



# PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA Balsa de Estériles de la Mina Troya en GIPUZKOA



ASFALTOS URRETXU

**ADENDA. RESPUESTA AL DICTAMEN DE APPLUS**

Fecha: diciembre 2022

**IDOM**



ASFALTOS URRETXU

**Proyecto de cierre, clausura y recuperación ambiental de la balsa de estériles de la Mina de Troya en Gipuzkoa.**

ADENDA. Respuesta al dictamen de APPLUS.

---



IDOM CONSULTING, ENGINEERING, ARCHITECTURE, S.A.U.

CIF: A-48283964

## ÍNDICE.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN.</b> .....  | <b>4</b>  |
| 1.1. ANTECEDENTES. ....  | 4         |
| 1.2. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL DOCUMENTO. ....  | 5         |
| <b>2. RESPUESTA A LAS DESVIACIONES LEVES DEL DICTAMEN DE APPLUS.</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>3. ANEXO I. Dictamen sobre Proyecto de cierre, clausura y recuperación ambiental de la balsa de estériles de la Mina Troya (Gipuzkoa)</b> ..... | <b>19</b> |
| <b>4. ANEXO II. Contaminación del acuífero de Troya (Mutiloa, Guipúzcoa) por oxidación de sulfuros: Atenuación natural e inducida”.</b> .....      | <b>20</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Localización de la instrumentación de control en el entorno del actual dique minero.....   | 7  |
| Figura 2.  | Criterio típico de movimiento de escombreras. Fuente: Guía para el diseño y construcción de escombreras.....                         | 8  |
| Figura 3.  | Requerimiento de inspección, vigilancia e informes. Fuente: Guía para el diseño y construcción de escombreras mineras.....           | 9  |
| Figura 4.  | Fases de actuación para el cierre y clausura de la balsa. Fase 1.....  | 12 |
| Figura 5.  | Listados de un seguimiento diario de la toma de muestras. Fuente E.V.E.....  | 13 |
| Figura 6.  | Evolución de la calidad química en la Bocamina y en la Balsa. Fuente: Universidad del país Vasco / Diputación Foral de Gipuzkoa..... | 14 |
| Figura 7.  | Análisis químicos del acuífero de Troya, unidades en (mg/l).. Fuente: Universidad del país Vasco / Diputación Foral de Gipuzkoa..... | 15 |
| Figura 8.  | Esquema general de las instalaciones de la Mina Troya. Fuente: elaboración propia.....   | 16 |
| Figura 9.  | Planta general de la zona de remanso y el humedal.....   | 17 |
| Figura 10. | Planta general de la zona de remanso y del humedal.....  | 18 |

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. ANTECEDENTES.

ASFALTOS URRETXU S.A., como empresa propietaria de los terrenos del entorno, contratan a IDOM en 2014, la redacción del “Proyecto de cierre y clausura de la balsa de estériles mineros de la Mina Troya en Gipuzkoa”. En diciembre de 2021, ASFALTOS URRETXU, S.A. contrata a IDOM la redacción del Proyecto Constructivo para definir el “Proyecto de cierre, clausura y recuperación ambiental de la balsa de estériles de la Mina de Troya en Gipuzkoa”.

Con carácter potestativo del Promotor, se decide realizar el trámite de Evaluación de Impacto Ambiental ordinario, aunque no es el trámite de aplicación por características y umbrales, con objeto de realizar una adecuada identificación de los impactos potenciales del proyecto y con ello, proponer las adecuadas medidas de minimización para mantener los impactos previstos dentro de límites ambientalmente admisibles.

En noviembre de 2022, ASFALTOS URRETXU, S.A. contrata a APPLUS ORGANISMO DE CONTROL, S.L.U. para la elaboración y emisión del informe “DICTAMEN SOBRE PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA Balsa DE ESTÉRILES DE LA MINA TROYA (GUIPUZCOA)”. Con ello, se comprueba que el documento “Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la Balsa de Estériles de la Mina Troya en Guipúzcoa” (Octubre 2022), redactado por la empresa IDOM, y presentado por Asfaltos Urretxu, S.A. para el cierre y clausura de dicho depósito de estériles mineros, considera los aspectos indicados en el Artículo 34 del R.D. 975/2009, describiéndose y justificándose las actuaciones a llevar a cabo propuestas en proyecto. Dichos aspectos son los siguientes:

- a) Estabilización geotécnica de los taludes, si los hubiera.
- b) Protección de los taludes contra la erosión superficial o por inundaciones exteriores y degradación de los materiales por meteorización, si procediera.
- c) Sistemas de desagüe para evitar la acumulación incontrolada de agua de lluvia o de escorrentía.
- d) Sistemas de drenaje para el rebajamiento de los niveles freáticos.
- e) Remodelado de la instalación de residuos mineros para la canalización de las aguas, recuperación de terrenos, etc.
- f) Sistemas de sellado o impermeabilización de la superficie de la instalación de residuos mineros para evitar la infiltración de agua superficial, la contaminación de los suelos naturales de cubrición y la formación de polvo.
- g) Dispositivos de recogida o sistemas de tratamiento de filtraciones y lixiviados.
- h) Cierre y adecuada señalización de las obras que impliquen riesgo de accidentes.
- i) Otras acciones de rehabilitación.
- j) Presupuesto de las actuaciones a realizar.



## 1.2. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL DOCUMENTO.

La emisión del informe “DICTAMEN SOBRE PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA Balsa DE ESTÉRILES DE LA MINA TROYA (GUIPUZCOA)”, elaborado por APPLUS, aplica los procedimientos internos de Applus Norcontrol en Minería:

- C3520044.- Rehabilitación y Gestión de Residuos en Actividades Mineras. Inspecciones documentales.

