecto, éste fue diseñado contemplando las Mejores Técnica Disponibles (MTD), recogidas por la Normativa Minera Europea (documentos BREF) y, especialmente, en el diseño del Depósito Temporal de Estériles Temporal, con un dique 'aguas abajo', la técnica más costosa pero a la vez más Segura”.

La actualización del EIA anterior (Proyecto Touro, 2019) fue aún más insistente al afirmar que la probabilidad de falla es cero. De acuerdo con el Proyecto Touro (2019), “Se deja constancia del compromiso de CSR por incorporar al proyecto las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y por la Minería Sostenible, destacando al respecto: Diseño del dique del depósito temporal de estériles (DET) con el método 'Downstream' (aguas abajo), correspondiente al más seguro, pero también de mayor coste económico. Las



instalaciones se diseñan, construyen y operan de manera que la probabilidad de falla sea NULA, debe completarse con una correcta implementación del diseño, una construcción de calidad y las buenas prácticas de gestión” (énfasis en el original).

WSP Golder (2023) analizó en gran medida sólo las características hidráulicas de la falla de una presa (ver Fig. 15) y no las consecuencias ambientales y socioeconómicas reales. Cuando WSP Golder (2023) sí analizó la posible pérdida de vidas humanas, resultó inquietante la forma en que esas vidas se descartaron por ser demasiado pocas como para ser motivo de gran preocupación.

Según WSP Golder (2023), “En cuanto a la afección en la zona de influencia del DET, afectaría en primer lugar a los cultivos circundantes y a la carretera local AC-240 a los 10 min ocurrida la rotura, e inmediatamente después llegaría a una serie de casas aisladas de la población de Arinteiro, situada a 0,7 km del DET, pero que no afectaría a su núcleo urbano.

Durante los siguientes 120 minutos, afectaría a más áreas de cultivos y carreteras locales y a una casa aislada perteneciente a la localidad de Tribas”. En este sentido, cabe señalar la proximidad de la presa de estériles de planta propuesta al núcleo de población de Arinteiro (ver Figs. 3-4).



## PREGUNTAS

---

Con base en las secciones anteriores, el objetivo de este informe se puede subdividir en las siguientes preguntas:

- 1) ¿Existe una separación suficiente entre la presa de estériles de planta y los núcleos de población que se encuentran aguas abajo?
- 2) ¿El análisis de rotura de presa tuvo en cuenta adecuadamente todos los modos de falla creíbles?
- 3) ¿El análisis de rotura de presa estimó correctamente la distancia de escorrentía de los estériles de planta después de una falla de la presa de estériles de planta?
- 4) ¿El análisis de rotura de presa estimó correctamente la velocidad del flujo de estériles de planta después de una falla de la presa de estériles de planta?
- 5) ¿Se ha realizado una clasificación correcta de las consecuencias de falla de la presa de estériles de planta?
- 6) ¿Son las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo inherentemente seguras?
- 7) ¿Los criterios de diseño sísmicos y de inundaciones para la presa de estériles de planta cumplen con los estándares internacionales?
- 8) ¿Son las inclinaciones del terraplén exterior de la presa de estériles de planta suficientemente suaves?
- 9) ¿Se conocen con suficiente exactitud los factores de seguridad de la presa de estériles de planta?
- 10) ¿Cumplen los factores de seguridad de la presa de estériles de planta con los estándares internacionales?
- 11) ¿Existe un plan viable para separar los estériles de mina PAG y NAG?
- 12) ¿Existe un plan de contingencia para construir la presa de estériles de planta si no hay suficientes estériles de mina NAG?
- 13) ¿Existe un plan de cierre adecuado para el depósito de estériles de planta DEP1?
- 14) ¿Existe un plan adecuado para el almacenamiento permanente de los estériles de mina PAG?



## RESPUESTAS

### La presa de estériles de planta estaría demasiado cerca de zonas pobladas

El borde aguas debajo de la presa de estériles de planta de DEP1 estaría a sólo 197 metros del núcleo de población de Os Torreis de Arriba y a 252 metros del núcleo de población de Arinteiro (ver Fig. 4). Fig. 17a muestra la vista del sitio propuesto para la presa (línea de árboles al fondo) tal como se ve desde el núcleo de población de Arinteiro, mientras que Fig. 17b muestra la vista del núcleo de población de Arinteiro tal como se ve desde el sitio propuesto para la presa.

Según un informe de consultoría para la empresa minera que fue una respuesta a las críticas de Emerman (2018), “La distancia mínima entre la vivienda habitada más cercana y el DET será de 270 metros (Figura 14) [ver Fig. 18a en este informe].



*Figura 17a. La línea de árboles en el fondo marca el borde cuesta abajo de la presa de estériles de planta para la mina propuesta Touro. La presa de estériles de planta se ubicaría a 252 metros aguas arriba del pueblo de Arinteiro (ver Fig. 4), en el que existen unas 20 viviendas. Foto tomada desde Arinteiro por el autor el 25 de junio de 2019.*





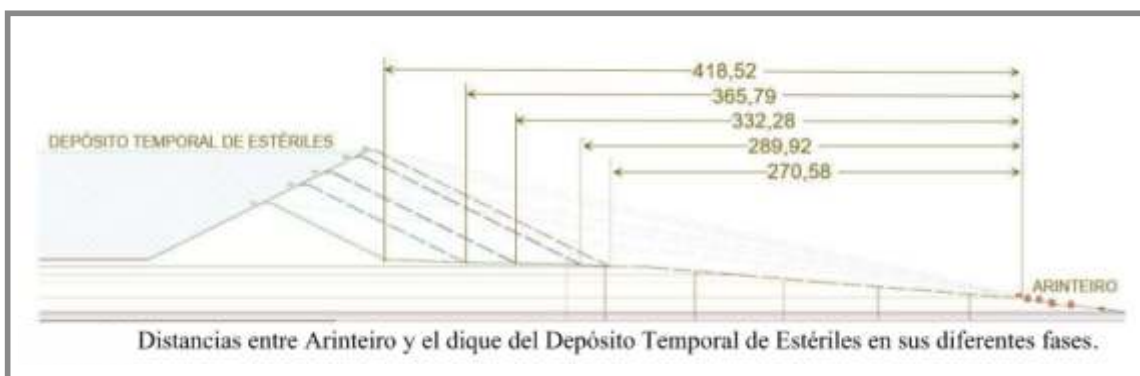
En todo caso, la distancia NO es un dato relevante puesto que no existe ninguna normativa que regule la distancia a la que pueda colocarse un depósito de estériles” (énfasis en el original) (Alejano, 2019). La distancia a Arinteiro medida por Alejano (2019) es apenas mayor que la distancia medida en este informe (comparar Fig. 18a con Fig. 4).

Por el contrario, sin cambios en la posición del borde aguas abajo de la presa propuesta, el nuevo EIA (Novotec, 2024b) establece una distancia de 442 metros hasta el núcleo de población de Arinteiro (ver Fig. 18b).

El nuevo EIA no aclara cómo se midió la distancia, pero debería quedar claro que la distancia relevante es la distancia entre el borde aguas abajo de la presa y la casa más cercana.



**Figura 17b.** La presa de estériles de planta para la mina propuesta Touro se ubicaría a 252 metros aguas arriba del pueblo de Arinteiro (ver Fig. 4), en el que existen unas 20 viviendas. La foto fue tomada desde la ubicación del borde cuesta abajo de la presa de estériles de planta propuesta. El pueblo de Arinteiro es visible en mitad de la foto, al pie de la ladera debajo de los campos de maíz. Foto tomada por el autor el 25 de junio de 2019.



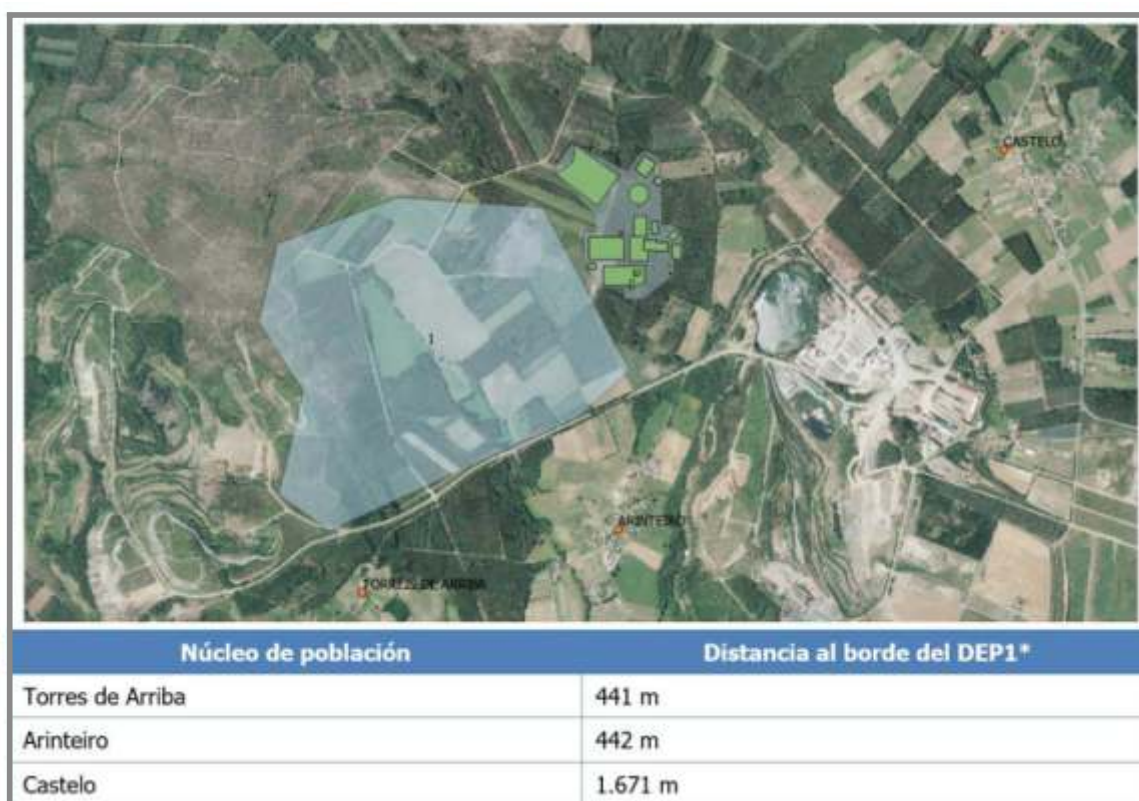
**Figura 18a.** Un informe de consultoría de 2019 para la empresa minera indicó que la distancia desde el borde aguas abajo de la presa hasta Arinteiro era de 270 metros, la cual es solo un poco mayor que la distancia de 252 metros que se midió en este informe (ver Fig. 4). Por el contrario, con la posición del borde aguas abajo de la presa sin cambios, el último Estudio de Impacto Ambiental (EIA) establece la distancia en 442 metros (ver Fig. 18b). Figura de Alejano (2019).

El nuevo EIA también indica una distancia de 441 metros entre el borde aguas abajo de la presa y Os Torreis de Arriba (llamado Torres de Arriba en el EIA), la cual es mucho mayor que la distancia de 197 metros que se midió en este informe (comparar Figs. 18b y 4).

No se puede exagerar la brecha entre la falta de regulación en España, como señala el consultor de la empresa minera (Alejano, 2019), y las regulaciones sobre separaciones mínimas entre presas de estériles de planta y núcleos de población en otras jurisdicciones. Por ejemplo, la legislación brasileña introduce el concepto de “zona de auto-rescate” (que debería ser una expresión escalofriante) y especifica la zona de auto-rescate como una extensión de al menos 10 kilómetros aguas abajo de la presa de estériles de planta, la cual podría aumentarse dependiendo de los resultados del análisis de rotura de presa, con disposiciones adicionales para aumentar la distancia mínima a 25 kilómetros.

De acuerdo con la Assembleia Legislativa de Minas Gerais [Asamblea Legislativa de Minas Gerais] (2019), “§ 1 – Para os fins do disposto nesta lei, considera-se zona de autossalvamento a porção do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para uma intervenção da autoridade competente em situação de emergência. § 2º – Para a delimitação da extensão da zona de autossalvamento, será considerada a maior entre as duas seguintes distâncias a partir da barragem: I – 10km (dez quilômetros) ao longo do curso do vale; II – a porção do vale passível de ser atingida pela onda de inundação num prazo de trinta minutos. § 3º – A critério do órgão ou da entidade competente do Sisema, a distância a que se refere o inciso I do § 2º poderá ser majorada para até 25km

(vinte e cinco quilômetros), observados a densidade e a localização das áreas habitadas e os dados sobre os patrimônios natural e cultural da região” [§ 1 – Para los propósitos de esta ley, una zona de auto-rescate significará la porción del valle aguas abajo de la presa donde no hay tiempo suficiente para la intervención de la autoridad competente en una situación de emergencia. § 2º – Para la delimitación de la extensión de la zona de auto-rescate, se considerará la mayor distancia entre las siguientes dos distancias desde la presa: I - 10 km (diez kilómetros) a lo largo del curso del valle; II - la porción del valle que probablemente sea golpeada por la ola de inundación en treinta minutos. § 3 – A criterio del órgano o entidad competente del Sisema, la distancia a que se refiere el inciso I del § 2 podrá aumentarse hasta 25 kilómetros (veinticinco kilómetros), sujeto a la densidad y ubicación de las zonas habitadas y a los datos sobre el patrimonio natural y cultural de la región].



**Figura 18b.** Un informe de consultoría de 2019 para la empresa minera indicó que la distancia desde el borde aguas abajo de la presa hasta Arinteiro era de 270 metros (ver Fig. 18a), la cual es solo un poco mayor que la distancia de 252 metros que se midió en este informe (ver Fig. 4). Por el contrario, con la posición del borde aguas abajo de la presa sin cambios, el último Estudio de Impacto Ambiental (EIA) establece la distancia en 442 metros. El último EIA también indica la distancia a Os Torres de Arriba en 441 metros, aunque este informe midió la distancia en 197 metros (ver Fig. 4). Figura de Novotec (2024b).



El acto legislativo brasileño estipuló entonces que nadie debería tener que vivir en una zona de auto-rescate, lo que significa que no se podría construir una presa de estériles de planta donde haya población viviendo en la zona de auto-rescate. Según la legislación, *“Fica vedada a concessão de licença ambiental para construção, instalação, ampliação ou alteamento de barragem em cujos estudos de cenários de rupturas seja identificada comunidade na zona de autossalvamento* [Se prohíbe la concesión de una licencia ambiental para la construcción, instalación, expansión o elevación de la presa en cuyos estudios de escenarios de rupturas sea identificada comunidad en la zona de auto-rescate] (Assembleia Legislativa de Minas Gerai, 2019).

Como otro ejemplo, Ecuador también tiene una separación mínima de 10 kilómetros entre una presa de estériles de planta y un núcleo de población aguas abajo, la cual también podría incrementarse dependiendo de los resultados del análisis de rotura de presa. De acuerdo con Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (Ecuador) (2020), *“Se prohíbe el diseño y construcción de depósitos de relave en los casos que se identifique una zona poblada ubicada aguas abajo del mismo que pudiera ser afectada por la onda de inundación, la cual queda limitada por la mayor de las dos distancias: A diez (10) kilómetros de distancia aguas abajo del pie de la presa a lo largo del curso del valle, o; La porción de territorio que sea alcanzada por la onda de inundación en un plazo de 30 minutos”*.

El documento de orientación La Seguridad ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves revisó las regulaciones existentes y solicitó regulaciones que tomaran seriamente en consideración el tiempo requerido para evacuar una comunidad. De acuerdo con La Seguridad ante Todo, *“Aunque estos límites geográficos y temporales son un avance, tampoco son garantía de evacuación segura en todos los escenarios. En ese sentido, la distancia mínima entre las comunidades y las nuevas presas debe definirse según cada caso. Esta distancia se debe calcular con base en el tiempo que tomaría evacuar a la comunidad entera con el apoyo de un equipo de rescate, así como el tiempo que tomaría una inundación de relaves en alcanzar a la comunidad, con un margen de seguridad dentro del cálculo. El tiempo que tomaría una inundación de relaves en alcanzar una comunidad se debe calcular con base en un estudio de falla de la presa realizada para cada instalación de disposición de relaves”* (Morrill et al., 2022).

Aunque a menudo se considera a la República Popular China como un país con estándares débiles en materia de protección del medio ambiente y la seguridad pública, incluso China





exige una separación mínima de 1.000 metros entre una presa de estériles de planta y un núcleo de población aguas abajo. Las regulaciones chinas sobre presas de estériles de planta definen “头顶库” [depósitos de estériles de planta suspendidos] como “初期坝坡脚起至下游尾矿流经路径1公里范围内有居民或重要设施的尾矿库” [depósitos de estériles de planta con residentes o instalaciones importantes dentro de 1 km desde el pie del terraplén del dique inicial a lo largo del camino de flujo de estériles de planta aguas abajo] (Departamento de Fundamentos de Seguridad en la Producción (China), 2020). Las regulaciones chinas especifican entonces que “严禁新建‘头顶库’” [está estrictamente prohibido construir nuevos “depósitos de estériles de planta suspendidos”] (Departamento de Fundamentos de Seguridad en la Producción (China), 2020). El hecho de que el proyecto de cobre Touro propuesto sea ilegal incluso en China debería ser motivo de pausa y reflexión.

Alejano (2019) se opone reiteradamente a las referencias de Emerman (2018) a estándares internacionales y regulaciones de otros países, aunque también insiste en que España tiene regulaciones más estrictas en materia de protección ambiental que otros países, incluida China. De acuerdo con Alejano (2019), “Al objeto de contextualizar el 'Proyecto Touro', sí conviene recordar que los principales productores de cobre del mundo son por orden de producción Chile, Perú y China, que producen casi la mitad de los 20 millones de toneladas que se produce en el mundo.

La legislación ambiental y minera y la asociada a gestión de residuos en España, que cristaliza en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas, adaptada a la normativa europea, puede considerarse una de las más rigurosas de los países desarrollados y seguramente más garantista que cualquiera de los principales países productores”. Alejano (2019) enfatiza la irrelevancia de las regulaciones de otros países por escrito, “Finalmente, el Dr. Emerman objeta que no se siga la legislación canadiense de presas”.

Obviamente, las legislaciones de los países, se adaptan a las condiciones naturales y socioeconómicas de los mismos. Mientras que en Canadá la presencia de hielo bajo el suelo en forma de permafrost (o capa helada del suelo bajo la superficie) es una preocupación y sus normativas reflejan la gestión del mismo, la legislación española no lo refleja. La legislación en el ámbito de la construcción japonesa es muy rigurosa en lo que se refiere a los sismos, debido al alto impacto de estos, en este país. Sin embargo, nadie





debería preocuparse si se construye un edificio en A Coruña que no cumpla la legislación japonesa o una carretera en Viana do Bolo que no siga la normativa canadiense de carreteras”. No está del todo claro cómo una separación mínima entre una presa de estériles de planta y los núcleos de población aguas abajo podría depender de las condiciones naturales o socioeconómicas de una jurisdicción particular, excepto en términos de una comparación entre el tiempo de llegada de una inundación de estériles de planta y el tiempo necesario para evacuar un núcleo de población.

## **El análisis de rotura de presas no consideró todos los modos de falla creíbles**

El análisis de rotura de presa realizado por WSP Golder (2023) consideró dos posibles modos de falla, los cuales fueron falla por desbordamiento y falla por erosión interna. Durante el desbordamiento, el agua acumulada detrás de la presa fluye sobre el terraplén, lo que puede provocar erosión y brecha de la presa. La erosión interna (también llamada “*piping*”) es el fenómeno en el que la filtración a través de una presa de tierra o de estériles de planta arrastra partículas sólidas fuera de la presa, lo que resulta en la pérdida de la integridad estructural de la presa.

La erosión interna se puede prevenir aumentando el ancho de la presa (distancia desde el embalse hasta el terraplén aguas abajo) o disminuyendo la inclinación del terraplén aguas abajo, para disminuir el gradiente hidráulico y, por tanto, la velocidad de filtración. Otras medidas preventivas incluyen la instalación de drenajes, que obligarán a las filtraciones a salir por el pie de la presa en lugar de por la cara, o filtros que atraparán las partículas finas e impedirán su transporte fuera de la presa.

Por lo general, la aparición de agua fangosa en la cara aguas abajo de una presa de tierra es una señal del inicio de la erosión interna y una señal para comenzar reparaciones de emergencia, como la construcción de un contrafuerte a lo largo del pie de la presa para alargar el camino de filtración.

Aunque WSP Golder (2023) determinó las consecuencias de una falla por desbordamiento o erosión interna, ambos modos de falla se consideraron muy improbables. De acuerdo



con WSP Golder (2023), “En base a ello, los dos posibles mecanismos de fallo serían los siguientes:

**Erosión interna:** Se considera muy poco creíble que se produjera en profundidad debido a que la baja permeabilidad de los estériles limita el potencial de desarrollo de gradientes hidráulicos significativos; para que ocurriera debería implicar un defecto o fallo previo en el sistema de impermeabilización y la existencia de gradientes significativos. La posibilidad de desarrollo se limitaría probablemente a la zona más superficial del Depósito y solo si se permitiera la acumulación de grandes volúmenes de agua en la proximidad del muro.

**“Overtopping” o desborde del agua sobrenadante:** Es un mecanismo de rotura que se considera posible, aunque que implicaría como en el caso anterior un episodio de acumulación de agua muy extraordinario”.