A la vista de las observaciones y comprobaciones realizadas y de los resultados obtenidos de las mismas, APPLUS emite un **Dictamen Favorable condicionado**, que se recoge como conclusión en el epígrafe 7 “Dictamen” del documento que se incluye como ANEXO I de la presente ADENDA.

Una vez efectuada la identificación de los defectos y la categorización de los mismos, el resultado del dictamen Favorable condicionado, se emite en aquellos casos en los que, aunque se hayan identificado defectos, éstos son categorizados como Defectos Leves. La subsanación de los defectos identificados, dentro del plazo establecido, permitirá la posterior emisión de un dictamen favorable.

En el citado en el epígrafe 7 “Dictamen”, recogen 5 puntos, de los cuales algunos de ellos consideran una **Desviación Leve**, que mediante la presente Adenda, se pretenden aclarar y completar.

Se tendrá en cuenta la siguiente categorización de los posibles defectos:

- **Defecto Leve (DL):** Es todo aquel que no supone peligro para las personas, los bienes o el medioambiente, no impide el funcionamiento de la instalación, y en el que el incumplimiento del documento reglamentario, no tiene un peso significativo para el uso o funcionamiento de la instalación. El plazo máximo de subsanación de los defectos leves es de seis (6) meses.
- **Defecto Grave (DG):** Es todo aquel que no supone peligro inmediato para las personas, los bienes o el medioambiente, pero que puede serlo en caso de originarse un fallo en la instalación. También se incluyen en esta categoría aquellos defectos que pueden reducir de forma sustancial la capacidad de funcionamiento o uso de la instalación. El plazo máximo de subsanación de los defectos graves es de dos (2) meses
- **Defecto Muy Grave o Crítico (DC):** Es todo aquel que la experiencia determina que constituye un peligro inmediato para la seguridad de las personas, los bienes o el medioambiente. Los defectos muy graves deben subsanarse de manera inmediata.

## 2. RESPUESTA A LAS DESVIACIONES LEVES DEL DICTAMEN DE APPLUS.

De acuerdo con las comprobaciones realizadas durante la revisión del “Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación de la balsa de estériles de la Mina Troya”, APPLUS ORGANISMO DE CONTROL, S.L.U.,

DICTAMINA que:

1. *Como resultado de la revisión del documento “Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la Balsa de estériles de la Mina Troya en Guipúzcoa”, se comprueba que en el mismo se contemplan y justifican todos los aspectos enumerados en el artículo 34 del R.D. 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.*

No hay comentario al respecto

2. *Con objeto de llevar acabo el control y seguimiento de la integridad estructural del dique del depósito de estériles, se propone en el proyecto de cierre y clausura la instalación de una instrumentación de control geotécnico y la lectura periódica de la misma. La instrumentación propuesta se considera adecuada para el control geotécnico, aunque se debe establecer tanto la frecuencia de lectura de la instrumentación como los umbrales de emergencia y las medidas a tomar para cada uno de dichos umbrales (DL).*

En el Proyecto constructivo se considera la instalación de una instrumentación para la auscultación y el control geotécnico del dique de la balsa minera. Dicha instrumentación se describe en el Anejo nº 9 (Instrumentación y Control) del Documento nº 1 (Memoria) del Proyecto de Ejecución, estando constituida por los siguientes elementos:

- 2 Inclinómetros
- 2 Piezómetros de cuerda vibrante
- 8 Prismas topográficos

La instrumentación propuesta se completará al menos con la instalación adicional de:

- 1 inclinómetro
- 1 piezómetro de cuerda vibrante

De este modo se dispondrá de al menos 3 perfiles instrumentados trasversales al dique del depósito de estériles. La propuesta de la distribución instrumentación, se muestra en la Figura 1.