**Un tercer posible modo de falla sería la sacudida sísmica,** la cual podría provocar inestabilidad de talud o licuefacción. Un cuarto posible modo de falla sería la falla de los cimientos, la cual fue la causa de la falla de la presa de estériles de planta aguas abajo en la mina Los Frailes cerca de Aznalcóllar, España (Alonso y Gens, 2006a-b; Gens y Alonso, 2006).

En su revisión de las fallas de presas de estériles de planta en España, Roy (2024) escribió, *“Failures in the EU are often linked to dam foundation issues arising from poor placement and construction practices”* [Las fallas en la UE suelen estar relacionados con problemas en los cimientos de las presas derivados de malas prácticas de colocación y construcción]. WSP Golder (2023) no consideró ni las sacudidas sísmicas ni la falla de los cimientos porque estos dos modos de falla se consideraron demasiado improbables. Con respecto a las sacudidas sísmicas, WSP Golder (2023) escribió, “Otro escenario sería la rotura por una acción sísmica, que igualmente, debido a los efectos de amplificación sísmica de la estructura, tendería a desarrollarse en la zona superior del dique, aunque se considera también muy improbable debido a la baja sismicidad del área”.

Con respecto a la falla de los cimientos, WSP Golder (2023) escribió, “Tal como está diseñado, y considerando en particular que el dique estará apoyado en roca o roquisuelo competente y tiene una sección robusta con grandes taludes, siendo dimensionado y construido con los criterios de control definidos, no se considera probable que sea cedible, es decir, que una hipotética rotura se produjera inicialmente por causas atinentes a sus

cimientos o por la sección de roquisuelo”. La decisión por WSP Golder (2023) de excluir la consideración de modos de falla que se consideraron improbables no es consistente con los estándares de la industria minera que requieren la consideración de todos los modos de falla creíbles.

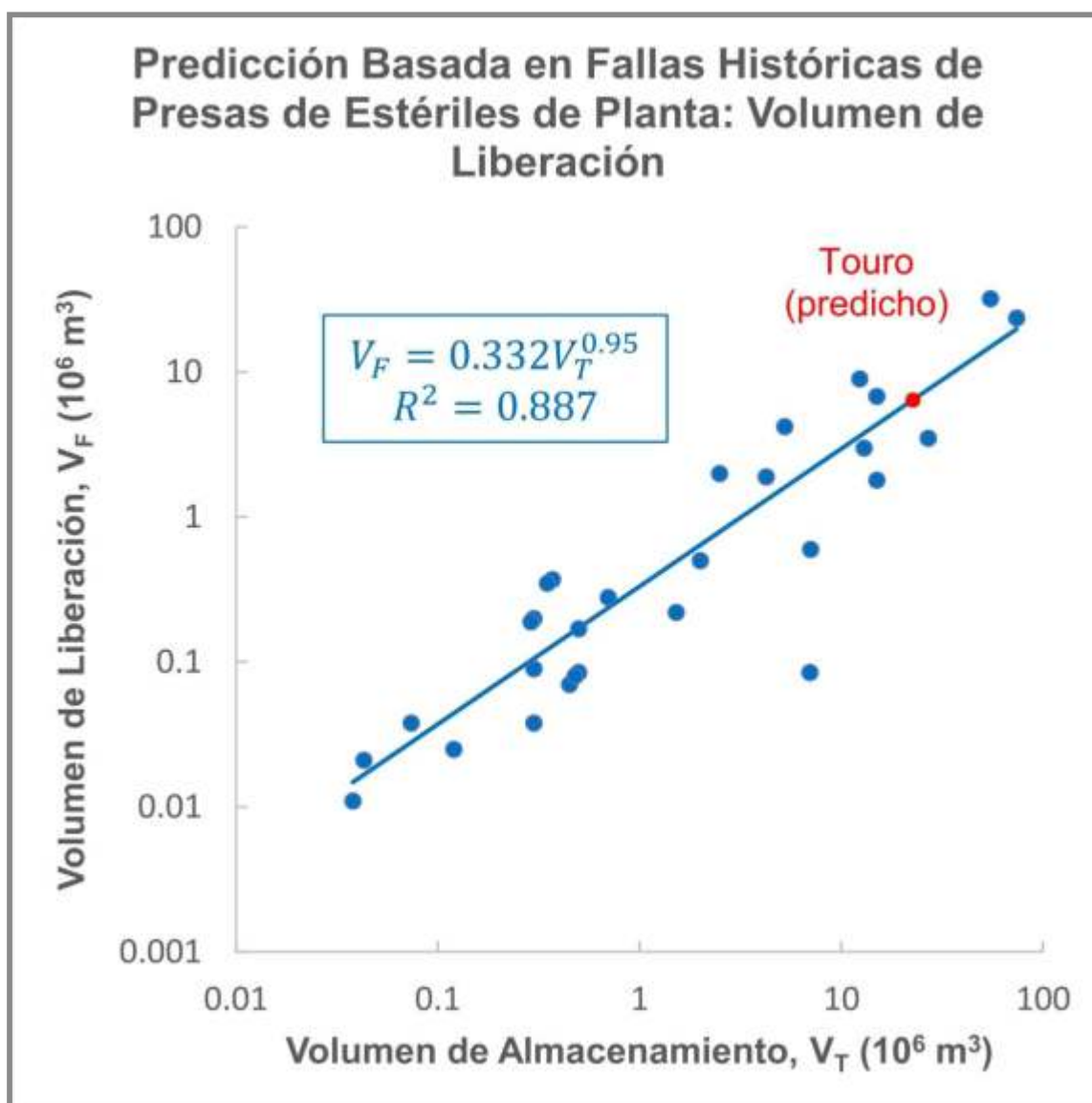


Figura 19a. Larrauri y Lall (2018) desarrollaron un modelo estadístico a partir de fallas históricas de presas de estériles de planta que predice el volumen de liberación en función del volumen de estériles de planta almacenados. Para la presa de estériles de planta en la mina propuesta para Touro, con base en una masa de estériles de planta almacenados de 34 Mt y una densidad asumida de estériles de planta de 1,5 Mt/m<sup>3</sup>, el modelo predice una liberación de 6,4 Mm<sup>3</sup> (28% de los estériles de planta almacenados) en el escenario más probable. Datos de presa de estériles de planta Touro desde Proyecto Touro (2017) y CRS Ingeniería (2023a). Todos los demás datos desde Larrauri y Lall (2018).

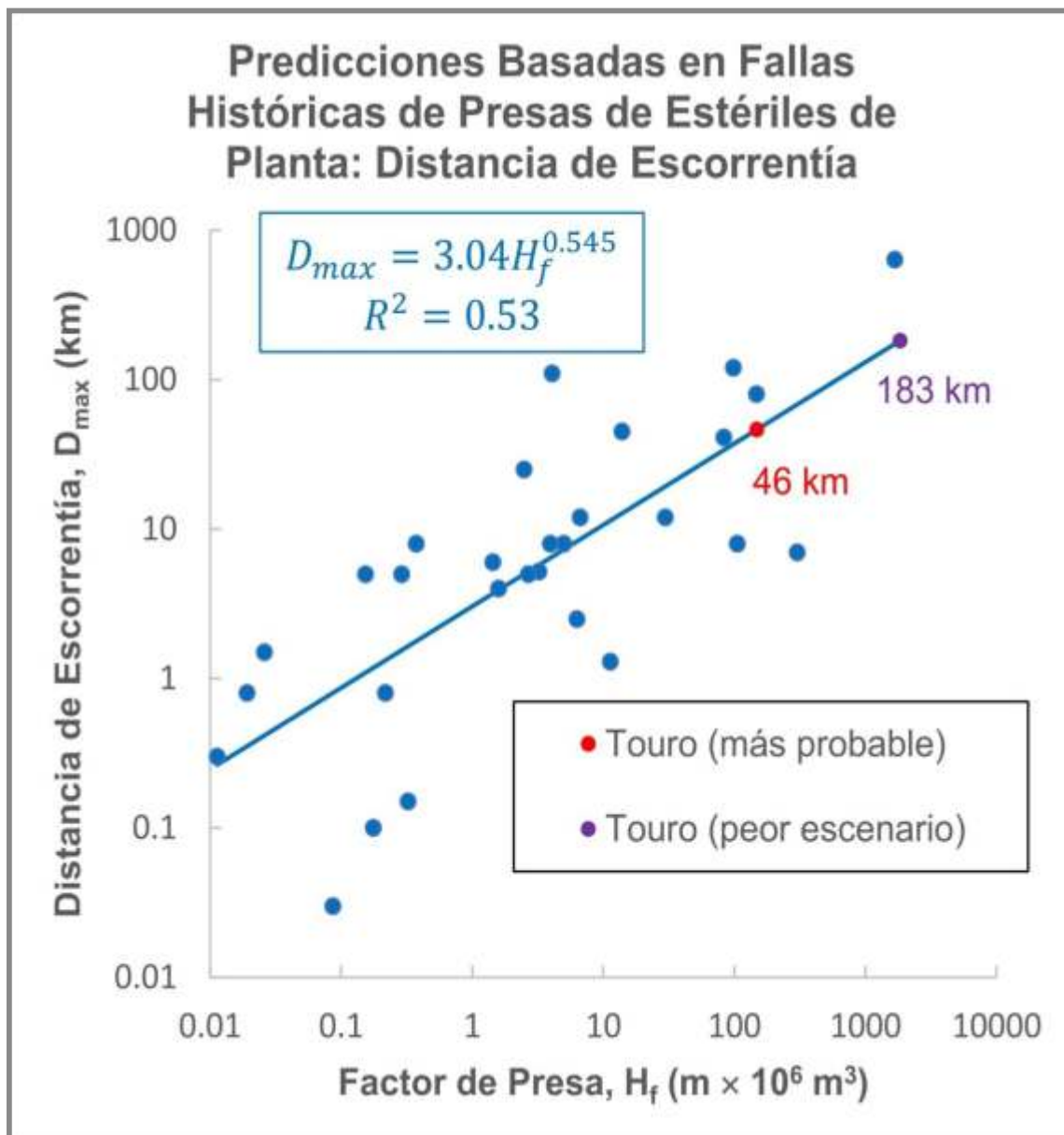


Figura 19b. Larrauri y Lall (2018) desarrollaron un modelo estadístico a partir de fallas históricas de presas de estériles de planta que predice la distancia de escorrentía a partir del factor de presa, lo cual es función de la altura de la presa, el volumen de estériles de planta almacenados y el volumen de estériles de planta liberados. Para la presa de estériles de planta en la mina propuesta Touro, con base en una altura de presa de 81 m, la masa de estériles de planta almacenados de 34 Mt, una densidad asumida de estériles de planta de 1,5 Mt/m<sup>3</sup> y un volumen de liberación de 6,4 Mm<sup>3</sup> (28% de los estériles de planta almacenados) (ver Fig. 19a), el modelo predice una distancia de escorrentía de 46 km en el escenario más probable. En el peor escenario (liberación del 100 % de los estériles de planta almacenados), el modelo predice una distancia de escorrentía de 183 km. Datos de presa de estériles de planta Touro desde Proyecto Touro (2017) y CRS Ingeniería (2023a). Todos los demás datos desde Larrauri y Lall (2018).



De acuerdo con el documento Tailings Dam Breach Analysis [Análisis de Ruptura de Presas de Relaves] por la Canadian Dam Association [Asociación Canadiense de Presas] (2021), *“Failure scenarios should be selected based on critical and credible failure mechanisms, based on a review of the dam configurations and failure modes (i.e., collapse or overtopping)”* [Los escenarios de falla deben seleccionarse basándose en mecanismos de falla críticos y creíbles, basados en una revisión de las configuraciones de la presa y los modos de falla (es decir, colapso o desbordamiento)]. El Tailings Management Handbook [Manual de Gestión de Relaves] de la SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración]) establece, *“The failure modes and scenarios considered when performing a TBA [Tailings Breach Assessment] need to be credible and related to catastrophic consequences”* [Los modos y escenarios de falla considerados al realizar una TBA [Evaluación de Brecha de Relaves] deben ser creíbles y estar relacionados con consecuencias catastróficas] (Clohan y Kidner, 2022).

El requisito 2.3 del EGGRIM exige que las empresas mineras deben “Desarrollar y documentar un análisis de rotura de presa de las instalaciones de relaves aplicando una metodología que considere modos creíbles de falla, las condiciones del emplazamiento y las propiedades de los relaves” (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

El requisito 4.4 del EGGRIM exige que las empresas mineras deben “Seleccionar, identificar de manera explícita y documentar todos los criterios de diseño que sean apropiados para minimizar el riesgo para todos los modos creíbles de falla de todas las fases del ciclo de vida de la instalación de relaves” (énfasis añadido) (ICMM-UNEP-PRI, 2020). El EGGRIM afirma además que “los análisis de rotura deben estar basados en modos creíbles de falla” (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

Por lo tanto, el significado de “creíble” es fundamental para la discusión sobre qué modos de falla deben tomarse en consideración. El EGGRIM aclara que “el término 'modo de falla creíble' no está asociado con la probabilidad de que ocurra un evento” (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Sobre esa base, La Seguridad ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves definió “modo creíble de falla” como “una secuencia de eventos físicamente posibles que podría provocar una falla de la presa de relaves” (Morrill et al., 2022).

El SME Tailings Management Handbook aclaró además, *“While evaluating risks associated with PFMs [Potential Failure Modes], it is important to consider whether the failure modes are credible or plausible. Is the PFM conceivable or physically possible and is there a*





*technical basis for its occurrence/ A non-credible failure mode has a zero likelihood of occurrence”* [Al evaluar los riesgos asociados con los PFM [Modos de Falla Potenciales], es importante considerar si los modos de falla son creíbles o plausibles. ¿Es concebible o físicamente posible el PFM y existe una base técnica para su ocurrencia? Un modo de falla no creíble tiene una probabilidad nula de ocurrir] (Morrison y Byler, 2022).

En resumen, WSP Golder (2023) debería haber considerado todos los modos de falla físicos posibles y no debería haber excluido los modos de falla que se consideraron improbables. La falla de la presa de estériles de planta en la mina Touro debido a actividad sísmica o falla de los cimientos es ciertamente físicamente posible (creíble) y no debería haber sido excluida de la consideración.

Sin más detalles sobre el modelo de rotura de la presa, no es completamente obvio cómo tomar en cuenta las sacudidas sísmicas o la falla de los cimientos habría cambiado las conclusiones sobre las consecuencias de la falla. Sin embargo, las roturas de presas debidas a desbordamiento o erosión interna se desarrollan con relativa lentitud, en cuestión de horas. Por el contrario, las roturas de presas de estériles de plantas pueden desarrollarse en segundos en respuesta a sacudidas sísmicas o fallas de los cimientos. Sobre esa base, la suposición de un evento sísmico o falla de los cimientos podría haber aumentado la tasa de flujo de agua y estériles de planta a través de la brecha (ver Fig. 15), lo que a su vez podría haber aumentado la distancia de escorrentía y el área impactada por la falla de la presa de estériles de planta.

## **El análisis de rotura de presas subestimó enormemente la distancia de escorrentía**

Con base en el modelo estadístico desarrollado por Larrauri y Lall (2018), la predicción del volumen más probable de estériles de planta liberados depende de la altura de la presa y el volumen de almacenamiento (ver Ecs. (1)-(2)). La masa de estériles de planta almacenados sobre el terreno de 34 millones de toneladas y una densidad de estériles de planta asumida de 1,5 toneladas por metro cúbico (CRS Ingeniería, 2023a) da como resultado un volumen de almacenamiento sobre el terreno proyectado de 22,7 millones de metros cúbicos de estériles de planta. Basado en una altura de presa de 81 metros, las Ecs. (1)-(2) se utilizaron



para predecir un volumen de liberación de 6,4 millones de metros cúbicos o el 28 % de los estériles de planta almacenados (ver Fig. 19a). El volumen de liberación previsto es algo menor que los volúmenes de liberación de 7,5 millones de metros cúbicos y 8,4 millones de metros cúbicos previstos por WSP Golder (2023) en los escenarios de día soleado y día lluvioso, respectivamente (ver Fig. 15).

Ecs. (3)-(4) se utilizaron para predecir distancias de escorrentía de 46 kilómetros y 183 kilómetros en el escenario más probable (liberación del 28 % de los estériles de planta almacenados) y en el peor escenario (liberación del 100 % de los estériles de planta almacenados), respectivamente (ver Fig. 19b).

Por lo tanto, en el escenario más probable, durante el evento inicial, los estériles de planta contaminarán 33 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza dentro de la Red Natura 2000 (ver Fig. 2). Con base en Ecs. (1) y (3), con la liberación del 37% de los estériles almacenados, los estériles de planta llegarán a la ría de Arousa durante el evento inicial (una distancia de 62 kilómetros) contaminando la ría y 49 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza (ver Fig. 2).

Es importante señalar que incluso en el escenario más probable, los procesos fluviales normales posteriores al evento inicial transportarán los estériles de planta hasta la ría de Arousa. En resumen, la predicción de WSP Golder (2023) de que los estériles de planta viajarán solo 2.788 kilómetros después del colapso de la presa de estériles de planta es completamente inconsistente con el registro histórico y, por lo tanto, subestima en gran medida la distancia de escorrentía. Sin más información sobre los procedimientos seguidos por WSP Golder (2023), es imposible determinar qué hizo mal WSP Golder (2023).

## **El análisis de rotura de presas subestimó enormemente la velocidad del flujo**

Con base en una distancia de escorrentía de 2,788 kilómetros (ver Fig. 15) y un tiempo total de viaje de ocho horas, la velocidad de flujo promedio predicha por el análisis de rotura de presa de WSP Golder (2023) sería 0,3485 kilómetros por hora. La predicción anterior para la falla de la presa de estériles de planta en la mina propuesta Touro se compara con mediciones de 13 fallas de presas de estériles de planta anteriores en Tabla 3. Las



mediciones de fallas de presas de estériles de planta anteriores se agrupan en tres categorías de velocidad de pico, velocidad media a lo largo de toda la escorrentía y velocidades medias en secciones particulares la escorrentía (ver Tabla 3). A partir de siete fallas de presas de estériles de planta en las que se han medido velocidades de pico, la mayoría han superado los 90 kilómetros por hora, con la máxima velocidad de pico siendo de 112 kilómetros por hora, medida para la falla de la presa de estériles de planta en Stava, Italia, en 1985 (ver Tabla 3).

Sitio o Mina País	Año	Velocidad de Pico (km/h)	Velocidad Media a lo Largo de Toda la Escorrentía (km/h)	Velocidades Medias en Secciones Particulares (km/h)
Barahona <sup>1</sup> Chile	1928	108	—	—
Tlalpujahuá <sup>2</sup> México	1937	>90	—	25 32 36 50 72-90
El Cobre Chile	1965	47 <sup>1</sup>	50 <sup>3</sup> 29 <sup>4</sup>	—
Sgorigrad <sup>3</sup> Bulgaria	1966	—	30	—
Aberfan Gales	1966	22 <sup>5</sup>	18 <sup>3</sup> 16-32 <sup>4</sup>	—
Fort Meade <sup>3</sup> EE. UU.	1971	—	30-36	—
Buffalo Creek <sup>3</sup> EE. UU.	1972	—	12	—
Jupille <sup>5</sup> Bélgica	1973	—	110-160	—
Bafokeng Sudáfrica	1974	108 <sup>5</sup>	<40 <sup>3</sup> 36 <sup>1,4</sup>	—
Stava Italia	1985	112 <sup>1</sup>	72-97 <sup>3</sup>	30 90 <sup>1</sup> 29 35 45 <sup>6</sup>
Aznalcóllar España	1998	—	60 <sup>7</sup>	2,5 6,8 <sup>1</sup>
Samarco <sup>1</sup> Brasil	2015	—	—	7 40
Brumadinho Brasil	2019	108 <sup>8</sup> 101 <sup>1</sup>	—	72-86 90-108 <sup>8</sup> 66 120 <sup>9</sup> 65 <25 <sup>1</sup>
<b>Presas de Estériles de Planta en la Mina Touro<sup>10</sup></b>				
		—	0,3485	—

**Tabla 3. Comparación de mediciones empíricas de velocidades de flujo de estériles de planta con predicciones de la análisis de rotura de presas para presas de estériles de planta en la mina Touro.**



Las únicas excepciones han sido la inundación de estériles de planta en Aberfan, Gales, en 1966 (velocidad de pico medida a 22 kilómetros por hora) y la inundación de estériles de planta en El Cobre, Chile, en 1965 (medida a 47 kilómetros por hora) (ver Tabla 3). Sin embargo, cabe señalar que existen discrepancias entre los estudios sobre las velocidades de pico anteriores. Así, en el caso de la inundación de estériles de planta en Aberfan, mientras que Jeyapalan (1981) afirmó que la velocidad de pico fue de 22 kilómetros por hora, Blight (2010) determinó que la velocidad media podría haber sido de hasta 32 kilómetros por hora (ver Tabla 3).

En el caso de la inundación de estériles de planta en El Cobre, mientras que Rana et al. (2021) afirmaron que la velocidad de pico fue de 47 kilómetros por hora, Luino y De Graff (2012) encontraron que la velocidad promedio podría haber sido tan alta como 50 kilómetros por hora (ver Tabla 3). Finalmente, aunque ningún estudio ha establecido una velocidad de pico para la falla de la presa de estériles de planta en Jupille, Bélgica, en 1973, Jeyapalan (1981) encontró una velocidad media en el rango de 110 a 160 kilómetros por hora, lo que ciertamente implica una velocidad de pico muy grande (ver Tabla 3). Con base en una velocidad máxima típica de 100 kilómetros por hora, se espera que la inundación de estériles de planta llegue a Os Tribas de Arriba en siete segundos y a Arinteiro en nueve segundos, basándose en distancias de 197 metros y 252 metros, respectivamente (ver Fig. 4).

La velocidad media predicha por WSP Golder (2023) (0,3485 kilómetros por hora) es mucho menor que las velocidades medias medidas, las cuales oscilaron entre 12 y 160 kilómetros por hora, con valores medianos y medios de 36 y 52 kilómetros por hora, respectivamente, cuando se consideraron en todos los estudios (ver Tabla 3). Los valores medios en secciones particulares oscilaron entre 2,5 y 120 kilómetros por hora (ver Tabla 3). Los valores más bajos de 2,5 y 6,8 kilómetros por hora para secciones particulares que fueron encontrados por Rana et al. (2021) para la falla de la presa de estériles de planta en Aznalcóllar, España, en 1998 son cuestionados por Kossof et al. (2014), quienes determinaron que la velocidad media durante toda la escorrentía fue de 60 kilómetros por hora (ver Tabla 3).

Con base en una velocidad de flujo promedio típica de 35 kilómetros por hora, bajo el escenario más probable, durante el evento inicial, los estériles de planta recorrerán 46 kilómetros (contaminando 33 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza) en 79 minutos. Al igual que con la distancia de escorrentía, sin más información sobre los procedimientos



seguidos por WSP Golder (2023), es imposible determinar cómo WSP Golder (2023) pudo llegar a una velocidad promedio de sólo 0,3485 kilómetros por hora. Cabe señalar que algunas regulaciones aceptan 20 kilómetros por hora como velocidad media mínima para una inundación de estériles de planta. En particular, en Minas Gerais (Brasil) y en Ecuador, la velocidad mínima de 20 kilómetros por hora es la base para la distancia mínima de separación requerida de 10 kilómetros entre una presa de estériles de planta y una comunidad aguas abajo y un tiempo mínimo de separación de 30 minutos (Asamblea Legislativa de Minas Gerais, 2019; Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (Ecuador), 2020).

Ya se mencionó que, después de la escorrentía inicial, los procesos fluviales normales continuarán transportando los estériles de planta al océano o a un lago importante. Leopold (1994) descubrió que, en los ríos de Estados Unidos, la velocidad media del flujo era de 4,84 pies por segundo (5,31 kilómetros por hora). También se ha demostrado que, en el escenario más probable, los estériles de planta recorrerán 46 kilómetros en el evento inicial (requiriendo 79 minutos) quedando otros 16 kilómetros entre el punto más alejado del evento inicial y la ría de Arousa. Por lo tanto, suponiendo una velocidad de flujo de 5 kilómetros por hora en procesos fluviales normales, en el escenario más probable los estériles de planta llegarán a la ría de Arousa 271 minutos (4,5 horas) después de la rotura de la presa de estériles de planta.

## Las consecuencias de una falla de presa serán extremas

El EIA utilizó el sistema de clasificación de la Canadian Dam Association (2013) para clasificar las consecuencias de la falla de la presa de estériles de planta como Muy Altas (ver Fig. 20). La única justificación proporcionada en el EIA fue la declaración: “Se estima que en caso de falla del dique principal del DEP1, se verían afectadas principalmente las poblaciones ubicadas aguas debajo y en el caso del dique del DEP2, también se vería afectada la planta de procesos. Los procedimientos de monitoreo y evacuación, así como la capacitación del personal, permitirían proteger tanto a las poblaciones como al personal de la planta en caso de fallo del dique.

Por otra parte, es poco probable que se desencadene una rotura rápida del dique, sino que los sistemas de instrumentación detectarán signos que permitan la toma de decisiones y



# Evaluación del Plan de Gestión de Residuos Mineros y el Análisis de Rotura de Presa de la Mina de Cobre Touro de Cobre San Rafael

reacción del personal. De acuerdo a la TABLA 1.1, se considera que los diques principales de los depósitos de estériles de planta DEP1 y DEP2 se encuentran en la categoría de consecuencia de falla 'Muy Alta' (CRS Ingeniería, 2023c). Por lo tanto, el EIA consideró que las consecuencias de la falla eran Muy Altas tanto para la presa que confina los estériles de planta en DEP1 como para el muro que rodea la instalación de almacenamiento de estériles de planta dentro la corta (DEP2). No hay explicación de por qué el EIA se basó en el sistema de clasificación de consecuencias de la Canadian Dam Association (2013), lo cual fue extraño considerando que, como se discutió anteriormente, Alejano (2019) había criticado a Emerman (2018) por comparar el diseño de la presa de estériles de planta con los estándares de la Canadian Dam Association (2013).

<b>TABLA 1.1.- CLASIFICACIÓN DE PRESAS (ASOCIACIÓN DE PRESAS DE CANADÁ, 2013)</b>				
CLASIFICACIÓN DE LA PRESA	POBLACIÓN DE RIESGO (Nota 1)	AUMENTO DE PÉRDIDAS		
		MUERTE (Nota 2)	VALORES CULTURALES Y AMBIENTALES	INFRAESTRUCTURA Y ECONOMÍA
Baja	Ninguna	0	Pérdida mínima a corto plazo Ninguna pérdida a largo plazo	Pocas pérdidas económicas; el área cuenta con una infraestructura o servicios limitados
Significativa	Solo temporal	No específica	Ninguna pérdida ni deterioro significativo del hábitat de los peces y de la vida silvestre Pérdida sólo del hábitat marginal Restauración o indemnización en especie, altamente probable	Pérdidas de las instalaciones recreacionales, lugares temporales de trabajo y rutas de transporte poco utilizadas
Alta	Permanente	10 o menos	Pérdida significativa o deterioro del hábitat importante de peces o vida silvestre Restauración o compensación en especie altamente posible	Grandes pérdidas económicas que afectan la infraestructura, el transporte público y las instalaciones comerciales
Muy Alta	Permanente	100 o menos	Pérdida significativa o deterioro del hábitat crítico de peces o vida silvestre Restauración o compensación en especie posible pero poco práctico	Grandes pérdidas económicas que afectan la infraestructura o servicios importantes (por ejemplo la carretera, instalaciones industriales, instalaciones de almacenamiento para sustancias peligrosas)
Extrema	Permanente	Más de 100	Pérdida principal de hábitat crítico de peces o vida silvestre Restauración o compensación en especie imposible	Pérdidas extremas que afectan la infraestructura o servicios críticos (por ejemplo, complejo industrial hospitalario principal, importantes instalaciones de almacenamiento para sustancias peligrosas)

**Figura 20.** El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) clasificó como Muy Altas las consecuencias de la falla de la presa del depósito de estériles de planta DEP1. Sin embargo, debido a que hay al menos cinco núcleos de población dentro de 1,5 kilómetros aguas abajo de la presa (ver Fig. 3) y debido a que la población combinada de Arinteiro y A Goleta solas es de 117 personas, las consecuencias de la falla deben calificarse como Extremas. Figura de CRS Ingeniería (2023c).



Sin embargo, una característica importante de los sistemas de clasificación de consecuencias de la Canadian Dam Association (2013) y el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM) (ICMM-UNEP-PRI, 2020) es que ambos utilizan cinco categorías de consecuencias (Baja, Significativa, Alta, Muy Alta, Extrema) con la misma pérdida potencial de vidas en cada categoría (ver Fig. 20).

Así, en ambos sistemas las consecuencias Muy Altas corresponden a la pérdida potencial de entre 10 y 100 vidas (ver Fig. 20). Esta categoría no puede ser apropiada para la presa de estériles de planta de DEP1 porque una falla de la presa afectaría a las comunidades de Arinteiro, Os Torreis de Arriba, Tribas, A Goleta, As Goritas y Os Torreis de Abaixo, todas dentro de 1,5 kilómetros de la presa, junto con muchas otras posibles comunidades más aguas abajo (ver Figs. 2-3). Dado que la población combinada de sólo Arinteiro y A Goleta es de 117 habitantes (City Population [Población de Ciudad], 2024), las consecuencias de la falla deberían clasificarse como Extremas, no Muy Altas, según la Canadian Dam Association (2013) o el EGGRIM (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

Una característica del EGGRIM que no está presente en la Canadian Dam Association (2013) es que el EGGRIM toma en cuenta explícitamente el potencial de drenaje ácido de mina y lixiviación de metales de los estériles de planta derramados. En particular, el sistema de clasificación del EGGRIM incluye “Muy alta posibilidad de drenaje ácido de roca o de efectos de lixiviación de metales de relaves liberados” En la columna ambiental por consecuencias Extremas (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Por lo tanto, el potencial muy alto de drenaje ácido de mina y lixiviación de metales para los estériles de planta de la mina Touro que ya se ha analizado (ver Figs. 12a-e) es una segunda razón por la cual se le debe asignar a la presa de estériles de planta de DEP1 la clasificación de consecuencias de Extremas.

De la misma manera, La Seguridad ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves coloca a las presas que confinan estériles de planta con alto potencial de drenaje ácido de mina y lixiviación de metales en la misma categoría que las presas de relaves cuya falla podría causar la pérdida de vidas humanas. De acuerdo con La Seguridad ante Todo, “En vista de que los relaves con alto potencial de generación de ácido o lixiviación de contaminantes incrementan la severidad de las consecuencias de una eventual falla, las presas de relaves con dichas características geoquímicas deben ser diseñadas para aguantar la IMP [Inundación Máxima Probable] y el TMC [Terremoto Máximo Creíble]. Las instalaciones de relaves deben ser diseñadas para resistir una inundación o terremoto con intervalo de 10,000 años, solamente si los relaves no tienen



potencial de generación de ácido y su potencial de lixiviación de contaminantes es bajo, sin peligro de pérdida de vidas” (Morrill et al., 2022).

## Las presas construidas utilizando el método aguas abajo no son inherentemente seguras

Las afirmaciones en el nuevo EIA de que las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo nunca han fallado (CRS Ingeniería, 2020a, 2021a, 2023a; Novotec, 2024c), así como las afirmaciones tanto en el nuevo EIA como en el anterior de que las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo tienen cero riesgo de falla (Proyecto Touro, 2019; CRS Ingeniería, 2023b) no tienen base en el registro histórico de fallas de presas de estériles de planta (ver Tabla 4a). Se han producido al menos 30 fallas de presas de estériles de planta cuyo método de construcción se sabe que fue el método aguas abajo (ver Tabla 4a).

La falla más notable ha sido la de la presa de estériles de planta en la mina Los Frailes en Aznalcóllar, España, que provocó el desastre en el Parque Nacional Doñana en 1998 al liberar 6,8 millones de metros cúbicos de estériles de planta con una distancia de escorrentía de 41 kilómetros (ver Tabla 4a). Otras fallas notables de presas de estériles de planta aguas abajo incluyen la falla de la presa de estériles de planta activa en la planta de alúmina de Ajka en Hungría en 2010, la cual liberó 1 millón de metros cúbicos de estériles de planta y causó 10 muertes, y la falla de la presa de estériles de planta cerrada en la mina Las Palmas en Chile en el mismo año, la cual liberó 170.000 metros cúbicos de estériles de planta y causó cuatro muertes (ver Tabla 4a; Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública, 2024]).

También ha habido al menos tres fallas de presas de estériles de planta que combinaban recrecimientos aguas arriba y aguas abajo (ver Tabla 4b). Por ejemplo, la falla de la presa de estériles de planta en la mina Baia Mare en Rumania en 2000 liberó alrededor de 100.000 metros cúbicos de agua que se enriquecieron en cianuro y metales pesados. El agua contaminada fluyó hacia los ríos Somes y Tisza y luego hacia el río Danubio, llegando finalmente al Mar Negro, lo que provocó “*significant fishkill and destruction of aquatic species in the river system*” [muerte significativa de peces y destrucción de especies acuáticas en el sistema fluvial] (ICOLD y UNEP, 2001).



Con base en principios de ingeniería, lo más probable es que sea correcto que las presas de estériles de planta aguas abajo sean más seguras que las presas de estériles de planta aguas arriba o las presas de estériles de planta de línea central. Sin embargo, cualquier intento de argumentar que las presas aguas abajo son más seguras basándose en el registro histórico se ve obstaculizado por la falta de conocimiento del método de construcción de muchas de las presas de estériles de planta falladas. En particular, de las 376 fallas de presas de estériles de planta enumeradas en la base de datos del Center for Science in Public Participation (2024), el método de construcción es completamente desconocido para 173 (46%) de las presas de estériles de planta falladas.

**Tabla 4a. Fallas históricas conocidas de presas de estériles de planta que utilizaban únicamente recrecimientos aguas abajo<sup>1</sup>**

Mina o Presa	País	Año	Distancia de Escorrentía (km)	Muertes
Gullbridge	Canadá	2012	0,5	0
Planta Ajka Alumina	Hungría	2010	—	10
Las Palmas	Chile	2010	0,5	4
Tranque Adosado Planta Alhué	Chile	2010	—	0
Fonte Santa	Portugal	2006	2,5	0
Cuajone	Perú	2001	—	—
Aitik	Suecia	2000	5,2	0
Los Frailes (Aznalcóllar)	España	1998	41	—
Planta Ajka Alumina	Hungría	1991	—	0
Silver King	EE. UU	1989	—	—
Consolidated Coal No.1	EE. UU	1988	—	—
No Identificada	EE. UU	1988	—	—
Montana Tunnels	EE. UU	1987	—	0
La Belle	EE. UU	1985	—	—
El Cobre No. 4	Chile	1985	—	—
Battle Mountain Gold	EE. UU	1984	—	—
Grey Eagle	EE. UU	1983	—	0
Norosawa	Japón	1978	—	0
Hirayama	Japón	1978	—	0
No Identificada	EE. UU	1976	—	—
Silver King	EE. UU	1974	—	0
Portworthy	Reino Unido	1970	—	0
Monsanto Dike 15	EE. UU	1969	—	0
No Identificada	Reino Unido	1967	—	—
No Identificada	Reino Unido	1967	—	—
No Identificada	Reino Unido	1967	—	—
Derbyshire	Reino Unido	1966	0,1	0
Presa El Cobre Nueva	Chile	1965	12	0
No Identificada	EE. UU	1965	—	—
No Identificada	EE. UU	1951	—	—

<sup>1</sup>Datos de Rana et al. (2022) y del Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública] (2024)



**Tabla 4b. Fallas históricas conocidas de presas de estériles de planta que combinaron recrecimientos aguas abajo y aguas arriba<sup>1</sup>**

Mina o Presa	País	Año	Distancia de Escorrentía (km)	Muertes
Cadia	Australia	2018	0,5	0
Baia Mare	Rumania	2000	100	0
Minera Sera Grande	Brasil	1994	—	—

<sup>1</sup>Datos del Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública] (2024)

En resumen, la probabilidad de falla de una presa de estériles de planta aguas abajo está lejos de ser cero. Cualquier disminución en la probabilidad de falla debido al uso del método de construcción aguas abajo no puede usarse como excusa para realizar un análisis de rotura de presa (WSP Golder, 2023) insuficientemente detallado, carente de rigor e inconsistente con el registro histórico de las consecuencias de la falla de las presas de estériles de planta.

Una característica que puede distinguir la presa de estériles de planta en la mina propuesta Touro desde otras presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo es que la presa de estériles de planta se construiría a partir de estériles de mina, a diferencia de la fracción más gruesa de estériles de planta. Así como el método de construcción es completamente desconocido para un porcentaje sustancial (46 %) de las fallas de presas de estériles de planta, el material de construcción es en gran medida desconocido para la gran mayoría de las fallas de presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo.

Sin embargo, las presas de estériles de planta construidas a partir de estériles de mina utilizando el método aguas abajo son esencialmente las mismas que las presas de retención de agua construidas a partir de escollera (Vick, 1990). Una diferencia es que las presas de retención de agua en escollera deberían ser incluso más seguras que las presas de estériles de planta construidas con el método aguas abajo, ya que, a diferencia de las presas de estériles de planta, las presas de retención de agua no suelen construirse en etapas.

Además, la escollera para las presas de retención de agua se elige por su idoneidad para la construcción de la presa y no solamente por los estériles de mina disponibles en el sitio de la mina que normalmente se utiliza para las presas de estériles de planta (Vick, 1990). Existen al menos 53 fallas catastróficas documentadas de presas de retención de agua en





escollera (Franca y Almeida, 2004; ICOLD, 2019; ASDSO, 2024a; ver Tabla 5). En España estas fallas incluyen la fallas de la presa Odiel en 1970 y la presa Tous en 1982, que provocó ocho víctimas mortales (ASDSO, 2024b). En resumen, incluso la combinación del método aguas abajo con el uso de estériles de mina como material de construcción no puede usarse como excusa para realizar un análisis de rotura de presa (WSP Golder, 2023) que no sea lo suficientemente detallado, carente de rigor e inconsistente con el registro histórico de las consecuencias de las fallas de presas de estériles de planta.

**Tabla 5. Fallas conocidas de presas de retención de agua en escollera**

Nombre de la Presa	País	Año	Altura (m)	Volumen del Embalse (Mm <sup>3</sup> )
Oaky <sup>1</sup>	Australia	2013	18	1-5
Lake Delton <sup>1</sup>	EE. UU.	2008	9	1-5
Koshi <sup>1</sup>	Nepal	2008	—	—
Gusau <sup>1</sup>	Nigeria	2006	5	—
Taum Sauk <sup>2</sup>	EE. UU.	2005	27,4	5,3
Shakidor <sup>1</sup>	Pakistán	2005	—	—
Lyell <sup>1</sup>	Australia	1999	51	25-50
Meadow Pond <sup>1</sup>	EE. UU.	1996	12	—
Gouhou <sup>1</sup>	China	1993	71	1-5
Santa Helena <sup>1</sup>	Brasil	1985	28,5	100-500
Dibbis <sup>1</sup>	Irak	1984	17	25-50
Tous <sup>1</sup>	España	1982	70,5	50-100
Ruahihi <sup>1</sup>	Nueva Zelanda	1981	32	25-50
Gotvand <sup>1</sup>	Irán	1980	22	—
Kelly Barnes <sup>3</sup>	EE. UU.	1977	13	0,5
Lower Idaho Falls <sup>1</sup>	EE. UU.	1976	15,2	—
Xonxa <sup>3</sup>	Sudáfrica	1973	48	158,0
Frias <sup>1</sup>	Argentina	1970	15	0-1
Odiel <sup>3</sup>	España	1970	35	3,3
Cethana <sup>3</sup>	Australia	1968	15	—
Chitauni <sup>3</sup>	India	1968	—	—
Cazadero <sup>1</sup>	EE. UU.	1965	21	10-25
Sempor <sup>3</sup>	Indonesia	1967	54	52,0
La Calera <sup>3</sup>	México	1964	28	—
Hell Hole <sup>3</sup>	EE. UU.	1964	67	37,0
Swift <sup>3</sup>	EE. UU.	1964	57	37,0
Banabuiu <sup>3</sup>	Brasil	1961	57,7	>1000
Oros <sup>3</sup>	Brasil	1960	35	650,0
Sose <sup>3</sup>	Alemania	1959	54	—
Masterson <sup>3</sup>	EE. UU.	1951	18	—
Nizhne Tulomskaya <sup>3</sup>	URSS	1938	29	—
Karachunovskaya <sup>3</sup>	URSS	1934	22	—
Cogswell <sup>3</sup>	EE. UU.	1934	85	—
Castlewood <sup>3</sup>	EE. UU.	1933	21	4,2



Cascade <sup>3</sup>	Australia	1929	19	—
Littlefield <sup>3</sup>	EE. UU.	1929	37	—
Bowman North <sup>3</sup>	EE. UU.	1928	51	—
Dykstra <sup>1</sup>	EE. UU.	1926	15,2	—
Coetdy <sup>1</sup>	Reino Unido	1925	11	0-1
Bully Creek <sup>1</sup>	EE. UU.	1925	38,1	10-25
Overholser <sup>1</sup>	EE. UU.	1923	17	10-25
Wahiawa <sup>3</sup>	EE. UU.	1921	41	—
Goose Creek <sup>3</sup>	EE. UU.	1916	64	10,6
Lower Otay <sup>3</sup>	EE. UU.	1916	41	49,0
Beaver Park <sup>3</sup>	EE. UU.	1914	30	—
Wisconsin Dells <sup>3</sup>	EE. UU.	1911	18	—
Black Rock <sup>1</sup>	EE. UU.	1909	21	10-25
Bluewater <sup>3</sup>	EE. UU.	1909	4,6	3,2
Lake Vera <sup>1</sup>	EE. UU.	1905	15	—
Goose Creek <sup>1</sup>	EE. UU.	1900	20	—
Walnut Grove <sup>1</sup>	EE. UU.	1890	33	10-25
English <sup>1</sup>	EE. UU.	1883	30,5	10-25
Moreana <sup>3</sup>	EE. UU.	—	—	—

<sup>1</sup>ICOLD (2019)

<sup>2</sup>ASDSO (2024a)

<sup>3</sup>Franca y Almeida (2004)

## Los criterios de diseño de inundaciones y de terremotos no cumplen con los estándares internacionales

El conjunto de estándares internacionales más relevantes para el proyecto Touro es el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM), ya que el EGGRIM es ampliamente aceptado tanto en Europa como en la industria de cobre mundial. Además, el EIA afirma repetidamente que el diseño del proyecto Touro cumple plenamente con el EGGRIM (CSR Ingeniería, 2021b, 2023a; Novotec, 2024b) y un informe completo de 96 páginas dentro del EIA está dedicado a demostrar el cumplimiento del proyecto Touro propuesto con el EGGRIM (CRS Ingeniería, 2021b).