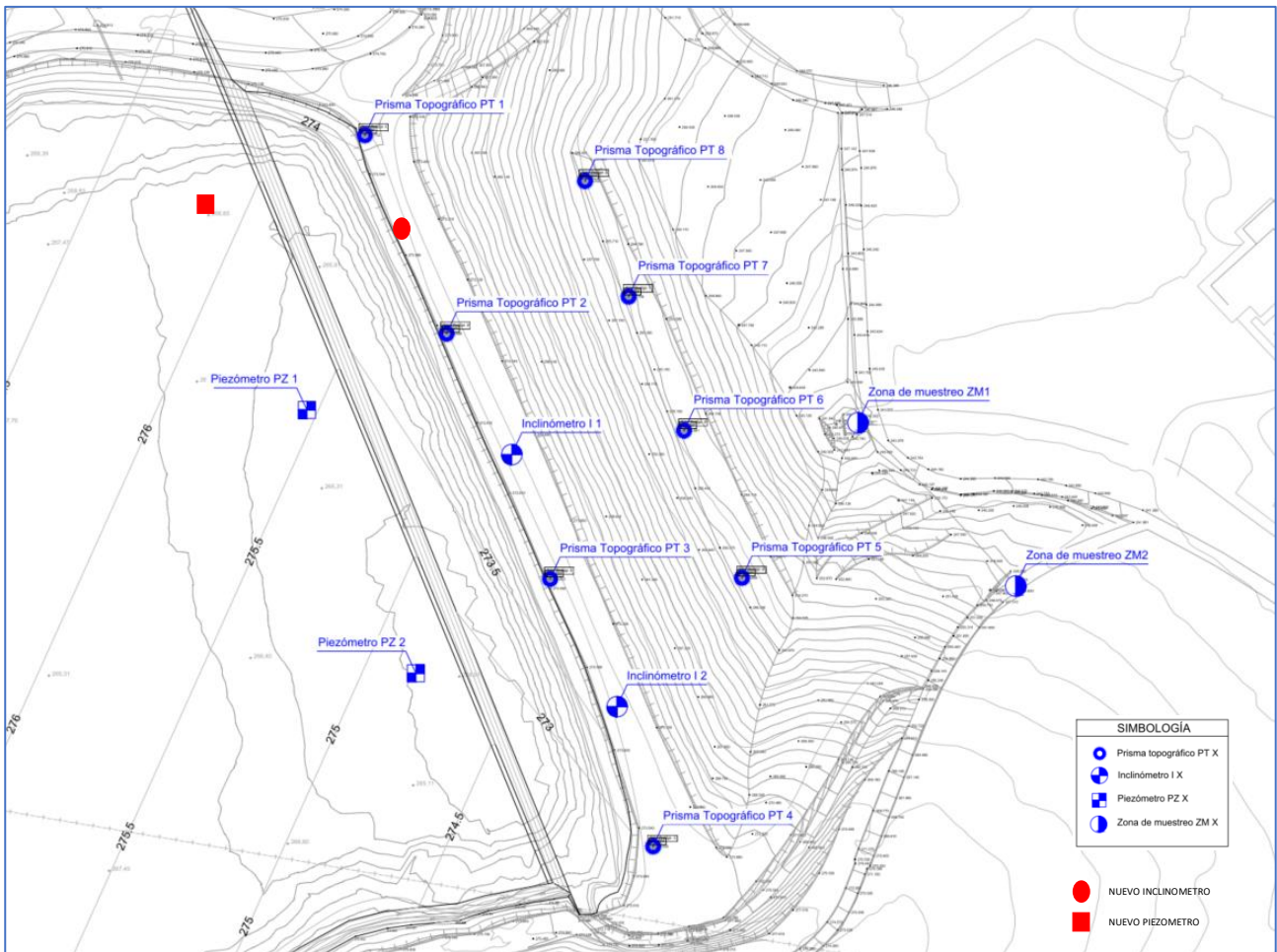


Figura 1. Localización de la instrumentación de control en el entorno del actual dique minero.

Aclarar que el Proyecto Constructivo, concretamente en el Apartado 2 “Recomendaciones relativas al cuerpo de la presa” del Anejo nº 9 “Instrumentación y Control”, indica:

- Una frecuencia mínima en los controles que se han de llevar a cabo durante las labores de desecación, llenado y tras el cierre y clausura.
- Control geotécnico de la estabilidad física. Se garantiza con campañas de mediciones cuya frecuencia será establecida en **“Plan de Ejecución de Rellenos”** que tiene que elaborar el Contratista adjudicatario. El contenido de este documento recogerá las recomendaciones establecidas en el Anejo nº 5 de “Movimiento de tierras” y formará parte de los procedimientos de ejecución.

No se puede empezar la obra, sin la aprobación del “Plan de Ejecución de Rellenos” por parte del Director Facultativo. Para ello, antes del inicio de los trabajos, el Director Facultativo contratará a un técnico consultor independiente que está especializado en Instrumentación y control.

En la “GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESCOMBRERAS”, redactada por la Dirección General de Industria, Energía y Minas, se resume un ejemplo que, a modo de guía, indica la relación entre unas lecturas tomadas y las actuaciones correspondientes a llevar a cabo y que sirven de orientación a la hora de adoptar



medidas preventivas cuando se detectan movimientos en las escombreras. En nuestro caso al menos seguirá ese criterio de frecuencia que se recoge en la figura 2.

| NIVEL | RITMO DE DEFORMACIÓN DIARIA (mm/día) | INTERVALO ENTRE LECTURAS | ACTUACIÓN NECESARIA  |
|-------|--------------------------------------|--------------------------|--|
| 1     | Al inicio del relevo                 | -                        | Revisar el informe de vigilancia del relevo anterior para evaluar el comportamiento de la escombrera.  |
| 2     | 0 - 170 mm                           | 4 horas                  | Normal.  |
| 3     | 170 - 250 mm                         | 2 horas                  | Se recomienda precaución.  |
| 4     | 250 - 330 mm                         | 1 hora                   | Se recomienda precaución. Las observaciones visuales son muy importantes.  |
| 5     | 330 - 425 mm                         | 1 hora                   | Extremar las precauciones. Efectuar frecuentes observaciones visuales. El capataz debe indicar a los conductores de los volquetes la necesidad de verter con precaución y a los maquinistas de los tractores de empujar material fuera de la escombrera. Si es posible, cambiar el punto de vertido. |
| 6     | 425 - 500 mm                         | 1 hora                   | Vertidos cortos o alternos. Buscar otro punto de vertido.  |
| 7     | > 500 mm                             | 1 hora                   | Detener el vertido en esa zona y cerrar la escombrera. Verter en otros puntos.   |

Figura 2. Criterio típico de movimiento de escombreras. Fuente: Guía para el diseño y construcción de escombreras.

En la Figura 3 se representan los requerimientos de auscultación, inspección e informes según el Esquema de Clasificación de la Estabilidad de las Escombreras. Se distinguen cuatro categorías de escombreras de acuerdo con su valoración en la clasificación MINESCOM. En nuestro caso, nos ponemos del lado de la seguridad y adoptamos la clasificación más estricta (Clasificación IV)

| CLASE DE ESTABILIDAD | VALOR DE CLASIFICACIÓN | REQUERIMIENTOS  |                 |   |  |   |
|----------------------|------------------------|---|-----------------|---|--|---|
|                      |                        | INSTRUMENTACIÓN DE AUSCULTACIÓN   | PARTE DE RELEVO | INSPECCIÓN  |  | DOCUMENTO   |
|                      |                        |   |                 | DESCRIPCIÓN   | FRECUENCIA   |   |
| I                    | < 300                  | Inspección visual sólo si se detectan movimientos inesperados.<br>Piezómetros cuando sean aplicables.   | Sí              | Inspección realizada por el jefe de relevo.<br><br>Inspección periódica detallada realizada por el ingeniero responsable.   | 4 horas<br><br>Anual                                       | Parte de relevo.<br><br>Informe anual.  |
| II                   | 300 - 600              | Instrumentación necesaria si se identifican movimientos distintos a los de hundimientos por consolidación.<br><br>Piezómetros cuando sean aplicables.   | Sí              | Inspección realizada por el jefe de relevo.<br><br>Si se efectúa auscultación, inspección e interpretación de los datos registrados por el ingeniero responsable.<br><br>Inspección periódica detallada por el ingeniero responsable.   | 4 horas<br><br>Diaria<br><br>Anual                         | Parte de relevo.<br><br>Inspección cuatrimestral.<br><br>Informe anual.   |
| III                  | 600 - 1200             | Instrumentación para auscultar movimientos tal como se haya especificado por el consultor proyectista.<br><br>Piezómetros cuando sean aplicables.   | Sí              | Inspección realizada por el jefe de relevo.<br><br>Si se efectúa auscultación, inspección e interpretación de los datos registrados por el ingeniero responsable.<br><br>Inspección periódica detallada por el ingeniero responsable.<br><br>Inspección por un técnico consultor independiente. | 4 horas<br><br>Diaria<br><br>Mensual<br><br>Anual          | Parte de relevo.<br><br>Inspección cuatrimestral.<br><br>Informe anual del consultor independiente.   |
| IV                   | > 1200                 | Programa de instrumentación detallado a ser especificado por el consultor proyectista.<br><br>Piezómetros cuando sean aplicables.<br><br>Piezómetros probablemente necesarios en la cimentación, si existe cualquier suelo de grano fino. | Sí              | Inspección realizada por el jefe de relevo.<br><br>Si se efectúa auscultación, inspección e interpretación de los datos registrados por el ingeniero responsable.<br><br>Inspección periódica detallada por el ingeniero responsable.<br><br>Inspección por un técnico consultor independiente. | 4 horas<br><br>Diaria<br><br>Mensual<br><br>Anual (mínimo) | Parte de relevo.<br><br>Inspección cuatrimestral.<br><br>Informe anual del consultor independiente, frecuentemente a petición de la Autoridad Minera. |

Figura 3. Requerimiento de inspección, vigilancia e informes. Fuente: Guía para el diseño y construcción de escombreras mineras.

En cualquier caso, se podrá exigir un seguimiento más detallado o frecuente a petición de la Autoridad competente.

Las características y especificaciones de dicha instrumentación corresponderá con:

- Unidades que registran y transmiten en tiempo real. Las lecturas pueden ser transmitidas a través de acceso vía modem del teléfono o por inspección directa en el campo.

Toda la información correspondiente a la auscultación debe formar parte de los **informes mensuales** que tiene que se tienen que elaborar durante el proceso de Cierre y Clausura. La unidad de obra presupuestaria "PARTIDA PARA EL CONTROL DE CALIDAD DURANTE EL PROYECTO DE CIERRE Y CLAUSURA DE LA Balsa de Esteriles.

ENSAYOS DEFINIDOS POR EL CONTRAISTA EN EL PROYECTO DE PRECARGA Y PLAN DE EJECUCION DE RELLENOS. SE APROBARÁ POR EL DIRECTOR DE OBRA. EN LAS LABORES A REALIZAR, SE TIENEN QUE DEFINIR LAS ZONAS DE MUESTREO PROVISIONALES Y DEFINITIVAS PARA LAS AGUAS BOMBEADAS Y DE ESCORRENTÍA, CONCRETAR LOS ENSAYOS QUE HAY QUE REALIZAR A LOS LODOS Y LAS TIERRAS DEL ENTORNO. SE INCLUYE LA COLOCACIÓN DE LOS 8 PRISMAS TOPOGRÁFICOS, LA EJECUCIÓN DE LOS 2 PIEZOMETROS Y LOS 2 INCLINOMETROS QUE QUEDARÁN ACCESIBLES UNA VEZ ESTÉ CLAUSURADA LA OBRA”, al menos deberá incluir la siguiente información:

- Resumen del informe.
- Introducción, incluyendo una breve descripción del proyecto y la razón por la que es necesario el empleo de instrumentación geotécnica.
- Información relevante del diseño y montaje del programa de auscultación y de toma de muestras
- Resumen de la fase del programa de auscultación y muestreo. Definir el plan de muestreo indicando:
  - Selección de los puntos de muestreo
  - Frecuencia de muestreo
  - Volumen de la muestra
  - Equipos de muestreo: manual o automático
  - Tipos de envases
  - identificación de la muestra
  - Conservación, transporte y almacenaje de la muestra
- Descripción de los instrumentos y de los sistemas de lectura.
- Planos suficientes para detallar el número de instrumentos y su ubicación.
- Fotografías representativas.
- Datos geotécnicos de la superficie y del subsuelo.
- Procedimientos de calibración y mantenimiento de los instrumentos, ya sea de carácter trimestral o anual. Deben incluir los siguientes aspectos:
- Gráficos-resumen actualizados.
- Un breve informe acerca de todos los cambios significativos en los parámetros medidos desde el último informe periódico, indicando las posibles causas que los produzcan.
- Actuaciones recomendadas.
- Procedimientos de recogida, presentación e interpretación de datos.
- Comportamiento observado, incluyendo gráficos resumen y factores que influyen en las medidas observadas.
- Análisis del comportamiento observado, comparando las medidas observadas con las correspondientes predicciones y estudiando los cambios significativos con sus posibles causas, contrastando la información con publicaciones existentes.
- Conclusiones, discusiones y recomendaciones incluyendo una descripción de las actuaciones acometidas para su resolución.

Tras el cierre y clausura de la balsa, la Autoridad Competente establecerá los periodos de su seguimiento. Como punto de partida, se propone la conformación de:

- **Informes trimestrales, hasta el cumplimiento de 2 años.**

Con ello, tras las labores de cierre y clausura, se establece la redacción de un mínimo de 8 informes trimestrales.