En comparación con el EGGRIM, el diseño de la presa de estériles de planta en DEP1 para soportar una inundación con un período de retorno de 500 años y un terremoto con un período de retorno de 500 años es lamentablemente inadecuado. Según el EGGRIM, las presas de estériles de planta con consecuencias de falla en la categoría Extremas deben diseñarse para soportar la inundación con un período de retorno de 10.000 años o la Inundación Máxima Probable (IMP), y el terremoto con un período de retorno de 10.000 años o el Terremoto Máximo Creíble (TMC). Incluso las presas de estériles de planta con consecuencias de falla en la categoría Muy Altas deben diseñarse para soportar la



inundación con un período de retorno de 5000 años y el terremoto con un período de retorno de 5000 años (ICMM-UNEP-PRI, 2020). De hecho, el diseño para una inundación o un evento sísmico con un período de retorno de sólo 500 años sería apropiado sólo para presas de estériles de planta con consecuencias de falla en la categoría Bajas, las cuales corresponderían a ninguna población en riesgo, ninguna pérdida potencial de vidas, “a corto plazo, mínima pérdida o deterioro de hábitat o de especies raras y en peligro de extinción ... Efectos mínimos e interrupción ligera de las actividades económicas y medios de subsistencia. Ningún efecto medible sobre la salud humana. Ninguna alteración del patrimonio, o los bienes comunitarios, culturales o recreativos ... Pérdidas económicas bajas; el área contiene escasa infraestructura o servicios. <US\$1M” (ICMM-UNEP-PRI, 2020). Es importante destacar que, para la fase de cierre de todas las presas de estériles de planta, independientemente de la categoría de consecuencia de falla, el EGGRIM requiere un diseño para soportar la inundación con un período de retorno de 10.000 años o la Inundación Máxima Probable (IMP), y el terremoto con un período de retorno de 10.000 años o el Terremoto Máximo Creíble (TMC) (ICMM-UNEP-PRI, 2020).

El EIA afirma que la agencia gubernamental Instituto Geológico y Minero de España (IGME) ha verificado el pleno cumplimiento del diseño de la presa de estériles de planta del proyecto Touro con los requisitos del EGGRIM. De acuerdo con el EGGRIM, “El Instituto Geológico Minero de España (IGME-CSIC), ha elaborado un informe que verifica que la instalación DEP1 cumple ... el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera” (Novotec, 2024b). Por el contrario, el propio informe del IGME (2022) afirma exactamente lo contrario con respecto a la falta de cumplimiento de los criterios de diseño sísmico y de inundaciones del EGGRIM. De acuerdo con IGME, “Para su completa finalización es necesario realizar durante la fase de operación y construcción los trabajos que permitan completar la información que se señala a continuación: 1. Se debe realizar un estudio de peligrosidad sísmica específico del emplazamiento para estimar la acción sísmica para periodo de retorno 10.000 años, como establece el Estándar Global”.

Una consideración final es la magnitud (o período de retorno) del evento de precipitación que se debe considerar para el escenario de “día lluvioso” para el análisis de rotura de presa. Con base en el razonamiento anterior, el evento de precipitación relevante debe ser la inundación con un período de retorno de 10.000 años o la Inundación Máxima Probable (IMP). El análisis de rotura de presa realizado por WSP Golder (2023) nunca aclaró el evento de precipitación que correspondería a un “día lluvioso” (ver Fig. 15). Sin embargo, otros análisis de rotura de presas realizados en España, como el análisis de rotura de presa para



el recrecimiento de la presa de estériles de planta de la mina Riotinto de Atalaya Mining (Emerman, 2024), han considerado la inundación con un periodo de retorno de tan sólo 500 años. La consideración de una inundación tan menor por parte de WSP Golder (2023) como la diferencia entre un “día lluvioso” y un “día soleado” explicaría por qué las predicciones para los escenarios de “día lluvioso” y “día soleado” son tan similares (ver Fig. 15).

## Las inclinaciones del terraplén exterior son demasiado empinadas

Aunque aparentemente no existe una regulación española en lo que respecta a las inclinaciones de los terraplenes exteriores de las presas de estériles de planta, las inclinaciones previstas de 1V: 2H (26.6° desde la horizontal) para las presa de estériles de planta de la mina Touro (ver Figs. 13a-b) son demasiado pronunciadas en comparación con los estándares internacionales. Las pendientes suaves son un medio para evitar fallas por erosión interna (también llamada canalización), fenómeno en el que la filtración de agua a través de la presa o los cimientos es lo suficientemente rápida como para arrastrar partículas finas, lo que puede provocar una pérdida de integridad estructural, seguida de una ruptura de la presa. El caudal de agua es proporcional al gradiente hidráulico, que es la diferencia entre los niveles de agua en los lados de aguas arriba y aguas abajo dividido por la longitud del camino hidráulico.

El gradiente hidráulico se puede reducir alargando el camino hidráulico, por ejemplo, disminuyendo la inclinación del terraplén exterior. Las pendientes suaves también pueden prevenir fallas por actividad sísmica o inestabilidad de la pendiente. Además, una inclinación suave del terraplén podría reducir la probabilidad de falla de los cimientos al distribuir el peso de la presa en un área mayor. Las pendientes suaves también pueden prevenir fallas por actividad sísmica o inestabilidad de la pendiente. Además, una inclinación suave del terraplén podría reducir la probabilidad de falla de los cimientos al distribuir el peso de la presa en un área mayor.

Según el libro de texto *Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities* [Ingeniería Geotécnica para Instalaciones de Almacenamiento de Residuos Mineros], “*Considering the requirement that the storage capacity for tailings solids of a given site must be maximized, together with the requirements for overall shear stability and the*



*requirement to limit rates of surface erosion, as well as the practical advantage of a slope that can be worked mechanically, an acceptable slope angle for tailings slopes appears to lie in the range of 15-20°. A round figure of 1 vertical on 3 horizontal or 18° appears to be a good compromise*” [Considerando el requisito de maximizar la capacidad de almacenamiento de relaves sólidos de un sitio determinado, junto con los requisitos de estabilidad general al corte y el requisito de limitar las tasas de erosión superficial, así como la ventaja práctica de una pendiente que se puede trabajar mecánicamente, un ángulo de pendiente aceptable para pendientes de relaves parece estar en el rango de 15 a 20°. Un número redondo de 1 vertical sobre 3 horizontales o 18° parece ser un buen compromiso] (Blight, 2010).

Cabe destacar que la inclinación máxima de 1V: 3H no pretendía maximizar la protección del medio ambiente, sino lograr un equilibrio entre la necesidad de proteger el medio ambiente y la necesidad de almacenar el máximo volumen de relaves (lo que podría implicar reducir el espacio ocupado por la presa para crear más espacio de almacenamiento detrás de la presa).

A diferencia de la recomendación anterior, para priorizar la seguridad, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. recomienda que las inclinaciones no sean más pronunciadas que 1V: 5H (11° desde la horizontal) para evitar la erosión interna. De acuerdo con USACE (2000), “*For sand levees, a 1V on 5H landside slope is considered flat enough to prevent damage from seepage exiting on the landside slope*” [Para los diques de arena, una inclinación de 1V por 5H al lado de la tierra se considera lo suficientemente plano para evitar daños por filtraciones que salen del talud al lado de la tierra]. La Seguridad ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves acepta, por escrito, “La inclinación del terraplén exterior de la presa de relaves debe ser lo suficientemente baja para reducir la probabilidad anual de falla por tubificación, también conocido como erosión interna, a un nivel aceptable.

Los nuevos terraplenes externos deben ser construidos con una inclinación de 1V:5H o menos. Se debe agregar un relleno adicional a terraplenes externos existentes con una inclinación mayor a 1V:5H para cumplir con el nivel recomendado, de acuerdo con la orientación de USACE. Una propuesta de construcción o manutención de un terraplén externo con inclinación mayor a 1V:5H debe ser justificada por escrita ante los reguladores y el público. Esta justificación no puede fundamentarse solamente en consideraciones económicas, sino debe demostrar que la probabilidad de falla por erosión interna para un





diseño en particular es lo suficientemente baja, aún con la inclinación mayor. La inclinación de la presa no debe ser mayor de 1V:2H [26,6° desde la horizontal] en ninguna circunstancia” (Morrill et al., 2022).

Si bien no existen regulaciones españolas específicas respecto a las inclinaciones de los terraplenes exteriores de las presas de estériles de planta, los estándares de la Comisión Europea sin duda deberían ser relevantes en España. De acuerdo con la Comisión Europea, *“In the long term, damage by erosion, temperature and vegetation can be avoided by using stable materials in the construction of the dam and by constructing slopes of a sufficiently low angle. A repose angle of 3:1 (H:V) for the outer surface of the dam is for example considered stable in the long term as such slopes naturally occur in the landscape, according to the MTWR BREF [Management of Tailings and Waste Rock - Best Available Techniques Reference Document]”* [A largo plazo, los daños causados por la erosión, la temperatura y la vegetación se pueden evitar utilizando materiales estables en la construcción de la presa y construyendo pendientes con un ángulo suficientemente bajo.

Un ángulo de reposo de 3:1 (H:V) para la superficie exterior de la presa se considera, por ejemplo, estable a largo plazo, ya que tales pendientes existen de forma natural en el paisaje, según el MTWR BREF [Gestión de Relaves y Estériles de Mina - Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles] (Garbarino et al., 2018). Un ejemplo dado en el documento de orientación de la Comisión Europea es que, tras la falla de la presa de estériles de planta en la mina Los Frailes en Aznalcóllar, España, en 1998, la parte restante de la presa se reconstruyó para lograr una inclinación de pendiente de 1V: 3H para evitar más fallas (Garbarino et al., 2018).

En resumen, los terraplenes exteriores previstos para las presas de estériles de planta de la mina propuesta Touro tendrán una pendiente demasiado pronunciada en comparación con los estándares internacionales. Si bien los análisis de estabilidad de taludes del EIA pretenden mostrar factores de seguridad aceptables ante falla de taludes y falla sísmica incluso inclinaciones del terraplén exterior de 1V: 2H (CRS Ingeniería, 2020a, 2021a, 2023a), con base en las dos siguientes subsecciones, dichos resultados deben verse con considerable sospecha.

Además, el autor no conoce ningún análisis de la estabilidad de la presa de estériles de planta frente a fallas por erosión interna o erosión superficial. Cabe señalar que todos los estándares mencionados anteriormente destacan el papel de una pendiente suave en la



reducción de la probabilidad de falla por erosión interna (causada por el flujo de agua a través de la presa) o erosión superficial (causada por la acción del viento, el agua y la vegetación sobre la superficie de la presa).

## Los factores de seguridad son inciertos

Los factores de seguridad para la presa de estériles de planta propuesta se calculan utilizando el método de equilibrio límite basado en la geometría de la presa, las presiones de agua de poro a lo largo de la presa y su cimentación, la posición del nivel freático y las propiedades geotécnicas (densidad, ángulo de fricción, cohesión) de todos los materiales que conformarían la presa, los estériles de planta confinados y la cimentación. Debe quedar claro que, cuanto mayor sea la incertidumbre en los parámetros geotécnicos, mayor será la incertidumbre en el factor de seguridad.

En el caso de la presa de estériles de planta en la mina propuesta Touro, los parámetros geotécnicos de los estériles de mina NAG que se utilizaría para construir la presa son completamente desconocidos, lo que se reconoce tanto en el EIA como en la evaluación del IGME (2022).

De acuerdo con el EIA, “Dado que no se dispone de ningún tipo de ensayo realizado para determinar las características de la puesta en obra de los estériles NAG que serán utilizados para la construcción del dique, se deberán especificar sus características de compactación (humedad óptima y densidad) durante la fase de construcción para poder definir el grado de compactación que deberán tener”. De acuerdo con IGME (2022), “Los estériles de mina NAG que serán utilizados para la construcción del dique no han sido caracterizados mediante ningún tipo de ensayo de compactación in situ, aspecto que hay que solucionar durante la extracción de material para la construcción del dique, aspecto que es muy importante” (énfasis en el original).

En resumen, los parámetros geotécnicos del material de construcción de la presa, los cuales son los parámetros de entrada más importantes de todos, no se midieron y ni siquiera se justificaron de ninguna manera (por ejemplo, mediante comparación con los valores típicos para los tipos de roca particulares). Sobre esa base, los factores de seguridad indicados en el EIA (ver Fig. 21) deben considerarse altamente inciertos.



## Los factores de seguridad no cumplen con los estándares internacionales

El EIA afirma que los factores de seguridad superan los requisitos mínimos de ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas) tanto para la carga estática como para la carga pseudoestática (carga en respuesta al terremoto de diseño) (ver Fig. 21). Según el EIA, el factor de seguridad mínimo requerido por ANCOLD es 1,3 para carga estática y 1,1 para carga pseudoestática (ver Figs. 21-22).

El autor no ha podido localizar el documento de ANCOLD que se cita en el EIA (“ANCOLD (2002)”) (ver Fig. 22) y el documento no figura en ninguna de las listas de referencias que acompañan al EIA. Los factores mínimos de seguridad anteriores son incorrectos o están desactualizados, ya que ANCOLD exige un factor mínimo de seguridad de 1,5 desde al menos 2012 (ANCOLD, 2012, 2019; ver Fig. 23).

<b>TABLA 24.1.- FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS CON Y SIN PISTA EMBUDO</b>				
<b>Hipótesis</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD</b>			
	<b>Condiciones estáticas</b>	<b>FS mínimo requerido ANCOLD</b>	<b>Condiciones pseudo-estáticas</b>	<b>FS mínimo requerido ANCOLD</b>
<b>CON Pista Embudo</b>	1,454	1,3	1,342	1,1
<b>SIN Pista Embudo</b>	1,331		1,237	

*Figura 21. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) establece que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 serían mayores que el factor de seguridad mínimo requerido por ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas). Sin embargo, el factor de seguridad mínimo de 1,3 que exige ANCOLD es incorrecto o está desactualizado (ver Fig. 22). El factor de seguridad mínimo que exige ANCOLD es de 1,5 desde 2012 (ver Fig. 23), por lo que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 no cumplirían con los estándares de ANCOLD. Además, el factor de seguridad mínimo de ANCOLD de 1,3, tal como se indica en el EIA, se aplicaría únicamente al período de construcción de la presa, no al período de operación de la presa (ver Fig. 22). Aunque las presas de estériles de planta suelen estar en construcción de forma continua durante todo el período de operación, se entiende que un factor de seguridad más bajo para el período de construcción sería aplicable únicamente antes de que se emplazaran estériles de planta detrás de la presa. Por último, dado que no se han medido las propiedades geotécnicas del material de construcción de la presa (estériles de mina NAG), los factores de seguridad calculados para la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 deben considerarse inciertos. Una pista embudo es una estructura construida a lo largo del pie de una presa que canaliza el agua hacia un estanque de sedimentación. Tabla de CRS Ingeniería (2023a).*



Por lo tanto, no es correcto afirmar que los factores de seguridad previstos para la presa de estériles de planta en la mina propuesta Touro excederían los factores de seguridad mínimos requeridos por ANCOLD.

En realidad, la tabla resumen de los factores de seguridad mínimos exigidos por “ANCOLD (2002)” establece un factor de seguridad mínimo de 1,3 sólo para la fase de construcción y un factor de seguridad mínimo de 1,5 para el largo plazo (ver Fig. 22). El documento de orientación actual de ANCOLD no establece un factor de seguridad inferior para la fase de construcción (ver Fig. 23).

Aunque normalmente las presas de estériles de planta están en construcción continua o se construyen en etapas durante todo el período de operación (ver Figs. 8a-c), muchos

Condición	Factor de Seguridad Recomendado
Largo Plazo – Post Cierre	1,5
Sismo	1,1
Construcción	1,3

**Tabla 5.1.I.- Factores de seguridad recomendados (ANCOLD, 2002).**

*Figura 22. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) establece que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 serían mayores que el factor de seguridad mínimo requerido por ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas). Sin embargo, el factor de seguridad mínimo de 1,3 que exige ANCOLD es incorrecto o está desactualizado (ver Fig. 21). El factor de seguridad mínimo que exige ANCOLD es de 1,5 desde 2012 (ver Fig. 23), por lo que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 no cumplirían con los estándares de ANCOLD. Además, el factor de seguridad mínimo de ANCOLD de 1,3, tal como se indica en el EIA, se aplicaría únicamente al período de construcción de la presa, no al período de operación de la presa (ver Fig. 21). Aunque las presas de estériles de planta suelen estar en construcción de forma continua durante todo el período de operación, se entiende que un factor de seguridad más bajo para el período de construcción sería aplicable únicamente antes de que se emplazaran estériles de planta detrás de la presa. Tabla de CRS Ingeniería (2023a). El autor no ha podido localizar el documento citado como “ANCOLD, 2002” y dicho documento no figura en ninguna de las listas de referencias del EIA.*



documentos de orientación y regulaciones especifican que cualquier factor de seguridad inferior para la fase de construcción se aplica al período anterior a cualquier depósito de estériles de planta o agua, no a la construcción continua que ocurre durante toda la fase operativa.

Por ejemplo, las regulaciones brasileñas sobre presas de estériles de planta especifican un factor de seguridad mínimo de 1,3 en el “*Final de construção*” [Fin de la construcción], pero un factor de seguridad mínimo de 1,5 para “*Operação com rede de fluxo em condição normal de operação, nível máximo do reservatório*” [Operación con red de flujo en condiciones normales de operación, nivel máximo del embalse] (ABNT, 2017). Las regulaciones brasileñas aclaran entonces que “*Etapas sucessivas de barragens alteadas*

Condición de Carga (Nota 1)	Mínimo Recomendado para Presas de Estériles de Planta	Resistencia al corte que se utilizará para la evaluación
Drenada a largo plazo	1,5	Resistencia Efectiva
No drenada a corto plazo (pérdida potencial de contención)	1,5	Resistencia Consolidada no Drenada
No drenada a corto plazo (sin pérdida potencial de contención)	1,3	Resistencia Consolidada no Drenada
Post-sísmica	1,0 – 1,2 (Nota 2)	Resistencia al Corte Post-sísmica (Nota 3)

*Nota 1 Ver la Sección 6.1.3 para obtener una descripción de las condiciones de carga*  
*Nota 2 Debe relacionarse con la confianza en la selección de la resistencia al corte residual. 1,0 puede ser adecuado para su uso con resultados de límite inferior.*  
*Nota 3 Resistencia al corte drenada/no drenada reducida cíclicamente y/o resistencia al corte residual licuada para materiales potencialmente licuables.*

*Figura 23. El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) establece que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 serían mayores que el factor de seguridad mínimo requerido por ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas). Sin embargo, el factor de seguridad mínimo de 1,3 que exige ANCOLD es incorrecto o está desactualizado (ver Fig. 21). El factor de seguridad mínimo que exige ANCOLD es de 1,5 desde 2012, por lo que los factores de seguridad de la presa en el depósito de estériles de planta DEP1 no cumplirían con los estándares de ANCOLD. Además, el factor de seguridad mínimo de ANCOLD de 1,3, tal como se indica en el EIA, se aplicaría únicamente al período de construcción de la presa, no al período de operación de la presa (ver Fig. 22). Aunque las presas de estériles de planta suelen estar en construcción de forma continua durante todo el período de operación, se entiende que un factor de seguridad más bajo para el período de construcción sería aplicable únicamente antes de que se emplazaran estériles de planta detrás de la presa. Tabla de CRS Ingeniería (2023a).*





*com rejeitos não podem ser analisadas como 'final de construção', devendo atender aos fatores de segurança mínimos estabelecidos para as condições de operação” [Las sucesivas etapas de presas levantadas con estériles de planta no pueden analizarse como 'fin de la construcción y deben cumplir con los factores de seguridad mínimos establecidos para las condiciones de operación] (ABNT, 2017).*

Como segundo ejemplo, las regulaciones sobre presas de estériles de planta en Columbia Británica especifican un factor de seguridad mínimo de 1,5 durante “Operations and Closure” [Operaciones y Cierre] y permitir un factor de seguridad mínimo de 1,3 sólo “Prior to storage of water and tailings” [Previo al almacenamiento de agua y estériles de planta] (Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation (British Columbia, Canada) [Ministerio de Energía, Minas e Innovación Baja en Carbono (Columbia Británica, Canadá)], 2024).

En resumen, el factor de seguridad calculado para la presa de estériles planta en la mina propuesta Touro no cumple con el estándar de ANCOLD por dos razones. En primer lugar, el factor de seguridad mínimo ha sido 1,5 desde 2012 (ver Fig. 23). En segundo lugar, incluso el valor anterior de 1,3 (ver Fig. 22) se aplicaba únicamente al período de construcción anterior a la deposición de estériles de planta, no al período de operación, incluso si la construcción estaba en curso durante el período de operación.

De hecho, la investigación sobre la falla de la presa de estériles de planta en la mina Mount Polley (Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel, 2015) criticó duramente a la agencia reguladora por permitir que se aplicara un factor de seguridad mínimo para el final de la construcción al período operativo.