*3. También se propone, con objeto de realizar el control de los vertidos, de un muestreo periódico hidroquímico de los mismos, debiéndose establecer la periodicidad de dichos controles (DL).*

Aclarar que el Proyecto Constructivo, concretamente en el Apartado 2 “Recomendaciones relativas al cuerpo de la presa” del Anejo nº 9 “Instrumentación y Control”, se hace referencia a una serie de pautas respecto al muestreo de las aguas que se bombean a la balsa de decantación, a la medición de los parámetros, así como la remisión de informes a la Autoridad Competente, detallando las mediciones obtenidas in-situ y los resultados analíticos. Como en el caso anterior, quedará a Juicio de la Autoridad Competente, los condicionantes Hidro-químicos de las tomas de muestras.

Las mediciones del control de los vertidos se adjuntarán en los informes mensuales que tiene que elaborar el Contratista adjudicatario durante las obras de Cierre y Clausura.

De acuerdo con el proceso de evolución del cierre y clausura de la balsa, en el Apartado 3.2. “Fase 2. Desección y gestión del drenaje durante las obras”, del Anejo nº 8 “Fases de Actuación”, se plantean diferentes propuestas. Dentro de las mismas, en primera fase se rebaja la cota del aliviadero en 1,5 m para evacuar el mayor volumen de agua posible (51.224 m<sup>3</sup>) y posteriormente extraer mediante bombeo la práctica totalidad del resto del agua (112.260 m<sup>3</sup>). Se estima que durante las DESECACION Y GESTION DEL DRENAJE DURANTE LAS OBRAS, los puntos de muestreo se tienen que localizar en diferentes zonas que a continuación se indican:

- FASE DE DESECACIÓN 1 (Alivio)→ Punto de muestreo en el área de captación de la balsa provisional de muestreo, identificada con un círculo verde en la figura 4. Si se tienen en cuenta los condicionantes del proceso, es la única zona en la que las condiciones del agua pueden verse alteradas durante el rebaje de cota del alivio. Se estima un plazo de 1 semana que queda recogido en el Plan de trabajo del Proyecto.
- FASE DE DESECACIÓN 2 (Bombeo balsa de muestreo)→ Punto de muestreo en el área de captación de la balsa provisional destinada para la toma de muestras, que queda identificada con un círculo rojo en la figura 4. Esta es la única zona en la que las condiciones del agua pueden verse alteradas durante este proceso. Se estima un plazo de 2 meses y medio para las labores de bombeo, achique y analítica del agua.
- FASE POSTCLAUSURA→ Una vez realizadas las labores de cierre, clausura y recuperación ambiental de mina Troya, que recogidas en el proyecto constructivo; los puntos de muestreo se localizarán en las únicas áreas donde puede existir un aporte desde la zona clausurada. Estas 2 zonas de muestreo quedan localizadas aguas abajo de la actuación y se identifican como ZM-1, que recoge las infiltraciones a pie de dique y está localizada en el actual aforador Thompson y ZM-2, que está

ubicada al final del actual alivio y que identificaría las propiedades del agua superficial. En la figura 1 se sitúan las zonas de muestreo

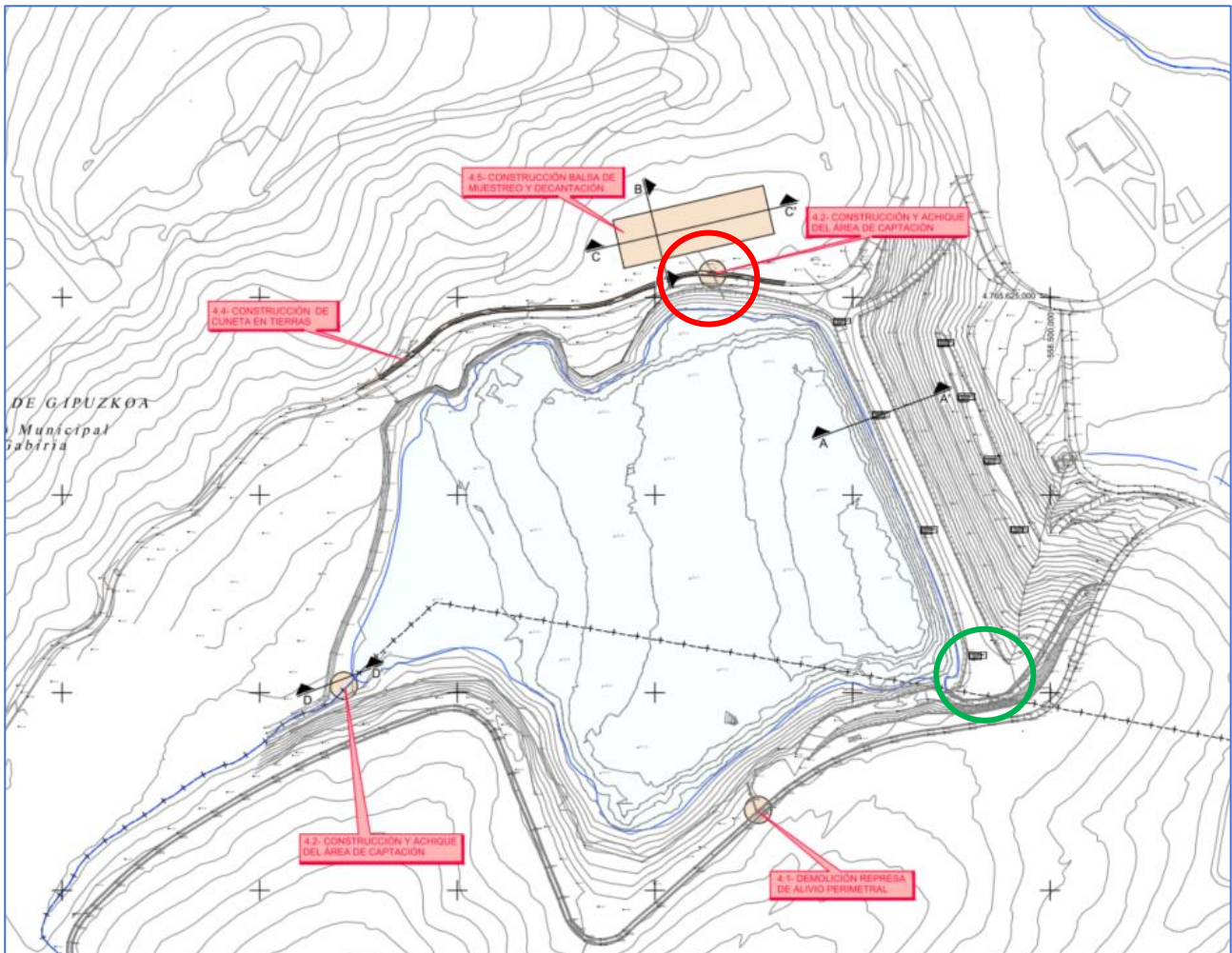


Figura 4. Fases de actuación para el cierre y clausura de la balsa. Fase 1.

Si la Autoridad Competente, no detalla los condicionantes de las tomas de muestras, se tendrá en cuenta las siguientes premisas:

- Durante las labores de desecación y bombeo del agua del vaso (FASES DESECACION), la frecuencia de la toma de muestras será diaria. A modo de ejemplo, en la Figura 5 se adjunta un reporte del Ente Vasco de Energía y de la Agencia Vasca del Agua (URA) del año 2004, en el que se identifica el seguimiento del Caudal Medio Diario en la Rampa Norte de mina Troya.
- Una vez realizadas las labores de cierre y clausura (FASE POSTCLAUSURA), a lo largo del primer trimestre se tomarán mediciones diarias en los puntos de control ZM-1 (filtraciones a pie de dique) y ZM-2 (rebose por aliviadero). Se completarán un mínimo de 8 informes trimestrales, quedando a juicio de la Autoridad competente, la frecuencia del muestreo periódico de acuerdo con la evolución de la concentración de los contaminantes. Como en el caso anterior, a modo de ejemplo, en la Figura



6 se identifican unas gráficas que identifican la evolución de la concentración en diversos elementos disueltos en la Bocamina y en la Balsa de Mina Troya. Esta documentación se extrae del informe “Contaminación del acuífero de Troya (Mutiloa, Guipúzcoa) por oxidación de sulfuros: atenuación natural e inducida”, redactado por personal de la Universidad del país Vasco y Diputación Foral de Gipuzkoa, que se adjunta como Anexo II del presente informe

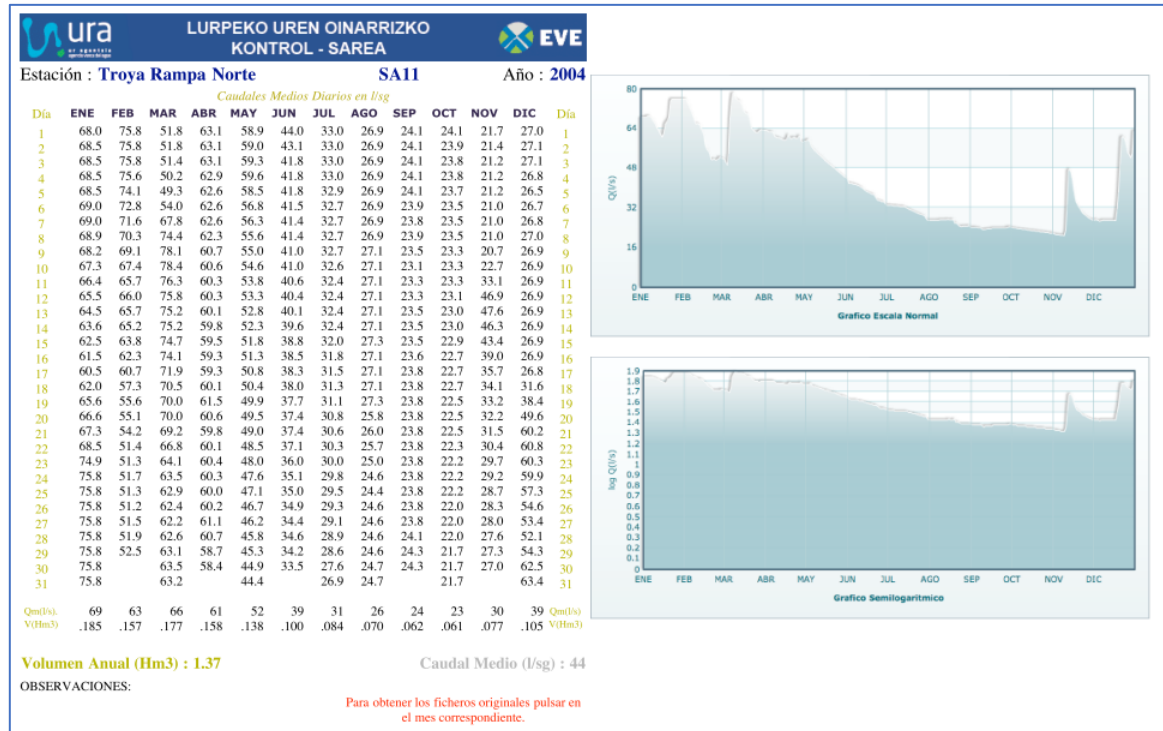


Figura 5. Listados de un seguimiento diario de la toma de muestras. Fuente E.V.E.