Según el panel de revisión, *“The larger issue of what minimum factor of safety should be required was addressed in a September 19, 2012 communication from MEM [Ministry of Energy and Mines] to MPMC [Mount Polley Mining Corporation] that deserves to be quoted at length: 'The factor of safety for the main embankment is only marginally above the short-term design criteria of 1.3 ... AMEC [consultants for MPMC] has interpreted Table 6-2 from the 2007 Dam Safety Guidelines somewhat differently than I have seen in the past. This table recommends a minimum factor of safety of 1.3 at the end of construction and before reservoir filling and a factor of safety of 1.5 at the normal reservoir level. AMEC has interpreted the construction period as the entire pre-closure period, and this is open to debate.'* Although questioning AMEC's interpretation of the Dam Safety Guidelines, MEM



*was prepared to accept FS = 1.3*” [La cuestión más amplia de qué factor de seguridad mínimo debería exigirse fue abordada en una comunicación del 19 de septiembre de 2012 del MEM [Ministerio de Energía y Minas] a la MPMC [Mount Polley Mining Corporation] que merece ser citada extensamente: 'El factor de seguridad del terraplén principal es sólo marginalmente superior al criterio de diseño de corto plazo de 1,3 ... AMEC [consultores de MPMC] ha interpretado la Tabla 6-2 de las Directrices de Seguridad de Represas de 2007 de manera algo diferente a lo que he visto en el pasado. Esta tabla recomienda un factor de seguridad mínimo de 1,3 al final de la construcción y antes del llenado del embalse y un factor de seguridad de 1,5 al nivel normal del embalse. AMEC ha interpretado el período de construcción como todo el período previo al cierre, y esto está abierto a debate.' Aunque cuestionó la interpretación de AMEC de las Directrices de Seguridad de Represas, MEM estaba dispuesto a aceptar FS = 1,3” (Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel, 2015).

Antes de la falla de la presa de estériles de planta en la mina Mount Polley, la agencia reguladora de Columbia Británica se dio cuenta de que habían cometido un error. De acuerdo con Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel (2015), *“Commenting on the implications of this value, MEM's remarks on July 29, 2013, echoed its previous concerns: 'The stability analyses indicate that the FOS for the Main Embankment only marginally achieves the short term CDA design criteria of 1.3. ... Previous correspondence from MEM has highlighted the difference in interpretation of the CDA Guidelines. AMEC has considered the construction period to be the entire pre-closure period while CDA Guidelines, Table 6-2 recommends a minimum FOS of 1.3 before reservoir filling, and a FOS of 1.5 at the normal reservoir level. MEM requires a commitment from Mount Polley that they are moving toward increasing these FOS for the main embankment as part of subsequent dam raises in an effort to move toward achieving a long term FOS equal to 1.5' ... This marked a major change in direction. A factor of safety of 1.5, not 1.3, would become the governing criterion”* [Al comentar las implicaciones de este valor, las observaciones del MEM del 29 de julio de 2013 se hicieron eco de sus preocupaciones anteriores: 'Los análisis de estabilidad indican que el FOS para el terraplén principal solo alcanza marginalmente los criterios de diseño CDA de corto plazo de 1,3. ... La correspondencia anterior del MEM ha resaltado la diferencia en la interpretación de las Directrices de CDA. AMEC ha considerado que el período de construcción es todo el período previo al cierre, mientras que las Directrices de CDA, Tabla 6-2 recomiendan un FOS mínimo de 1,3 antes del llenado del reservorio y un FOS de 1,5 en el nivel normal del reservorio. El MEM exige un compromiso por parte de Mount Polley de que están



avanzando hacia el aumento de estos FOS para el terraplén principal como parte de las posteriores elevaciones de la presa en un esfuerzo por avanzar hacia el logro de un FOS a largo plazo igual a 1,5' ... Esto marcó un cambio de dirección importante. Un factor de seguridad de 1,5, y no de 1,3, se convertiría en el criterio rector].

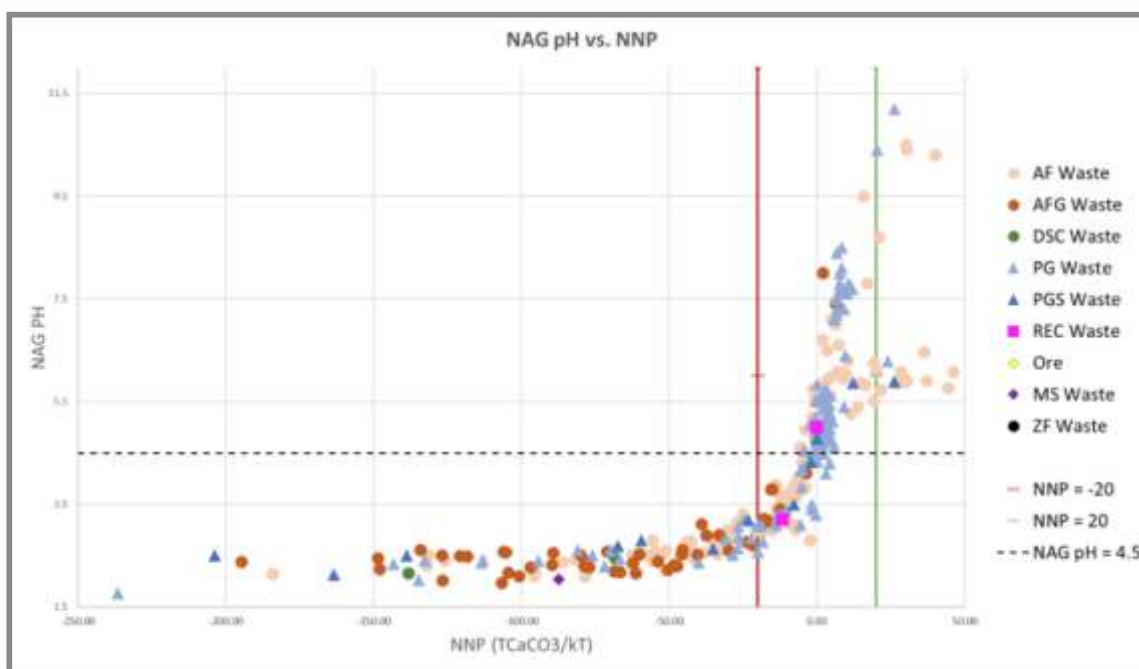
Los factores de seguridad pseudoestáticos para la presa de estériles de planta parecen superar tanto los estándares de ANCOLD antiguas como las actuales (ver Figs. 21-23). Sin embargo, esto es irrelevante porque los factores de seguridad pseudoestáticos en el EIA se calcularon utilizando el terremoto con un período de retorno de sólo 500 años como aceleración sísmica de diseño. Como lo enfatizó IGME (2022), para lograr coherencia con el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM), la aceleración sísmica de diseño debería haber correspondido al terremoto con un período de retorno de 10.000 años o al Terremoto Máximo Creíble (TMC).

Los factores de seguridad pseudoestáticos calculados (ver Fig. 21) deberían disminuir en caso de un terremoto más fuerte, pero no hay forma de estimar la magnitud de la disminución. Por lo tanto, no hay forma de determinar si la presa de estériles de planta tendría o no un factor de seguridad aceptable contra fallas sísmicas. La falta de conocimiento sobre los parámetros geotécnicos del material de construcción de la presa también debe tomarse en consideración al afirmar que se desconoce la estabilidad sísmica de la presa de estériles de planta.

## **No existe un plan para separar los estériles de mina nag y pag**

Una característica fundamental del plan de gestión de residuos mineros es la separación de los estériles de mina en roca NAG y roca PAG. Solo los estériles de mina NAG se pueden utilizar para la construcción de la presa de estériles de planta en DEP1 o el muro que rodea Las cortas rellenas. Si se mezclan estériles de mina PAG con el material de construcción de la presa o del muro, se podría producir un drenaje ácido de la mina desde la presa o el muro, sin que se produzcan impedimentos para el flujo de agua ácida y tóxica hacia las vías fluviales situadas aguas abajo. Sobre la base de lo anterior, resulta desconcertante que no exista un método sencillo y fiable para separar los estériles de mina NAG desde los estériles de mina PAG.

De acuerdo con el EIA (CRS Ingeniería, 2019c), los estériles de mina NAG y PAG no se pueden distinguir visualmente, no se pueden distinguir en función de la fuente de los estériles de mina (la corta de la que se extraen los estériles de mina) (ver Fig. 24a) y no se pueden distinguir en función de la litología de los estériles de mina (ver Fig. 24b). Como alternativa, el resumen del EIA (CRS Ingeniería, 2023a) dedica cinco páginas a la descripción de un elaborado procedimiento de laboratorio para distinguir los estériles de mina NAG desde los estériles de mina PAG. Dado que un procedimiento de este tipo no podría llevarse a cabo con los estériles de mina gramo por gramo o incluso tonelada por tonelada, es inevitable que una fracción desconocida del material de construcción de la presa y del muro sean estériles de mina PAG, y que cierta cantidad de drenaje ácido de mina fluya desde la presa de estériles de planta o el muro que rodea las cortas rellenas hacia las vías fluviales aguas abajo.

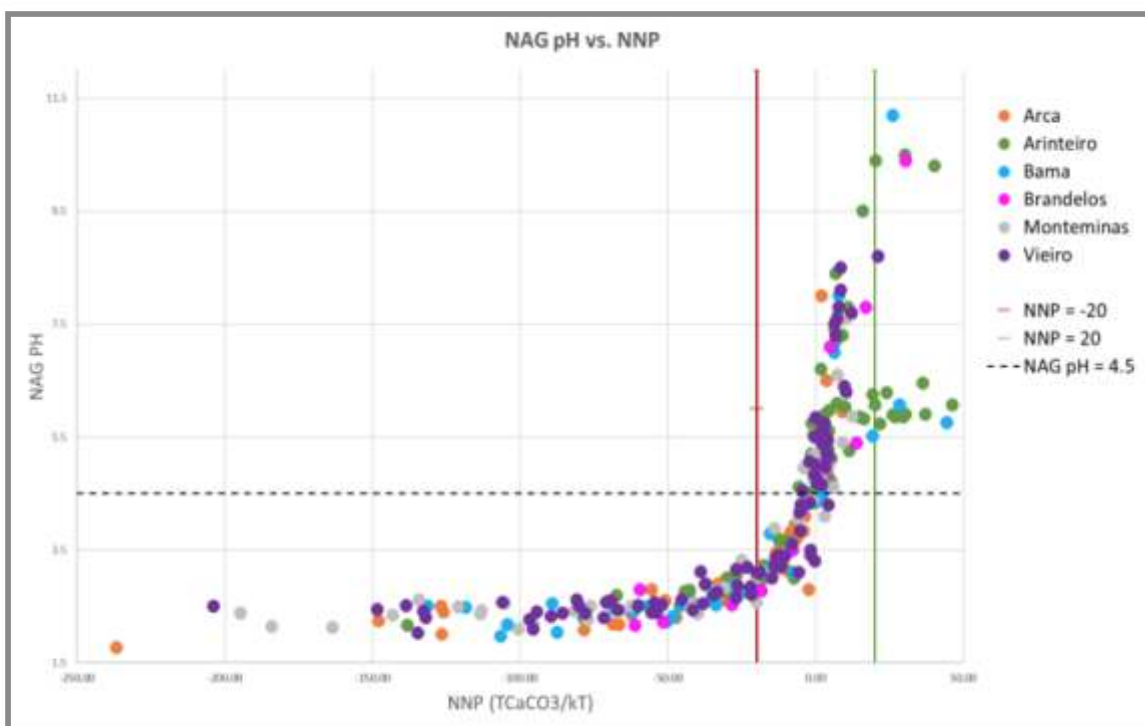


**Figura 24a.** Con base en un valor de corte de NAG pH = 4,5, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) estimó que el 56,6% de los estériles de mina será PAG (potencialmente generadora de ácido), mientras que el 43,4% será NAG (no generadora de ácido). Sin embargo, los estériles de mina NAG y PAG no se pueden separar en función de la litología y se requiere un procedimiento de laboratorio elaborado para determinar si los estériles de mina son PAG o NAG. Este procedimiento no se puede llevar a cabo gramo por gramo, por lo que es inevitable que algunos estériles de mina PAG se mezclen con los estériles de mina NAG que se utilizarán para construir la presa para el depósito de estériles de planta DEP1. Figura de CRS Ingeniería (2019c).



Alejano (2019) se opuso el argumento anterior de Emerman (2018) afirmando que los estériles de mina se probarían en bloques de 3,5 metros por 3,5 metros (con profundidad o espesor no especificado). De acuerdo con Alejano (2019), “Los estériles serán analizados de forma paralela al mineral dentro del proceso de control de leyes, donde por toma de muestras representativas y análisis geoestadísticos, se tendrá controlado en todo momento si los estériles extraídos pertenecen a una categoría u otra.

Esta metodología consiste en la realización de varios sondeos, con una malla de perforación muy cerrada, por ejemplo 3,5 m x 3,5 m, en la zona que se tiene previsto explotar, para muestrear y analizar la roca perforada en dichos sondeos y así, obtener una caracterización representativa del volumen de roca a explotar”.



**Figura 24b.** Con base en un valor de corte de NAG pH = 4,5, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) estimó que el 56,6% de los estériles de mina será PAG (potencialmente generadora de ácido), mientras que el 43,4% será NAG (no generadora de ácido). Sin embargo, los estériles de mina NAG y PAG no se pueden separar en función de la corta de la que se extrae la roca y se requiere un procedimiento de laboratorio elaborado para determinar si los estériles de mina son PAG o NAG. Este procedimiento no se puede llevar a cabo gramo por gramo, por lo que es inevitable que algunos estériles de mina PAG se mezclen con los estériles de mina NAG que se utilizarán para construir la presa para el depósito de estériles de planta DEP1. *Figura de CRS Ingeniería (2019c).*





Sin embargo, no se han realizado estudios que demuestren si se debe esperar que los bloques de 3,5 metros de lado estén compuestos en su totalidad por estériles de mina PAG o en su totalidad por estériles de mina NAG, o qué grado de mezcla de estériles de mina NAG y PAG se debe esperar que ocurra en bloques de este tamaño. En otras palabras, se desconoce por completo el grado de mezcla de estériles de mina NAG y estériles de mina PAG.

El enfoque para separar los estériles de mina PAG y NAG establecido por Alejano (2019) no se siguió en el EIA. De acuerdo con el EIA, “Por otro lado, no se ha contemplado el fallo en la clasificación del material PAG/NAG, crítica para una correcta gestión de los estériles, evitando así la problemática asociada a la generación de aguas ácidas del material PAG. Esto es posible gracias a que se han aplicado diferentes medidas preventivas que hacen altamente improbable su ocurrencia: se cuenta con un procedimiento específico de clasificación, se forma adecuadamente al personal implicado y, además, se dotará a los camiones de un sistema de control de localización por GPS con el que será posible verificar que la descarga de material se realiza en el punto adecuado.

En caso de error, la tongada podrá ser retirada rápidamente” (Novotec, 2021). En otras palabras, el EIA parece basarse enteramente en el elaborado procedimiento de laboratorio de cinco páginas (“procedimiento específico de clasificación”) que ya se ha analizado. No está del todo claro qué se logrará con la capacitación del personal y el equipamiento de los camiones con GPS. Tampoco está claro cómo se detectarán los errores y cómo se los detectará con la suficiente rapidez para poder trasladar los estériles de mina a la pila correcta.

## **No existe un plan de contingencia si no hay suficientes estériles de mina nag**

En la subsección anterior se explicó que la separación confiable de los estériles de mina en roca NAG y roca PAG es fundamental para la construcción segura de la presa de estériles de planta y el muro que rodea las cortas rellenas. Por supuesto, la existencia de suficientes estériles de mina NAG es igualmente fundamental para la construcción segura de la presa de estériles de planta y el muro que rodea las cortas rellenas. Con base en los flujos de masa descritos en el EIA (CRS Ingeniería, 2023a), la presa de estériles de planta y el muro en

conjunto requerirían 37,7 millones de toneladas de estériles de mina NAG (ver Tabla 2). Es importante señalar que una presa de estériles de planta segura requeriría mucho más material de construcción, ya que la presa de estériles de planta, tal como está diseñada actualmente, tendría un terraplén exterior excesivamente empinado. En cualquier caso, basándose en la generación esperada de 54 millones de toneladas de estériles de mina NAG, habría un margen de sólo 16,3 millones de toneladas adicionales de estériles de mina NAG, incluso utilizando el diseño inseguro actual.

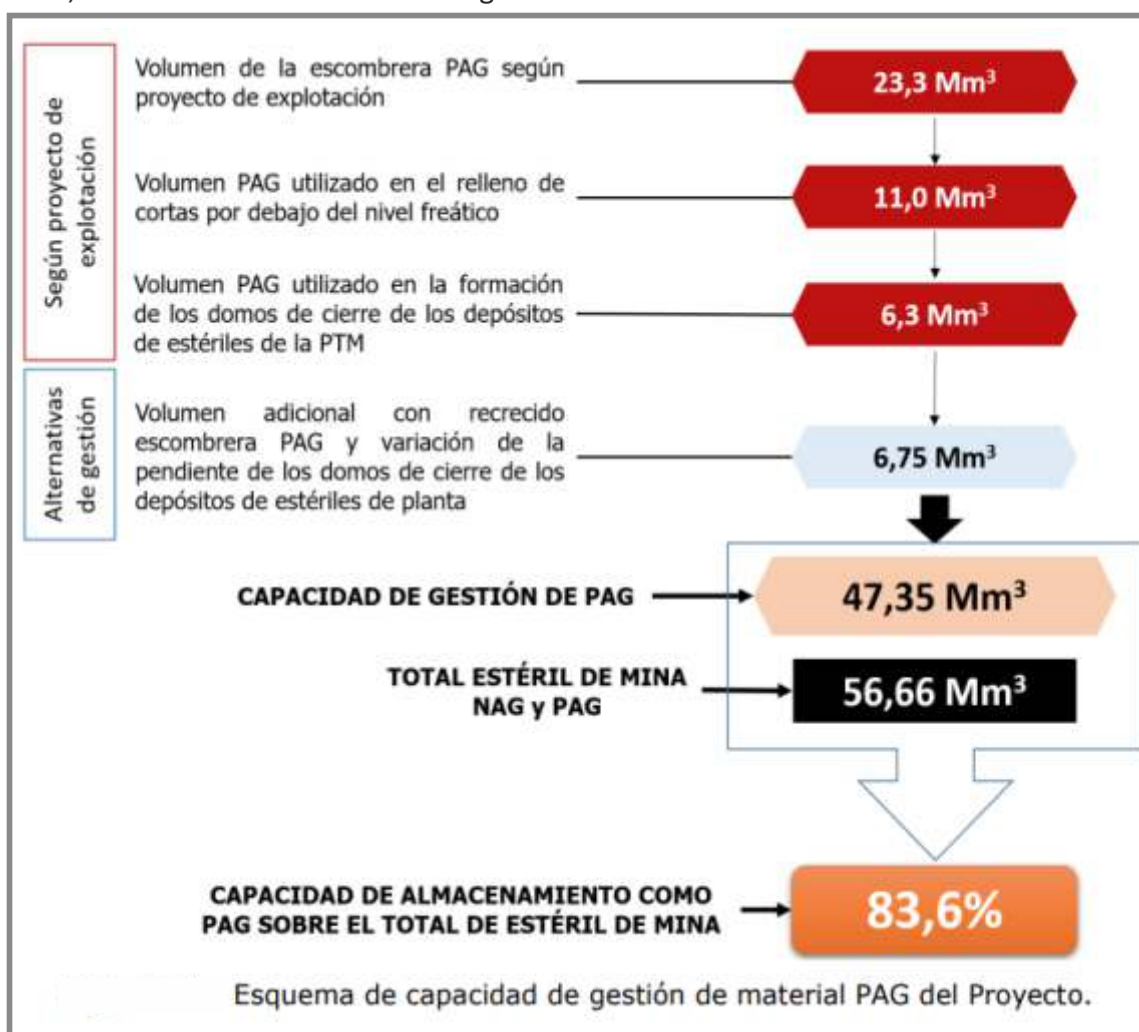


Figura 25. El plan de gestión de residuos mineros en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) se basa en el supuesto de que el 56,6% de los estériles de mina será PAG (potencialmente generadora de ácido), mientras que el 43,4% será NAG (no generadora de ácido), aunque a veces se supone que es 67% PAG y 33% NAG. El diagrama arriba muestra que se podrían encontrar suficientes lugares de almacenamiento para los estériles de mina PAG adicionales, incluso si hasta el 83,6% de los estériles de mina fueran PAG. Sin embargo, no hay ningún plan sobre qué hacer si no hay suficientes estériles de mina NAG para construir la presa para el depósito de estériles de planta DEP1. Figura de CRS Ingeniería (2021c).



El punto es que el EIA no incluye ningún plan de contingencia en caso de que no haya suficientes estériles de mina NAG. El EIA sí indica que hay lugares adicionales para los estériles de mina PAG, los cuales sólo necesitan almacenarse de manera segura y no son necesarios para la construcción de la infraestructura de la mina. En particular, el EIA identifica suficiente espacio de almacenamiento si el 83,6 % de los estériles de mina fueran estériles de mina PAG (ver Fig. 25).

Sin embargo, con base en 164,3 millones de toneladas de estériles de mina, si el 83,6 % de los estériles de mina fueran estériles de mina PAG, entonces sólo habría 26,9 millones de toneladas de estériles de mina NAG, las cuales serían 10,8 millones de toneladas menos de lo que se requiere para construir incluso un muro y una presa de estériles de planta insegura (ver Tabla 2).