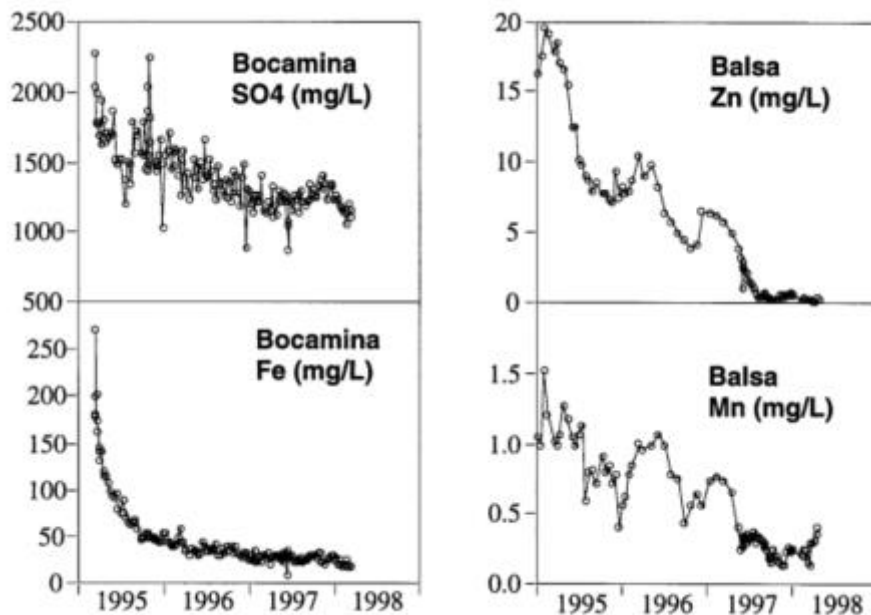


Figura 6. Evolución de la calidad química en la Bocamina y en la Balsa. Fuente: Universidad del país Vasco / Diputación Foral de Gipuzkoa.

Para establecer una analítica mínima, en la Figura 7 se muestra un resumen de una serie de resultados en los que también se identifica la zona en la que se toma la muestra. Como en el apartado anterior, esta documentación se extrae del informe "Contaminación del acuífero de Troya (Mutioa, Guipúzcoa) por oxidación de sulfuros: atenuación natural e inducida", redactado por personal de la Universidad del país Vasco y Diputación Foral de Gipuzkoa, que se adjunta como ANEXO II del presente informe.

|                  | TROY<br>(1976) | Pozos drenaje<br>(1983-1993) | Bocamina<br>(1995-1997) | Filtraciones<br>Balsa (97-98) | Rebose Balsa<br>(1997-1998) |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| pH               | 7.2            | 7.6                          | 6.8                     | 7.7                           | 8.0                         |
| HCO <sub>3</sub> | 220            | 350                          | 358                     |                               | 216                         |
| SO <sub>4</sub>  | 46             | 126                          | 1474                    | 754                           | 921                         |
| Ca               | 68             | 110                          | 580                     | 319                           | 379                         |
| Mg               | 11             | 25                           | 68                      |                               | 43                          |
| Fe               | 0.006          | 0.03                         | 60                      | 0.03                          | 0.7                         |
| Mn               |                | 0.16                         | 1.2                     | 0.01                          | 0.3                         |
| Zn               |                | 0.166                        | 4.7                     | 0.04                          | 0.9                         |
| Ni               |                |                              | 0.06                    | 0.008                         | 0.015                       |
| Pb               |                |                              | 0.005                   | 0.005                         | 0.008                       |
| Al               | 0.042          | 0.13                         | 2.3                     | 0.03                          | —                           |

Figura 7. Análisis químicos del acuífero de Troya, unidades en (mg/l).. Fuente: Universidad del país Vasco / Diputación Foral de Gipuzkoa.

A modo de resumen, indicar que cada autorización de vertido es única y en ella se establecen los límites a respetar, dependiendo de una serie de datos de partida: características de agua residual vertida y del cauce receptor al que se vierte, volúmenes vertidos, caudal específico de estiaje, objetivo de calidad asignado, etc....por ello, es la autoridad competente (URA en este caso) el que debe establecer los controles y los límites en su resolución. Estos condicionantes quedarán recogidos en la información correspondiente a la auscultación debe formar parte de los **informes mensuales** que tiene que se tienen que elaborar durante el proceso de Cierre y Clausura.

4. *En el proyecto se indica que la zona donde se desarrollen los trabajos se dispondrá de un cerramiento perimetral, no se indica en ninguno de los planos adjuntos el trazado de dicho vallado perimetral (DL).*

El presente proyecto se centra en el cierre, clausura y recuperación ambiental de la balsa de estériles de la mina Troya, no obstante, esta estructura formaba parte de un complejo minero cuyos principales componentes se listan a continuación y se ubican en la figura 10:

- Instalaciones Mineras
- Caminos y accesos
- Balsa de estériles: formada por la presa de estériles y zona de embalse
- Bocamina

- Canales perimetrales
- Aliviadero y canal del aliviadero



Figura 8. Esquema general de las instalaciones de la Mina Troya. Fuente: elaboración propia.

La superficie total ocupada por las antiguas instalaciones mineras es una amplia zona a la cual se accede a través de caminos, los cuales se encuentran cerrados. Antes del inicio de las obras, se revisarán las condiciones de los accesos. El Plan de Seguridad que elabore el Contratista Adjudicatario definirá el cerramiento en función de su proceso de avance.

5. En el Anejo nº 10 del Documento nº 1 (Memoria) del proyecto revisado se indica que el volumen de vertido en caso de rotura del dique de cierre del humedal propuesto sería de unos 8.600 m<sup>3</sup>, pero no se justifica dicho volumen (DL).