La respuesta de Alejano (2019) a la inquietud antes mencionada expresada por Emerman (2018) fue que “Adicionalmente, existen canteras en la zona que podrían suministrar material a la empresa minera en caso de que se detecte que se pueda producir una eventualidad de este tipo, lo cual, por otro lado, parece poco probable a la luz de los resultados de los recientes estudios que se irán afinando en las primeras fases de ejecución del proyecto”. Por supuesto, simplemente señalar la existencia de canteras no constituye una solución, ya que no hay más información sobre la cantidad de material que se podría extraer de estas canteras, las propiedades geotécnicas de la roca que se podría obtener de estas canteras, o si la producción de estas canteras ya está comprometida en algún otro proyecto. Lo más importante es que una propuesta tan poco definida ignora la realidad económica de los proyectos mineros, ya que, normalmente, las presas de estériles de planta pueden construirse económicamente sólo si el material de construcción son residuos mineros generados por el proyecto minero y ya disponibles en el sitio de la mina.

La preocupación es que, si no hay suficientes estériles de mina NAG para la construcción de la presa, el terraplén, que ya es demasiado empinado, se hará aún más empinado para reducir la necesidad de material de construcción. Lo anterior es una parte crítica de la secuencia de eventos que llevaron a la falla de la presa de estériles de mina en la mina Mount Polley.

De acuerdo con Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel (2015), *“But since the material would now be sourced from mine waste rather than quarried, mine production and delivery had to be accommodated. Due to related restrictions, it was*



*planned to place the Zone C outslope to an 'interim' 1.4H:1V inclination—rather than the design basis 2.0H:1V—as a temporary expedient until mine waste delivery could catch up with construction. The steeper slope would be expanded and flattened to 2.0H:1V 'once the embankments have reached the Stage 5 design elevation' ... But instead of rectifying the interim steep slopes at this time as had been intended, such measures were left to future stages of embankment raising”* [Pero como ahora el material se obtendría de residuos mineros en lugar de extraerse de canteras, era necesario adaptar la producción y el suministro de la mina. Debido a restricciones relacionadas, se planeó ubicar el talud de salida de la Zona C en una inclinación 'provisional' de 1,4H: 1V (en lugar de la base de diseño de 2,0H: 1V) como un recurso temporal hasta que la entrega de residuos mineros pudiera alcanzar la construcción. La pendiente más pronunciada se ampliaría y aplanaría a 2,0H: 1V 'una vez que los terraplenes hayan alcanzado la elevación de diseño de la Etapa 5' ... Pero en lugar de rectificar las empinadas pendientes provisionales en este momento, como se había previsto, tales medidas se dejaron para futuras etapas de elevación del terraplén]. Este terraplén excesivamente empinado colocó un peso excesivo sobre la cimentación, lo que finalmente provocó la falla catastrófica de la presa de estériles de planta.

## **El plan de cierre del depósito de estériles de planta es inadecuado**

El plan de cierre para la prevención del drenaje ácido de mina a largo plazo del depósito de estériles de planta DEP1 en la mina propuesta Touro consiste en la colocación de una geomembrana (revestimiento plástico de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)) con un espesor de 1,5 mm sobre los estériles de planta PAG. El propósito de la geomembrana es evitar el contacto de los estériles de planta PAG con el oxígeno y agua. El EIA no indica cuándo se colocaría la geomembrana, pero presumiblemente debería ocurrir en algún momento entre el cese de la deposición de estériles de planta en DEP1 al final del séptimo año del proyecto y el cese del proyecto al final del decimosexto año.

Debería ser necesario un tiempo para el drenaje de los estériles de planta y la evaporación del agua intersticial antes de la colocación de la geomembrana a fin de evitar el almacenamiento permanente de estériles de planta húmedos. Sin embargo, en el EIA no se discute cuánto tiempo debería ser necesario para un drenaje y evaporación adecuados, ni tampoco se discute cómo se monitorearía el secado de los estériles de planta o qué



observación indicaría el momento apropiado para la colocación de la geomembrana.

Rodríguez et al. (2021), el primer autor del informe de IGME (2022), informó sobre la falta de secado de estériles de planta en las instalaciones de almacenamiento de estériles de planta más antiguas en toda España y dijo que este hallazgo era consistente con estudios en otras regiones.

De acuerdo con Rodríguez et al. (2021), *“In active TDs [Tailings Dams], the solid tailings are sometimes fully saturated during rainy periods, but below the superficial crust, the degree of saturation varies according to the input of water. Inactive or abandoned TDs are generally saturated at the surface, especially in their lagoon areas (Figs. 3, 4, 5, 6, 7), the lowest place on the surface of the TDs. The Sr [degree of saturation] of the solidified tailings in the cores from nine of these TD basins revealed that mine tailings at depths > 4 m remain almost saturated (Sr > 90%), even after 50 years after being abandoned, despite semiarid climate conditions (Fig. 10, Table S-2). These water contents are consistent with results in other tailings dams (Alonso and Gens, 2006; Lloret et al. 1999; Okusa et al. 1980)”* [En los PEPs [Presas de Estériles de Planta] activos, los estériles de planta sólidos a veces están completamente saturados durante los períodos de lluvia, pero debajo de la costra superficial, el grado de saturación varía según la entrada de agua. Los PEP inactivas o abandonadas generalmente están saturados en la superficie, especialmente en sus áreas lagunares (Figs. 3, 4, 5, 6, 7), el lugar más bajo en la superficie de las PEP. El Sr [grado de saturación] de los estériles de planta solidificados en los núcleos de nueve de estas cuencas de PEP reveló que los estériles de planta a profundidades > 4 m permanecen casi saturados (Sr > 90%), incluso después de 50 años de ser abandonados, a pesar de las condiciones climáticas semiáridas (Fig. 10, Tabla S-2). Estos contenidos de agua son consistentes con los resultados de otras presas de estériles de planta (Alonso y Gens, 2006; Lloret et al. 1999; Okusa et al. 1980)]. Cabe señalar que esperar décadas para la colocación de una geomembrana no es necesariamente la mejor solución, ya que podría ocurrir una oxidación significativa de minerales de sulfuro antes de la colocación de la geomembrana y una geomembrana pierde su efectividad una vez que la oxidación ya ha comenzado.

El problema de confiar en una geomembrana como único medio para prevenir el drenaje ácido de mina es que, en primer lugar, las geomembranas no son una solución completa porque todas tienen fugas y, en segundo lugar, con una vida útil del orden de décadas a un siglo como máximo, las geomembranas son una solución temporal a un problema permanente.





Respecto al primer punto, la Comisión Europea escribió, *“As an example, an impermeable basal structure made of geomembranes such as HDPE (High Density Poly Ethylene) liners can have a leakage rate of a few tens of litres per day and per hectare. McLeod calculated a leakage rate of 50 litres/ha/day assuming five holes per hectare in the geomembrane, a hydraulic conductivity of extractive waste of 10<sup>-7</sup> m/s and a 100-metre water head above the geomembrane (McLeod 2016)”* [Por ejemplo, una estructura basal impermeable hecha de geomembranas como revestimientos de PEAD (polietileno de alta densidad) puede tener una tasa de fuga de unas pocas decenas de litros por día y por hectárea. McLeod calculó una tasa de fuga de 50 litros/ha/día suponiendo cinco perforaciones por hectárea en la geomembrana, una conductividad hidráulica de los desechos extractivos de 10<sup>-7</sup> m/s y una columna de agua de 100 metros por encima de la geomembrana (McLeod 2016)] (Garbarino et al., 2018).

Respecto al segundo punto, la Comisión Europea escribió, *“A liner can never be guaranteed to prevent all leakage and its lifetime is difficult to predict: There is a lack of geotechnical and environmental data about the long-term field performance of impermeable artificial basal structures ... When geosynthetic materials are used, limiting factors for their applicability are: possible limited design life (50-100 years) for their ageing”* [Nunca se puede garantizar que un revestimiento evite todas las fugas y su vida útil es difícil de predecir: hay una falta de datos geotécnicos y ambientales sobre el rendimiento de campo a largo plazo de las estructuras basales artificiales impermeables ... Cuando se utilizan materiales geosintéticos, los factores limitantes para su aplicabilidad son: posible vida útil de diseño limitada (50-100 años) por su envejecimiento] (Garbarino et al., 2018). En respuesta a las inquietudes antes mencionadas expresadas por Emerman (2018), Alejano (2019) presentó un certificado firmado por el Gerente de Producto de un fabricante español de geomembranas afirmando que la vida útil del producto superaría los 100 años. Alejano (2019) agregó que, aunque no consta en el certificado firmado, *“Pero la misma compañía explica que, aplicando el modelo de Arrhenius para la predicción de la vida útil de una geomembrana PEAD, considerando una temperatura de 20°C, esta puede conservar el 50% de sus propiedades después de 500 años”* (énfasis en el original). Alejano (2019) no explicó la base por la que el fabricante español de geomembranas estaba en desacuerdo con el documento de orientación de la Comisión Europea (Garbarino et al., 2018).

Respecto a la cita anterior de Alejano (2019), una consideración adicional es: ¿Qué significa decir que una geomembrana conserva el 50% de sus propiedades y cuál sería la utilidad de



dicha geomembrana? Por ejemplo, si la geomembrana tuviera un 50% de agujeros, no tendría ningún valor. En la misma línea, Alejano (2019) se burla de las preocupaciones de Emerman (2018) al comparar la supuesta corta vida de una geomembrana con la larga vida de la basura plástica.

De acuerdo con Alejano (2019), “Además, destacar que las bolsas de plástico están fabricadas con polietileno de baja densidad. Aun así, estas bolsas tardan más de un siglo en descomponerse totalmente, siendo su tiempo de degradación estimado de 150 años”. En este sentido, Alejano (2019) confunde dos conceptos. En el caso de la basura plástica, lo que preocupa es la existencia continua de la basura como objeto visible, no el número de agujeros que tenga ni su integridad estructural.

En el caso de una geomembrana, la preocupación no es simplemente la existencia del revestimiento de plástico, sino la presencia de agujeros en el plástico. Por lo tanto, no es difícil imaginar que un revestimiento de PEAD podría estar lleno de agujeros después de 50 años, mientras que la basura de PEBD todavía estaban presentes como un objeto visible después de 150 años.

El problema general con el plan de cierre del depósito de estériles de planta es que no existe un plan de monitoreo, inspección, mantenimiento y revisión a largo plazo del depósito de estériles de planta. En la subsección “Presas de Estériles de Planta vs. Presas de Retención de Agua” se analizó que las instalaciones de almacenamiento de estériles de planta requieren monitoreo, inspección, mantenimiento y revisión a perpetuidad o hasta que se hayan eliminado todos los modos de falla creíbles. La necesidad de un cuidado permanente de las instalaciones de almacenamiento de estériles de planta es, de hecho, la visión oficial de la industria minera.

Según el SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración]) Tailings Management Handbook [Manual de Gestión de Relaves], *“The mining industry has a significant challenge in that these TSFs [Tailings Storage Facilities] will last for perpetuity. Unfortunately, humans have no experience in designing facilities to last forever, so responsible tailings management is required for as long as the TSF exists”* [La industria minera se enfrenta a un importante desafío, ya que estas TSFs [Instalaciones de Almacenamiento de Estériles de Planta] durarán para siempre. Lamentablemente, los seres humanos no tienen experiencia en el diseño de instalaciones que duren para siempre, por lo que se requiere una gestión responsable de los estériles de



planta mientras exista la TSF] (Morrison y Lammers, 2022). En contraste con el punto de vista de la industria minera, Alejano (2019) escribe, “Se entiende que existe un plan de gestión a largo plazo acorde con la legislación y que durará como mínimo 30 años. Obviamente dicha legislación española no legisla, ni parecería lógico hacerlo, sobre la gestión a perpetuidad”. En el contexto de la continua presencia humana en Galicia, 30 años no es mucho tiempo, y probablemente ni siquiera sea suficiente para ver el comienzo de la falla de la geomembrana.

## **El plan para el almacenamiento permanente de estériles de mina pag es inadecuado**

La escombrera PAG también se cubriría con una geomembrana (revestimiento plástico de HDPE) con un espesor de 1,5 mm después del cierre para prevenir el drenaje ácido de mina. Por lo tanto, las mismas preocupaciones expresadas en la subsección anterior con respecto a la dependencia de un revestimiento plástico como el único medio para prevenir el drenaje ácido de mina desde el depósito de estériles de planta también se aplicarían a la escombrera PAG.

En el caso de los estériles de mina PAG en las cortas rellenadas, se evitaría el drenaje ácido de mina colocando una capa alcalina al nivel freático (ver Fig. 14a) y colocando los estériles de mina PAG debajo del nivel freático (ver Figs. 14b-c). El problema con el primer método es que el EIA no incluye ningún cálculo de la cantidad de material alcalino requerido ni ningún plan sobre qué hacer después de que el material alcalino se agote con el paso del tiempo (años, décadas, siglos). El problema con el segundo método es que el EIA no incluye ningún plan sobre qué hacer si el nivel freático disminuye, lo que ciertamente es posible ya que la expectativa es que los estériles de mina PAG se almacene de manera permanente en la corta agotada (ver Figs. 14b-c).

Alejano (2019) respondió a las inquietudes antes mencionadas expresadas por Emerman (2018), aunque sus respuestas no son tranquilizadoras. De acuerdo con Alejano (2019), “En cuanto a un hipotético agotamiento del material alcalino que será colocado, en las cortas de Arinteiro y Vieiro, durante el acondicionamiento de estas para almacenar estériles de planta, indicar que, para consumir las toneladas de material alcalino que serán depositadas, harían falta cantidades enormes de aguas ácidas.



Esto podría darse si las aguas subterráneas fueran ácidas, pero en el caso de las aguas subterráneas del entorno del Proyecto Touro, estas presentan un pH medio de 6,8 (prácticamente neutro), por lo que el poder de disolución de estas aguas sobre el material alcalino es nulo”.

La cotización anterior no constituye un cálculo y no responde al propósito de la capa alcalina, lo cual es neutralizar la acidez generada por la oxidación de los minerales sulfurados dentro de los estériles de mina PAG, no neutralizar la totalidad de las aguas subterráneas en las cercanías del proyecto minero.

Con respecto a la posibilidad de una disminución a largo plazo del nivel freático, la cual podría resultar en la exposición de los estériles de mina PAG al oxígeno, Alejano (2019) escribió, “Destacar que, para tener un conocimiento detallado de la posición del nivel freático del entorno, se han tomado medidas piezométricas desde el año 2016 y se seguirán realizando dichas medidas en el futuro, incluyendo nuevos puntos de medida que pudieran ser propuestos una vez aprobado el proyecto, de manera que se consiga un conocimiento detallado de la posición del nivel freático en las diferentes zonas, asegurando la disposición de los ESTÉRILES DE MINA PAG por debajo de la zona de fluctuación del agua subterránea” (énfasis en el original).

Sin embargo, la cuestión no es la posición del nivel freático en el momento actual, sino todas las posibles fluctuaciones del nivel freático durante los próximos miles de años o durante el tiempo que la gente siga viviendo en Galicia.



## CONCLUSIONES EN RESUMEN

---

A continuación se repiten las 14 preguntas planteadas en la sección “Preguntas”, seguidas de respuestas muy breves. Se pueden encontrar respuestas más completas en la sección “Respuestas”.

### **1) ¿Existe una separación suficiente entre la presa de estériles de planta y los núcleos de población que se encuentran aguas abajo?**

No, la presa de estériles de planta se situaría a tan sólo 197 metros y 252 metros de los núcleos de población de Os Torreis de Arriba y Arinteiro, respectivamente. Algunas jurisdicciones exigen una separación mínima de 10 kilómetros, que puede aumentarse hasta 25 kilómetros en algunas circunstancias. Incluso China, a menudo considerado un país con estándares débiles en materia ambiental y de seguridad pública, exige una separación mínima de 1.000 metros.

### **2) ¿El análisis de rotura de presa tuvo en cuenta adecuadamente todos los modos de falla creíbles?**

No, el análisis de rotura de presa no tuvo en cuenta adecuadamente todos los modos de falla creíbles, lo que es un requisito del Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM) y otros estándares internacionales. En particular, no se tuvo en cuenta la posibilidad de falla debida a la actividad sísmica o a una falla de la cimentación.

### **3) ¿El análisis de rotura de presa estimó correctamente la distancia de escorrentía de los estériles de planta después de una falla de la presa de estériles de planta?**

No, aunque el análisis de rotura de presa estimó una distancia de escorrentía de 2,788 kilómetros, basándose en un modelo estadístico de fallas pasadas de presas de estériles de planta, la distancia de escorrentía será de 46 kilómetros en el escenario más probable (liberación del 28% de los estériles de planta almacenados) con la contaminación de 33 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza.

Con la liberación del 37% de los estériles de planta almacenados, los estériles de planta llegarían a la ría de Arousa durante el evento inicial, contaminando la ría y 49 kilómetros del sistema fluvial Ulla-Deza. Incluso en el escenario más probable, los procesos fluviales normales posteriores al evento inicial acabarán transportando los estériles de planta hasta la ría de Arousa.





#### **4) ¿El análisis de rotura de presa estimó correctamente la velocidad del flujo de estériles de planta después de una falla de la presa de estériles de planta?**

No, el análisis de rotura de presa estimó una velocidad de flujo de estériles de planta de 0,3485 kilómetros por hora. En cambio, con base en las roturas de presas de estériles de planta anteriores, la velocidad máxima de la inundación de estériles de planta (alcanzada cerca del comienzo de la rotura de la presa) superará los 100 kilómetros por hora. La velocidad media durante la escorrentía inicial (estimada en 46 kilómetros en el escenario más probable) será de unos 35 kilómetros por hora. Después de la escorrentía inicial, los procesos fluviales normales transportarán los estériles de planta aguas abajo a unos 5 kilómetros por hora.

#### **5) ¿Se ha realizado una clasificación correcta de las consecuencias de falla de la presa de estériles de planta?**

No, el EIA clasificó las consecuencias de falla como Muy Altas, las cuales implican la pérdida potencial de menos de 100 vidas. Una falla de la presa de estériles de planta afectaría a los núcleos de población de Arinteiro, Os Torreis de Arriba, Tribas, A Goleta, As Goritas y Os Torreis de Abaixo, todas ellas en un radio de 1,5 kilómetros de la presa, junto con muchos otros posibles núcleos de población situados aguas abajo. Dado que la población combinada de sólo Arinteiro y A Goleta es de 117 habitantes, las consecuencias de falla deben clasificarse como Extremas.

#### **6) ¿Son las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo inherentemente seguras?**

No, las presas de estériles de planta construidas utilizando el método aguas abajo no son inherentemente seguras. Hay al menos 30 fallas catastróficas documentadas de presas de estériles de planta aguas abajo, incluida la falla de la presa de estériles de planta de la mina Los Frailes en Aznalcóllar, España, que causó el desastre en el Parque Nacional de Doñana en 1998 al liberar 6,8 millones de metros cúbicos de estériles de planta con una distancia de escorrentía de 41 kilómetros.

También se han documentado al menos 53 fallas catastróficas de presas de retención de agua construidas en escollera, las cuales son básicamente lo mismo que presas de estériles de planta construidas con estériles de mina utilizando el método aguas abajo. Entre las fallas de presas de retención de agua construidas en escollera en España se encuentran la falla de la presa Odiel en 1970 y la falla de la presa Tous en 1982, que provocó ocho víctimas mortales.



**7) ¿Los criterios de diseño sísmicos y de inundaciones para la presa de estériles de planta cumplen con los estándares internacionales?**

No, la presa de estériles de planta está diseñada para soportar únicamente inundaciones y terremotos con períodos de retorno de 500 años. De acuerdo con el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (EGGRIM), la presa de estériles de planta debe estar diseñada para soportar la inundación con un período de retorno de 10.000 años o la Inundación Máxima Probable (PMF), y el terremoto con un período de retorno de 10.000 años o el Terremoto Máximo Creíble (TMC).

**8) ¿Son las inclinaciones del terraplén exterior de la presa de estériles de planta suficientemente suaves?**

No, las inclinaciones del terraplén exterior de la presa de estériles de planta serían de 1V: 2H, la cual sería mucho más pronunciada que el estándar del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de 1V: 5H para todas las presas y el estándar de la Comisión Europea de 1V: 3H para presas de estériles de planta.

**9) ¿Se conocen con suficiente exactitud los factores de seguridad de la presa de estériles de planta?**

No, los factores de seguridad de la presa de estériles de planta son inciertos porque no se han realizado mediciones de los parámetros geotécnicos de los estériles de mina NAG, los cuales serían el material de construcción de la presa.

**10) ¿Cumplen los factores de seguridad de la presa de estériles de planta con los estándares internacionales?**

No, los factores de seguridad estáticos están en el rango de 1,331 a 1,454. Aunque el EIA afirma que el factor de seguridad mínimo requerido por las directrices de ANCOLD (Comité Nacional Australiano de Grandes Represas) es 1,3, el valor mínimo real es 1,5.

**11) ¿Existe un plan viable para separar los estériles de mina PAG y NAG?**

No, los estériles de mina PAG y NAG no se pueden separar ni por origen ni por litología. Dado que sólo existe un procedimiento de laboratorio elaborado para separar los estériles de mina PAG y NAG, es inevitable que algunos estériles de mina PAG se mezclen con los estériles de mina NAG que se utilizarían para construir la presa de estériles de planta y la presa alrededor de las cortas rellenadas.



**12) ¿Existe un plan de contingencia para construir la presa de estériles de planta si no hay suficientes estériles de mina NAG?**

No, no existe un plan de contingencia para construir la presa de estériles de planta si no hay suficientes estériles de mina NAG. El único plan de contingencia mencionado en un informe de consultoría para la empresa minera es que se buscará otra fuente de material para la construcción de la presa.

**13) ¿Existe un plan de cierre adecuado para el depósito de estériles de planta DEP1?**

No, el plan de cierre permanente del depósito de estériles de planta es inadecuado, ya que el único medio para prevenir el drenaje ácido de mina es la colocación de un revestimiento plástico, lo cual tendría una eficacia limitada y una vida útil limitada (50-100 años). Además, no existe un plan de monitoreo, inspección, mantenimiento y revisión permanentes de la presa de estériles de planta.

**14) ¿Existe un plan adecuado para el almacenamiento permanente de los estériles de mina PAG?**

No, en el caso de la escombrera PAG, el único medio para prevenir el drenaje ácido de mina es la colocación de un revestimiento plástico, lo cual tendría una eficacia limitada y una vida útil limitada (50-100 años). También no existe un plan adecuado para el almacenamiento permanente de los estériles de mina PAG en las cortas agotadas, ya que las únicas opciones discutidas para la prevención del drenaje ácido de mina son la colocación de material alcalino en el nivel freático y la colocación de los estériles de mina PAG debajo del nivel freático.

Sin embargo, el EIA no incluye ningún cálculo de la cantidad de material alcalino necesario ni ningún plan sobre qué hacer una vez que, con el transcurso del tiempo (años, décadas, siglos), se agote el material alcalino. Además, el EIA no incluye ningún plan sobre qué hacer si el nivel freático disminuye, lo que sin duda es posible, ya que la expectativa es que los estériles de mina PAG se almacenen en la corta agotada a perpetuidad.



## RECOMENDACIONES

---

En este informe se formulan las siguientes recomendaciones:

- 1) Con base en las deficiencias del plan de gestión de residuos mineros, el órgano competente de la Xunta de Galicia debería rechazar una vez más la propuesta para la mina de cobre Touro y O Pino presentada por la mercantil de Cobre San Rafael S.L.
- 2) Si una propuesta de mina ha sido rechazada previamente, y ha sido clasificada con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) – Desfavorable, sobre la base de deficiencias en el plan de gestión de residuos mineros, la Xunta de Galicia debería descartar la nueva presentación de una propuesta para la misma mina con un plan de gestión de residuos mineros prácticamente idéntico.



## **SOBRE EL AUTOR**

---

El Dr. Steven H. Emerman tiene un Bachelor of Science (B.S.) en Matemáticas de la Universidad Estatal de Ohio, un Máster (M.A.) en Geofísica de la Universidad de Princeton, y es Doctor (Ph.D.) en Geofísica por la Universidad de Cornell.

El Dr. Emerman tiene 31 años de experiencia en la enseñanza de hidrología y geofísica, incluida la enseñanza como profesor Fulbright en Ecuador y Nepal, y tiene más de 70 publicaciones revisadas por expertos en estas áreas.

Desde 2018 Dr. Emerman ha sido el propietario de Malach Consulting, la cual se especializa en evaluar los impactos ambientales de la minería para las empresas mineras, así como para agencias gubernamentales y no gubernamentales.

El Dr. Emerman ha evaluado instalaciones de almacenamiento de estériles de planta propuestas y existentes en Norteamérica, Sudamérica, Europa, África, Asia y Oceanía, y ha testificado sobre instalaciones de almacenamiento de estériles de planta ante el Subcomité de Pueblos Indígenas de los Estados Unidos de la Cámara de Representantes de los E.E. U.U., el Parlamento Europeo, el Foro Permanente para las Cuestiones Indígenas de las Naciones Unidas, la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, la Comisión Permanente de Derechos Humanos de la Cámara de Diputados de la República Dominicana, y el Comité de Medio Ambiente, Clima y Legado del Senado de Minnesota.

El Dr. Emerman es el anterior presidente del Subcomité de Cuerpo de Conocimientos de la Sociedad de Presas de EE. UU. y es uno de los autores de La Seguridad Ante Todo: Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves.





## REFERENCIAS

---

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas [Asociación Brasileña de Normas Técnicas]), 2017. Mineração – e laboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos [Minería – y preparación y presentación de proyectos de presas para disposición de relaves, contención de sedimentos y almacenamiento de agua – Requisitos]: Norma Brasileira ABNT NBR 13.028, 3º ed., 22 p.

Alejano, L.R., 2019. Respuesta al informe “Evaluación del Plan de Almacenamiento de Estériles en el Proyecto Touro” realizado por el Dr. Steven H. Emerman: Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, noviembre de 2019, 43 p. Disponible en línea en: [https://minerostouropino.com/wpcontent/uploads/2021/06/Evaluacion\\_Plan\\_Almacenamiento\\_Esteriles\\_Proyecto\\_Touro-Leandro\\_Alejano..pdf](https://minerostouropino.com/wpcontent/uploads/2021/06/Evaluacion_Plan_Almacenamiento_Esteriles_Proyecto_Touro-Leandro_Alejano..pdf)

Alonso, E. E. y Gens, A., 2006a. Aznalcóllar dam failure. Part 1—Field observations and material properties [Falla de la presa Aznalcóllar. Parte 1—Observaciones de campo y propiedades de los materiales]: Geotechnique, vol. 56, pp. 165-183. Disponible en línea en: [https://www.researchgate.net/publication/274764387\\_Aznalcollar\\_dam\\_failure\\_Part\\_1\\_Field\\_observations\\_and\\_material\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/274764387_Aznalcollar_dam_failure_Part_1_Field_observations_and_material_properties)

Alonso, E. E. and Gens, A., 2006b. Aznalcóllar dam failure. Part 3 —Dynamics of the motion [Falla de la presa Aznalcóllar. Parte 3—Dinámica del movimiento]: Geotechnique, vol. 56, pp. 203–210. Disponible en línea en: [https://www.researchgate.net/publication/39672727\\_Aznalcollar\\_dam\\_failure\\_Part\\_3\\_Dynamics\\_of\\_the\\_motion](https://www.researchgate.net/publication/39672727_Aznalcollar_dam_failure_Part_3_Dynamics_of_the_motion)

ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams [Comité Nacional Australiano de Grandes Represas]), 2012. Guidelines on tailings dams—Planning, design, construction, operation and closure [Directrices sobre presas de relaves—Planificación, diseño, construcción, operación y cierre], 84 p. Disponible en línea en: <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/ancold-2012.pdf>



ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams [Comité Nacional Australiano de Grandes Represas]), 2019. Guidelines on tailings dams—Planning, design, construction, operation and closure—Addendum—July 2019 [Directrices sobre presas de relaves—Planificación, diseño, construcción, operación y cierre—Apéndice—julio de 2019], 11 p. Disponible en línea en:

<https://www.ancold.org.au/wp-content/uploads/2019/07/Tailings-Guideline-Addendum-July-2019.pdf>

A Nosa Terra [Nuestra Tierra], 1978. A Penouta—Escándalo mineiro a ceo aberto [Penouta— Escándalo de la minería a cielo abierto]: No. 25, 14-20 de julio de 1978, pp. 10-11. Disponible en línea en:

[https://consellodacultura.gal/mediateca/extras/CCG\\_fd\\_pub2211\\_ANosaTerra\\_n25\\_1978.pdf#page=10-11](https://consellodacultura.gal/mediateca/extras/CCG_fd_pub2211_ANosaTerra_n25_1978.pdf#page=10-11)

ASDSO (Association of State Dam Safety Officials [Asociación de Funcionarios Estatales de Seguridad de Represas]), 2024a. Case Study—Taum Sauk Dam (Missouri, 2005) [Estudio de Caso—Presa Taum Sauk (Misuri, 2005)]. Disponible en línea en:

<https://damfailures.org/case-study/taum-sauk-dam-missouri-2005/>

ASDSO (Association of State Dam Safety Officials [Asociación de Funcionarios Estatales de Seguridad de Represas]), 2024b. Case Study—Tous Dam (Spain, 1982) [Estudio de Caso—Presa Tous (España, 1982)]. Disponible en línea en:

<https://damfailures.org/case-study/tous-dam-spain-1982/>

Assembleia Legislativa de Minas Gerais [Asamblea Legislativa de Minas Gerais], 2019. Legislação Mineira (Lei 23291, de 25/02/2019) [Legislación Minera (Ley 23291 del 25 de febrero de 2019)]. Disponible en línea en:

<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=23291&ano=2019>

Blight, G.F., 2010. Geotechnical engineering for mine waste storage facilities [Ingeniería geotécnica para instalaciones de almacenamiento de residuos mineros]: CRC Press, Boca Raton, Florida, 634 p.

Boletín Oficial del Estado (España), 1996. Orden de 12 de marzo de 1996 por la que se aprueba el reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses, 11 p. Disponible en



línea en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?lang=es&id=BOE-A-1996-7319>

Canadian Dam Association [Asociación Canadiense de Represas], 2013. Dam safety guidelines 2007 (2013 edition) [Directrices de seguridad de represas 2007 (edición 2013)], 88 p.

Canadian Dam Association [Asociación Canadiense de Represas], 2019. Application of dam safety guidelines to mining dams (2019 edition) [Aplicación de directrices de seguridad de presas a presas mineras (edición 2019)], 61 p.

Canadian Dam Association [Asociación Canadiense de Represas], 2021. Boletín Técnico—Análisis de rotura de presas de relaves, 68 p.

Center for Science in Public Participation [Centro para la Ciencia en la Participación Pública], 2024. Tailings Dam Failures 1915 - 2024 as of 22Apr24 [Fallas en presas de relaves 1915 - 2024 al 22 de abril de 24]: Hoja de cálculo de Excel. Disponible en línea en: <http://www.csp2.org/tsf-failures-from-1915>

City Population [Población de Ciudad], 2024. Spain—Province of A Coruña [España—Provincia de A Coruña]. Disponible en línea en: <https://citypopulation.de/de/spain/localities/acoruna/>

Clohan, D. y E. Kidner, 2022. Chapter 14—Tailings breach studies and inundation mapping [Capítulo 14—Estudios de brechas de relaves y mapeo de inundaciones]: En K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestión de relaves—Un enfoque de ciclo de vida] (pp. 211-220), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración], Englewood, Colorado, 1004 p.

CRS Ingeniería, 2019a. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XI. Análisis del impacto del vertido sobre el medio del fluido sobrenadante del Depósito de Estériles (GEAMA): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, diciembre de 2019, 34 p.

CRS Ingeniería, 2019b. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo X. Informe de caracterización de residuos del proyecto minero



de Touro, para la evaluación de las características toxicológicas (AGQ Bioenergy): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, junio de 2019, 58 p.

CRS Ingeniería, 2019c. Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XXX. Resultados caracterización de rocas estériles Touro (Life Cycle Geo): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, 16 de diciembre de 2019, 149 p.

CRS Ingeniería, 2020a. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XVII. Proyecto constructivo del depósito de estériles DEP1 del Proyecto Cobre San Rafael. Fase Constructiva 1 (Subterra Ingeniería): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, noviembre de 2020, 1242 p.

CRS Ingeniería, 2020b. Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XXXI. Programa de caracterización de estériles resultado de las celdas de humedad 2019 (Life Cycle Geo): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, mayo de 2020, 146 p.

CRS Ingeniería, 2021a. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XVIII. Proyecto constructivo del depósito de estériles DEP1 del Proyecto Cobre San Rafael (Subterra Ingeniería): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, marzo de 2021, 1354 p.

CRS Ingeniería, 2021b. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XXVII. Adecuación del proyecto constructivo del DEP1 al Estándar Global sobre Relaves (Subterra Ingeniería): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, octubre de 2021, 96 p.

CRS Ingeniería, 2021c. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo IX. Manejo selectivo de los estériles de mina. Clasificación NAG/PAG (Cobre San Rafael): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, mayo de 2021, 231 p.

CRS Ingeniería, 2021d. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XXII. Proyecto constructivo de la escombrera PAG del Proyecto Cobre San Rafael (Subterra Ingeniería): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, marzo de 2021, 740 p.



CRS Ingeniería, 2023a. Proyecto Cobre San Rafael: Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, marzo de 2023, 441 p.

CRS Ingeniería, 2023b. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael: Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, marzo de 2023, 231 p.

CRS Ingeniería, 2023c. Plan de restauración de las superficies afectadas por el Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XIV. Clasificación del riesgo de las instalaciones de residuos (Cobre San Rafael): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, marzo de 2023, 20 p.

CRS Ingeniería, 2023d. Proyecto Cobre San Rafael—Anexo XIX. Estudio de la afección química en la red fluvial en la etapa de rehabilitación del entorno de Touro (GEAMA): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, 52 p.

Davies, M.P., 2002. Tailings impoundment failures—Are geotechnical engineers listening? [Fallas de confinamiento de relaves—¿Los ingenieros geotécnicos están prestando atención?]: Geotechnical News [Noticias Geotécnicas], noviembre de 2002, pp. 31-36. Disponible en línea en:

[https://miningquiz.com/pdf/Impoundments/Dam\\_failuresDavies2002.pdf](https://miningquiz.com/pdf/Impoundments/Dam_failuresDavies2002.pdf)

Departamento de Fundamentos de Seguridad en la Producción (China), 2020. 防范化解尾矿库安全风险工作方案 [Plan de trabajo para la prevención y resolución de riesgos de seguridad en balsas de relaves]: 2 de marzo de 2020, 12 p. Disponible en línea en: [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/24/content\\_5494834.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/24/content_5494834.htm)

Emerman, S.H., 2018. Evaluación del plan de almacenamiento de estériles en el 'Proyecto Touro' (Concesión de Explotación San Rafael n.o 2946), Galicia, España: December 28, 2018, 18 p.

Emerman, S.H., 2019. Análisis de riesgo de las presas de relaves en la mina Riotinto, Andalucía, España: Informe preparado elaborado a petición de London Mining Network [Red de Minería de Londres], 62 p. Disponible en línea en:

<https://www.ecologistasenaccion.org/289824/informe-analisis-de-riesgo-de-las-presas-de-relaves-en-la-mina-riotinto/>





Emerman, S.H., 2023a. Informe Técnico-Pericial de Revisión de un análisis de rotura de presa para la presa de estériles de planta en la mina de cobre propuesta Touro de Cobre San Rafael, Galicia, noroeste de España: Informe elaborado a petición de la Fundación Montescola y de Ecologistas en Acción, presentado el 15 de octubre de 2023, revisado el 6 de noviembre de 2023, 43 p

Emerman, S.H., 2023b. The Minnesota Prove It First bill and the myth of sulfide ore mining without environmental contamination [El proyecto de ley “Pruébalo primero” de Minnesota y el mito de la extracción de mineral de sulfuro sin contaminación ambiental]: Informe elaborado a petición de Friends of the Boundary Waters [Amigos de las Aguas Fronterizas], 43 p. Disponible en línea en: [https://www.friends-bwca.org/wp-content/uploads/Prove\\_It\\_First\\_Bill\\_Report\\_Emerman\\_Revised.pdf](https://www.friends-bwca.org/wp-content/uploads/Prove_It_First_Bill_Report_Emerman_Revised.pdf)

Emerman, S.H., 2024. Análisis de riesgos del recrecimiento previsto de las presas de estériles de planta de la mina de cobre Riotinto de Atalaya Mining, Andalucía, España: Informe elaborado a petición de Ecologistas en Acción, presentado el 29 de septiembre de 2024, revisado el 14 de octubre de 2024, 108 p.

Explotaciones Gallegas, S.L., 2018. Proyecto de drenaje temporal de la mina de Touro: septiembre de 2018, 230 p.

Fell, R., P. MacGregor, D. Stapledon, G. Bell, y M. Foster, 2015. Geotechnical engineering of dams [Ingeniería geotécnica de presas], 2da ed.: CRC Press, 1348 p.

FEMA ((U.S.) Federal Emergency Management Agency [(EE. UU.) Agencia Federal de Manejo de Emergencias], 2005. Federal guidelines for dam safety—Earthquake analyses and design of dams [Directrices federales para la seguridad de presas—análisis de terremotos y diseño de presas]: FEMA-65, 75 p. Disponible en línea en: [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema\\_dam-safety\\_earthquake-analysis\\_P-65.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_dam-safety_earthquake-analysis_P-65.pdf)

FEMA ((U.S.) Federal Emergency Management Agency [(EE. UU.) Agencia Federal de Manejo de Emergencias], 2013. Selecting and accommodating inflow design floods for dams [Selección y acomodación de inundaciones de diseño de entrada para presas]: FEMA-94, 47 p. Disponible en línea en: [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema\\_dam-safety\\_inflow-designs\\_P-](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_dam-safety_inflow-designs_P-)



## [94.pdf](#)

Franca, M.J. y A.B. Almeida, 2004. A computational model of rockfill dam breaching caused by overtopping (RoDaB) [Un modelo computacional de la rotura de una presa de escollera causada por un desbordamiento (RoDaB)]: Journal of Hydraulic Research [Revista de Investigación Hidráulica], vol. 42, pp. 197-206. Disponible en línea en:

[https://fad.betaimprese.com/content/lessons/1507/2004%20JHR%20-%20Franca&Almeida%20-%20A%20computational%20model%20of%20rockfill%20dam%20breaching%20caused%20by%20overtopping%20\(RoDaB\).pdf](https://fad.betaimprese.com/content/lessons/1507/2004%20JHR%20-%20Franca&Almeida%20-%20A%20computational%20model%20of%20rockfill%20dam%20breaching%20caused%20by%20overtopping%20(RoDaB).pdf)

Garbarino, E., G. Orveillon, H.G.M. Saveyn, P. Barthe, y P. Eder, 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the management of waste from extractive industries in accordance with Directive 2006/21/EC [Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para la Gestión de Residuos de Industrias Extractivas de Conformidad con la Directiva 2006/21/CE: European Commission Joint Research Centre Science for Policy Report [Informe sobre la Ciencia para la Formulación de Políticas del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea], EUR 28963 EN, 722 pp. Disponible en línea en:

<https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/mining/MWEI%20BREF.pdf>

Gens, A. y Alonso, E. E., 2006. Aznalcóllar dam failure. Part 2—Stability conditions and failure mechanism [Falla de la presa Aznalcóllar. Parte 2—Condiciones de estabilidad y mecanismo de falla]: Geotechnique, vol. 56, pp. 185–201. Disponible en línea en:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Aznalc%C3%B3llar-dam-failure.-Part-2%3A-Stability-and-Gens-Alonso/00cbf6d8d4d72e42bd35b0640ce29a9cc93bda56>

Golder, 2021. Estudio de Rotura del Depósito de Estériles del Proyecto Cobre San Rafael: abril de 2021.

HydroSHEDS, 2024. Seamless hydrographic data for global and regional applications [Datos hidrográficos fluidos para aplicaciones globales y regionales]. Disponible en línea en:

<https://www.hydrosheds.org/>

ICMM (International Council on Mining & Metals [Consejo Internacional de Minería y Metales]), 2020. New Global Industry Standard on Tailings Management aims to improve



the safety of tailings facilities in the mining industry. [El nuevo Estándar global de gestión de relaves para la industria minera tiene como objetivo mejorar la seguridad de las instalaciones de relaves en la industria minera Disponible en línea en:

<https://www.icmm.com/en-gb/news/2020/new-global-industry-standard-on-tailings-management>

ICMM (International Council on Mining & Metals), 2021a. Tailings management—Good practice guide: May 2021, 128 p. Available online at:

<https://www.icmm.com/en-gb/guidance/environmental-stewardship/tailings-management-good-practice>

ICMM (International Council on Mining & Metals), 2021b. Conformance Protocols—Global Industry Standard on Tailings Management [Protocolos de Conformidad—Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera], 110 p. Disponible en línea en:

[https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmental-stewardship/2021/tailings\\_conformance-protocols.pdf?cb=21097](https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmental-stewardship/2021/tailings_conformance-protocols.pdf?cb=21097)

ICMM (International Council on Mining & Metals [Consejo Internacional de Minería y Metales]), 2024. Our Members [Nuestros Miembros]. Disponible en línea en:

<https://www.icmm.com/en-gb/our-story/our-members>

ICMM-UNEP-PRI (International Council on Mining & Metals-United Nations Environment Programme-Principles for Responsible Investment [Consejo Internacional de Minería y Metales-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Principios para la Inversión Responsable), 2020. Estándar global de gestión de relaves para la industria minera—Agosto de 2020, 42 p. Disponible en línea en:

[https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard\\_ES.pdf](https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard_ES.pdf)

ICOLD (International Commission on Large Dams [Comisión Internacional de Grandes Represas]), 2019. ICOLD Incident database Bulletin 99 update—Statistical analysis of dam failures [Actualización del Boletín 99 de la base de datos de incidentes de ICOLD— Análisis Estadístico de Fallas de Represas]: diciembre de 2019, 65 p. Disponible en línea en:

<https://www.icoldchile.cl/boletines/188.pdf>



ICOLD (International Commission on Large Dams) y UNEP (United Nations Environment Programme) [ICOLD (Comisión Internacional de Grandes Represas) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)], 2001. Tailings dams risk of dangerous occurrences—Lessons learnt from practical experiences [Riesgo de sucesos peligrosos en presas de relaves—Lecciones aprendidas de experiencias prácticas]: Boletín 121, 146 p.

IGME (Instituto Geológico y Minero de España), 2022. Informe sobre “Adecuación del Proyecto Constructivo del Depósito de Estériles DEP1 del Proyecto Minero Cobre San Rafael al Estándar Global sobre Gestión de Relaves para la Industria Minera del International Council on Mining & Metal (ICMM 2020)”: 4 de agosto de 2022, 28 p.

Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel [Investigación de Ingeniería y Panel de Revisión de Expertos Independientes], 2015. Report on Mount Polley Tailings Storage Facility breach [Informe sobre la brecha de la Instalación de almacenamiento de relaves Mount Polley]: Informe elaborado a petición de Ministry of Energy and Mines and Soda Creek Indian Band [Ministerio de Energía y Minas y Tribu India Soda Creek], 156 p. Disponible en línea en:

<https://www.mountpolleyreviewpanel.ca/sites/default/files/report/ReportonMountPolleyTailingsStorageFacilityBreach.pdf>

Intacta Gestión Ambiental, 2023. Solicitud de Permisos Dirigidos a la Administración Hidráulica de Galicia. Augas de Galicia—Marzo de 2023—Touro – O Pino—A Coruña: Código—P-2022-120-002 Rev. 02, Autor—Ruben Cereijo Gonzalez, 221 p.

Jeyapalan, J.K., 1981. Flow failures of some mine tailings dams [Fallas de flujo de algunas presas de relaves mineros]: Geotechnical Engineering [Ingeniería Geotécnica], vol. 12, pp. 153-166.

Kossoff, D., W.E. Dubbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin, y K.A. Hudson-Edwards, 2014. Mine tailings dams—Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation [Presas de relaves mineros—Características, fallas, impactos ambientales y remediación]: Applied Geochemistry [Geoquímica Aplicada], vol. 51, pp. 229–245. Disponible en línea en:

[https://www.researchgate.net/publication/266620476\\_Mine\\_Tailings\\_Dams\\_Characteristics\\_Failure\\_Environmental\\_Impacts\\_and\\_Remediation](https://www.researchgate.net/publication/266620476_Mine_Tailings_Dams_Characteristics_Failure_Environmental_Impacts_and_Remediation)



Larrauri, P.C. y U. Lall, 2018. Tailings dams failures—Updated statistical model for discharge volume and runout [Fallas de presas de relaves— Modelo estadístico actualizado para volumen de descarga y oleada]: *Environments [Ambientes]*, vol. 5. Disponible en línea en: doi:10.3390/environments5020028

Leopold, L.B., 1994. *A view of the river [Una vista del río]*: Harvard University Press, 298 p.

Lloret, A., R. Rodríguez, y J. Ríos, 1999. Ensayos sobre muestras procedentes de Aznalcóllar: Technical Report [Informe Técnico], Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Ocober 1999, 87 p. Disponible en línea en:

[https://www.researchgate.net/publication/319260460\\_Ensayos\\_sobre\\_muestras\\_procedentes\\_de\\_Aznalcollar/link/59e06f1345851537161024b4/download](https://www.researchgate.net/publication/319260460_Ensayos_sobre_muestras_procedentes_de_Aznalcollar/link/59e06f1345851537161024b4/download)

Luino, F. y J.V. De Graff, 2012. The Stava mudflow of 19 July 1985 (northern Italy)—A disaster that effective regulation might have prevented [La corriente de lodo de Stava del 19 de julio de 1985 (norte de Italia) —Un desastre que una regulación eficaz podría haber evitado: *Natural Hazards and Earth Systems Science [Peligros Naturales y Ciencia de los Sistemas Terrestres]*, vol. 12, pp. 1029–1044. Disponible en línea en:

[https://www.researchgate.net/publication/258685108\\_The\\_Stava\\_mudflow\\_of\\_19\\_July\\_1985\\_Northern\\_Italy\\_A\\_disaster\\_that\\_effective\\_regulation\\_might\\_have\\_prevented](https://www.researchgate.net/publication/258685108_The_Stava_mudflow_of_19_July_1985_Northern_Italy_A_disaster_that_effective_regulation_might_have_prevented)

Macías, J. L., P. Corona-Chávez, J.M. Sánchez-Núñez, M. Martínez-Medina, V.H. Garduño-Monroy, L. Capra, L., F. García-Tenorio, y G. Cisneros-Máximo, 2015. The 27 May 1937 catastrophic flow failure of gold tailings at Tlalpujahuá, Michoacán, Mexico [La falla de flujo catastrófica de relaves de oro en Tlalpujahuá, Michoacán, México, el 27 de mayo de 1937]: *Natural Hazards and Earth System Science [La Ciencia de los Peligros Naturales y de los Sistemas Terrestres]*, vol. 15, pp. 1069–1085. Disponible en línea en:

[https://www.researchgate.net/publication/307667822\\_The\\_27\\_May\\_1937\\_catastrophic\\_flow\\_failure\\_of\\_gold\\_tailings\\_at\\_Tlalpujahuá\\_Michoacan\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/307667822_The_27_May_1937_catastrophic_flow_failure_of_gold_tailings_at_Tlalpujahuá_Michoacan_Mexico)

Maest, A.S., J.R. Kuipers, C.L. Travers, y D.A. Atkins, 2005. Predicting water quality at hardrock mines—Methods and models, uncertainties, and state-of-the-art [Predicción de la calidad del agua en minas de roca dura—Métodos y modelos, incertidumbres y tecnología de punta]: *Buka Environmental y Kuipers & Associates*, Informe elaborado a petición del Earthworks, 90 p. Disponible en línea en:



<https://earthworks.org/cms/assets/uploads/archive/files/publications/PredictionsReportFinal.pdf>

McLeod H.N., 2016. In the wake of the Mount Polley mine tailings breach—Tailings dam design, innovation, and practice changes [A raíz de la ruptura de relaves de la mina Mount Polley—Diseño de presas de relaves, innovación y cambios en las practices]: Geostrata Magazine, vol. 24, pp. 54-59. Disponible en línea en:

[https://klohn.com/wp-content/uploads/2020/05/GEOSTRATA\\_May\\_Jun-2020-HMcLeod.pdf](https://klohn.com/wp-content/uploads/2020/05/GEOSTRATA_May_Jun-2020-HMcLeod.pdf)

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (Ecuador), 2020. Anexo II—Guía técnica para la presentación de proyectos de diseño de los depósitos de relaves, 31 p. Disponible en línea en:

<https://www.mingaservice.com/web/index.php/documento/categoria/legislacion-minera>

Ministerio de Fomento (España), 2009. Norma de construcción sismorresistente—Parte general y edificación [Regulations for earthquake-resistant construction] (NCSE-02), 96 p. Available online at:

[https://www.transportes.gob.es/recursos\\_mfom/0820200.pdf](https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/0820200.pdf)

Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana (España), 2018. Sistema de Información Urbana [System of Urban Information]. Disponible en línea en:

<https://mapas.fomento.gob.es/VisorSIU/>

Ministerio para la Transición Ecológica (España), 2018a. Norma técnica de seguridad para la clasificación de las grandes presas y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de grandes presas y sus embalses, 15 p. Disponible en línea en:

[https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/participacion-publica/pp-proyecto-rd-normas-tecnicas-seguridad-grandes-presas-y-sus-embalses-1-clasificacion\\_tcm30-452742.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/participacion-publica/pp-proyecto-rd-normas-tecnicas-seguridad-grandes-presas-y-sus-embalses-1-clasificacion_tcm30-452742.pdf)

Ministerio para la Transición Ecológica (España), 2018b. Norma técnica de seguridad para el proyecto, construcción y puesta en carga de grandes presas y llenado de sus embalses, 19 p. Disponible en línea en:

<https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/participacion-publica/pp->





[proyecto-rd-normas-tecnicas-seguridad-grandes-presas-y-sus-embalses-2-proyecto\\_tcm30-452743.pdf](#)

Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation (British Columbia, Canada) [Ministerio de Energía, Minas e Innovación Baja en Carbono (Columbia Británica, Canadá)], 2024. CODE GUIDANCE—June 2024—Health, Safety and Reclamation Code for Mines in British Columbia—Part 10 – Tailings Storage Facilities (TSF) and Dams [GUÍA DEL CÓDIGO—Junio de 2024—Código de Salud, Seguridad y Recuperación para Minas en Columbia Británica—Parte 10 – Instalaciones de Almacenamiento de Relaves (TSF) y Presas, 122 p. Disponible en línea en:

[https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/health-and-safety/code-review/part\\_10\\_tsfs\\_and\\_dams\\_guidance\\_document\\_final\\_v2.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/health-and-safety/code-review/part_10_tsfs_and_dams_guidance_document_final_v2.pdf)

Morrill, J., D. Chambers, S. Emerman, R. Harkinson, J. Kneen, U. Lapointe, A. Maest, B. Milanez, P. Personius, P. Sampat, y R. Turgeon, 2022. La seguridad ante todo—Lineamientos para el manejo responsable de relaves: Earthworks, MiningWatch Canada, y London Mining Network: Versión 2.0, mayo de 2022, 55 p. Disponible en línea en:

<https://earthworks.org/wp-content/uploads/2022/09/La-seguridad-ante-todo-2da-vers..pdf>

Morrison, K.F. y B. Byler, 2022. Chapter 38—Risk assessment and risk management [Capítulo 38—Evaluación de riesgos y gestión de riesgos]: En K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestión de relaves—Un enfoque de ciclo de vida] (pp. 749-780), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración], Englewood, Colorado, 1004 p.

Morrison, K.F. y H. Lammers, 2022. Chapter 1— What are tailings? [Capítulo 1— ¿Qué son los relaves?]: En K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestión de relaves—Un enfoque de ciclo de vida] (pp. 3-12), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración], Englewood, Colorado, 1004 p.

Nassar, N.T., G.W. Lederer, J.L. Brainard, A.J. Padilla, y J.D. Lessard, 2022. Rock-to-metal ratio—A foundational metric for understanding mine wastes [Relación roca-metal—Una métrica fundamental para comprender los desechos mineros]: Environmental Science &



Technology [Ciencia y Tecnología Ambiental], vol. 56, pp. 6710-6721. Disponible en línea en: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.1c07875>

Nassar, N.T., G.W. Lederer, J.L. Brainard, A.J. Padilla, y J.D. Lessard, 2022b. Supporting information for Rock-to-metal ratio—A foundational metric for understanding mine wastes [Información de apoyo para Relación roca-metal—Una métrica fundamental para comprender los desechos mineros]: Environmental Science & Technology [Ciencia y Tecnología Ambiental], vol. 56, pp. 6710-6721. Disponible en línea en: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.1c07875>

Novotec, 2021. Análisis Ambiental de Vulnerabilidad—Proyecto Cobre San Rafael: Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, mayo de 2021, Referencia—CI-013445, 121 p.

Novotec, 2024a. Estudio de Impacto Ambiental—Proyecto de Explotación Cobre San Rafael— (Touro – O Pino, A Coruña)—Resumen No Técnico[ Environmental Impact Study—Cobre San Rafael Exploitation Project—(Touro – O Pino, A Coruña)—Non-Technical Summary]: Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, enero de 2024, Referencia—CI-018658, 27 p.

Novotec, 2024b. Documento Ambiental—Proyecto Cobre San Rafael: Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, 1474 p.

Novotec, 2024c. Análisis de Compatibilidad Estratégica para el Proyecto de Explotación Cobre San Rafael [Strategic Compatibility Analysis for the Cobre San Rafael Exploitation Project]—(Touro – O Pino, A Coruña): Informe elaborado a petición de Cobre San Rafael, agosto de 2024, Referencia—CI-0183306, 57 p.

Okusa S., S. Anma, y H. Maikuma, 1980. Slope failures and tailings dam damage in the 1978 Izu-Ohshima-Kinkai earthquake [Fallas de taludes y daños en presas de relaves en el terremoto de Izu-Ohshima-Kinkai de 1978]: Engineering Geology [Ingeniería Geológica], vol. 16, pp. 195–224.

Pérez, I.V., 2023. Evaluación ambiental de la actualización del Proyecto de Explotación “San Rafael, 2946” en los Concellos de Touro y O Pino—Análisis de su influencia sobre el medio hídrico: Informe elaborado a petición del Cobre San Rafael S.L, La Coruña, junio de 2023, 65 p.



Petley, D., 2019. The speed of the Brumadinho tailings dam landslide [La velocidad del deslizamiento de tierra de la presa de relaves Brumadinho]: AGU100 Blogosphere—The Landslide Blog [AGU100 Blogosphere—El Blog de los Deslizamientos de Tierra], 4 de febrero de 2019. Disponible en línea en:

<https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/02/04/brumadinho-tailings-dam-landslide/>

Proyecto Touro, 2017. Estudio de impacto ambiental de la actualización del proyecto de explotación vigente de cobre de Touro (A Coruña, Galicia) [Environmental impact study of the update of the current exploitation project for copper in Touro (A Coruña, Galicia)], 498 p., with 9 appendices (989 p.)

Proyecto Touro, 2019. Actualización del proyecto de explotación vigente de cobre de Touro—Documento respuesta al informe emitido por la Dirección Xeral de Patrimonio Natural: diciembre de 2019, 38 p.

Rana, N.M., N. Ghahramani, S.G. Evans, S. McDougall, A. Small, y W. A. Take, 2021. Catastrophic mass flows resulting from tailings impoundment failures [Flujos de masa catastróficos resultantes de fallas en depósitos de relaves]: Engineering Geology [Ingeniería Geológica], vol. 292, 20 p. Disponible en línea en:

[https://www.researchgate.net/publication/353090918\\_Catastrophic\\_mass\\_flows\\_resulting\\_from\\_tailings\\_impoundment\\_failures](https://www.researchgate.net/publication/353090918_Catastrophic_mass_flows_resulting_from_tailings_impoundment_failures)

Rana, N.M., N. Ghahramani, S.G. Evans, A. Small, N. Skermer, S. McDougall, y W. A. Take, 2022. Global magnitude-frequency statistics of the failures and impacts of large water-retention dams and mine tailings impoundments [Estadísticas globales de magnitud y frecuencia de las fallas y los impactos de las grandes presas de retención de agua y los embalses de relaves mineros]: Earth Science Reviews [Reseñas de Ciencias de la Tierra], vol, 232, septiembre de 2022, 26 p. Disponible en línea en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825222002288?via%3Dihub>

Rivera, R. J., 2019. Análisis del impacto del vertido sobre el medio del fluido sobrenadante del depósito de estériles en el proyecto de la mina de Touro—Hidroquímica: Informe elaborado a petición del Cobre San Rafael por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de La Coruña, 32 p.

Robertson, P.K., L. de Melo, D.J. Williams, y G.W. Wilson, 2019. Report of the expert panel



on the technical causes of the failure of Feijão Dam I—December 12, 2019 [Informe del panel de expertos sobre las causas técnicas de la falla de la Presa I de Feijão, 12 de diciembre de 2019: Informe preparado para Vale S.A., 81 p. Disponible en línea en:

<https://bdrb1investigationstacc.z15.web.core.windows.net/assets/Feijao-Dam-I-Expert-Panel-Report-ENG.pdf>

Rodríguez, R., A. Muñoz-Moreno, A.V. Caparrós, C. García-García, Á. Brime-Barrios, J.C. Arranz-González, V. Rodríguez-Gómez, F.J. Fernández-Naranjo, y A. Alcolea, 2021. How to prevent flow failures in tailings dams [Cómo prevenir fallas de flujo en presas de relaves]: Mine Water and the Environment [El Agua de las Minas y el Medio Ambiente], vol. 40, pp. 83-112. Disponible en línea en:

[https://www.researchgate.net/publication/349396479\\_How\\_to\\_Prevent\\_Flow\\_Failures\\_in\\_Tailings\\_Dams](https://www.researchgate.net/publication/349396479_How_to_Prevent_Flow_Failures_in_Tailings_Dams)

Roy, M., 2024. A comprehensive review of mining policy and prevention strategies implemented in response to geotechnically-induced failures in Spain [Una revisión exhaustiva de la política minera y las estrategias de prevención implementadas en respuesta a fallas de origen geotécnico en España]: Tesis de Maestría, Faculty of Bioscience Engineering [Facultad de Ingeniería de Biociencias], Universidad de Gante, 111 p. Disponible en línea en: [https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/003/218/175/RUG01-003218175\\_2024\\_0001\\_AC.pdf](https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/003/218/175/RUG01-003218175_2024_0001_AC.pdf)

Scharer, J.M., L. Bolduc, C.M. Pettit, y B.E. Halbert, 2000. Limitations of acid-base accounting for predicting acid rock drainage [Limitaciones de la contabilidad ácido-base para predecir el drenaje ácido de roca]: En Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage [Actas de la Quinta Conferencia Internacional sobre Drenaje Ácido de Roca], ICARD 2000, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración], pp. 591-601.

Sengani, F. y D. Allopi, 2022. Accuracy of two-dimensional limit equilibrium methods in predicting stability of homogenous road-cut slopes [Precisión de los métodos de equilibrio límite bidimensional en la predicción de la estabilidad de pendientes homogéneas de corte de carreteras]: Sustainability [Sostenibilidad], vol. 14, 26 p. Disponible en línea en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/7/3872>

Snow, R., 2022. Chapter 5—Conventional tailings management [Capítulo 5—La gestión de



relaves convencional]: En K.F. Morrison (Ed.), Tailings management handbook—A life-cycle approach [Manual de gestión de relaves—Un enfoque de ciclo de vida] (pp. 65-83), Society for Mining, Metallurgy and Exploration [Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración], Englewood, Colorado, 1004 p.

TailPro Consulting, 2024. Conventional Impoundment Storage – The Current Techniques [Almacenamiento de Contención Convencional – Las Técnicas Actuales]. Disponible en línea en: <http://tailings.info/disposal/conventional.htm>

Takahashi, T., 1991. Debris flow [Flujo de escombros]: IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, 165 pp.

Unión Europea, 2022. Natura 2000 — Zonas de protección especial (ZEPA). Available online at: [https://data.europa.eu/data/datasets/https-data-iledefrance-fr-explore-dataset-natura2000\\_zps-?locale=es](https://data.europa.eu/data/datasets/https-data-iledefrance-fr-explore-dataset-natura2000_zps-?locale=es)

USACE (U.S. Army Corps of Engineers [Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos]), 1991. Inflow design floods for dams and reservoirs [Inundaciones de diseño de entrada de para presas y embalses]. Engineer Regulation ER 1110-8-2(FR), 10 p. Disponible en línea en:

[http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER\\_1110-8-2\\_FR.pdf](http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER_1110-8-2_FR.pdf)

USACE (U.S. Army Corps of Engineers [Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos]), 2000. Design and construction of levees [Diseño y construcción de diques]: Manual No. 1110-2-1913, 164 p. Disponible en línea en:

[https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/E\\_M\\_1110-2-1913.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/E_M_1110-2-1913.pdf)

USACE (U.S. Army Corps of Engineers [Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos]), 2014. Safety of dams – Policy and procedures [Seguridad de las presas – Política y procedimientos]. Engineer Regulation [Regulación del Ingeniero] ER 1110-2-1156, 528 p. Disponible en línea en:

[http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER\\_1110-2-1156.pdf](http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER_1110-2-1156.pdf)



USACE (U.S. Army Corps of Engineers[Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos]), 2016. Earthquake design and evaluation for civil works projects [Diseño y evaluación de terremoto para obras civiles]: Engineer Regulation ER 1110-2-1806, 28 p. Disponible en línea en:

[https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER\\_1110-2-1806.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER_1110-2-1806.pdf)

USACE-HEC (U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center [Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – Centro de Ingeniería Hidrológica]), 2003. Application of paleohydrology to Corps flood frequency analysis [Aplicación de la paleohidrología al análisis de frecuencia de inundaciones del Cuerpo]: RD-47, 34 p. Disponible en línea en:

<http://www.hec.usace.army.mil/publications/ResearchDocuments/RD-47.pdf>

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos]), 1994. Acid mine drainage prediction [Predicción del drenaje ácido de mina]: Technical Document [Documento Técnico], EPA 530-R-94-036, NTIS PB94-201829, diciembre de 1994, 52 p. Disponible en línea en:

<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/amd.pdf>

Vick, S.G., 1990. Planning, design, and analysis of tailings dams [Planificación, diseño y análisis de presas de relaves]: BiTech Publishers, Vancouver, Canadá, 369 p.

Vick, S.G., 2014a. The use and abuse of risk analysis [El uso y abuso del análisis de riesgos]: Presentación de PowerPoint en la Tailings and Mine Waste Conference [Conferencia de Residuos de Mina y Relaves] 2014, 17 diapositivas.

Vick, S.G., 2014b. The use and abuse of risk analysis [El uso y abuso del análisis de riesgos]: En Tailings and Mine Waste '14 Proceedings of the 18th International Conference on Tailings and Mine Waste, Keystone, Colorado, USA [Relaves y Residuos de Mina '14 Actas de la 18.ª Conferencia Internacional sobre Relaves y Residuos de Mina, Keystone, Colorado, EE. UU., 5-8 de octubre de 2014, pp. 49-56. Disponible en línea en:

[https://tailingsandminewaste.com/wp-content/uploads/TMW2014\\_proceedings.pdf](https://tailingsandminewaste.com/wp-content/uploads/TMW2014_proceedings.pdf)

WSP Golder, 2023. Informe Técnico Pericial - Análisis de suficiencia sobre medidas de contingencia DET Mina Touro para evitar afección a ZEC “Sistema fluvial Ulla-Deza”:





Informe elaborado a petición del Cobre San Rafael S.L, June 26, 2023, 30 p.

Xunta de Galicia, 2020. Declaración de Impacto Ambiental da actualización do proxecto de explotación da concesión derivada do permiso de investigación “San Rafael Nº 2946”, nos Concellos de Touro e O Pino (A Coruña), promovido por Cobre San Rafael S.L. (2017/0084): 28 de enero de 2020, 15 p.

Xunta de Galicia, 2021. Resolución pola que se denega a aprobación da actualización do proxecto de explotación e plan de restauración da concesión de explotación San Rafael, num. 2946, nos Concellos de Touro e O Pino: 22 de febrero de 2021, 15 p.