En el Anexo 4.- “Comprobaciones hidráulicas de soluciones existentes”, del Anejo nº 4.- “Climatología, Hidrogeología y Drenaje”, se adjunta el análisis de riesgos medioambientales de la propia balsa de estériles de la Mina de Troya, así como el cálculo de la garantía financiera respecto a la balsa de estériles, que realiza la consultora LIMIA & MARTÍN en 2019 para Asfaltos Urretxu, S.A. En su epígrafe 3.4.7. “Estimación de consecuencias asociadas a los escenarios de accidente”, analiza el derrame de aguas de la balsa, las cantidades de lodos vertidos y la superficie de suelo afectada.

En el caso del volumen de vertido causado por la rotura del dique de cierre del humedal, corresponde con el máximo volumen de agua que puede almacenar el recinto de la zona de cabecera, que es destinado para la



construcción del humedal, con objeto de continuar con la conservación de las especies que actualmente habitan la actual balsa de estériles de Mina Troya. Tal y como se indica en la tabla Tabla 1 “Parámetros constructivos y de diseño del humedal” del Anexo 10 “Humedal”, el recinto tiene una capacidad máxima de almacenaje de 8.572,18m<sup>3</sup>. Si a este volumen, se le añade un pequeño porcentaje que pudiese venir desde la zona de remanso, indicada en la Figura 6 como “balsa de decantación primaria”, se obtiene un volumen de 8.600m<sup>3</sup>.

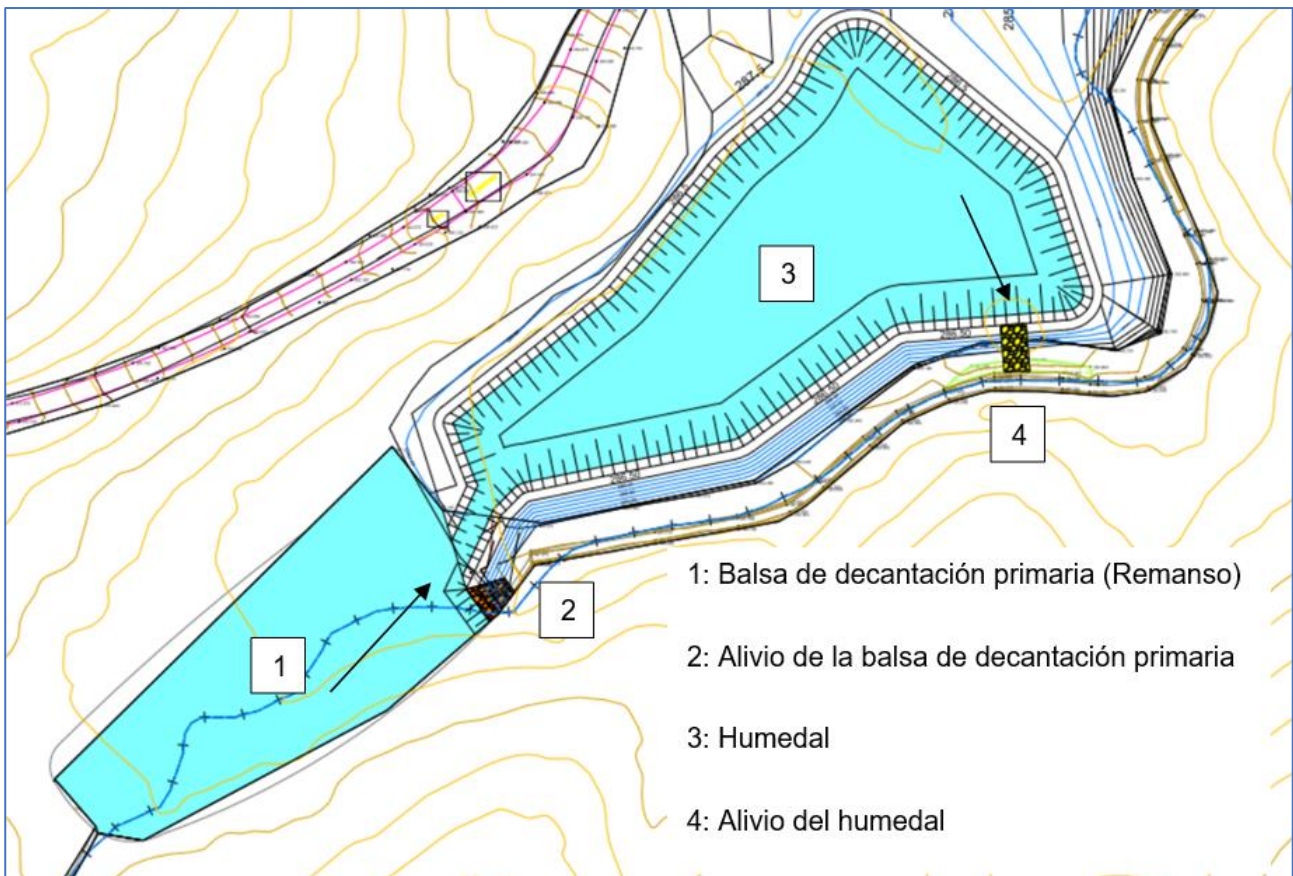


Figura 9. Planta general de la zona de remanso y el humedal

Considerando que los taludes del humedal se han diseñado por encima de las hipótesis más estrictas indicadas en el “Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de Balsas” (ver epígrafe 1.13 “Análisis de Estabilidad” del Anejo Nº 10 “Humedal”), no se considera factible la posibilidad de rotura de los taludes del cierre del vaso del humedal. Aun así, considerando la orografía de la rasante resultante y la geometría de diseño del nuevo canal de encauzamiento (identificado de color naranja en la figura 7), el volumen procedente de una hipotética rotura del dique, se canalizaría a través de la solución del encauzamiento.



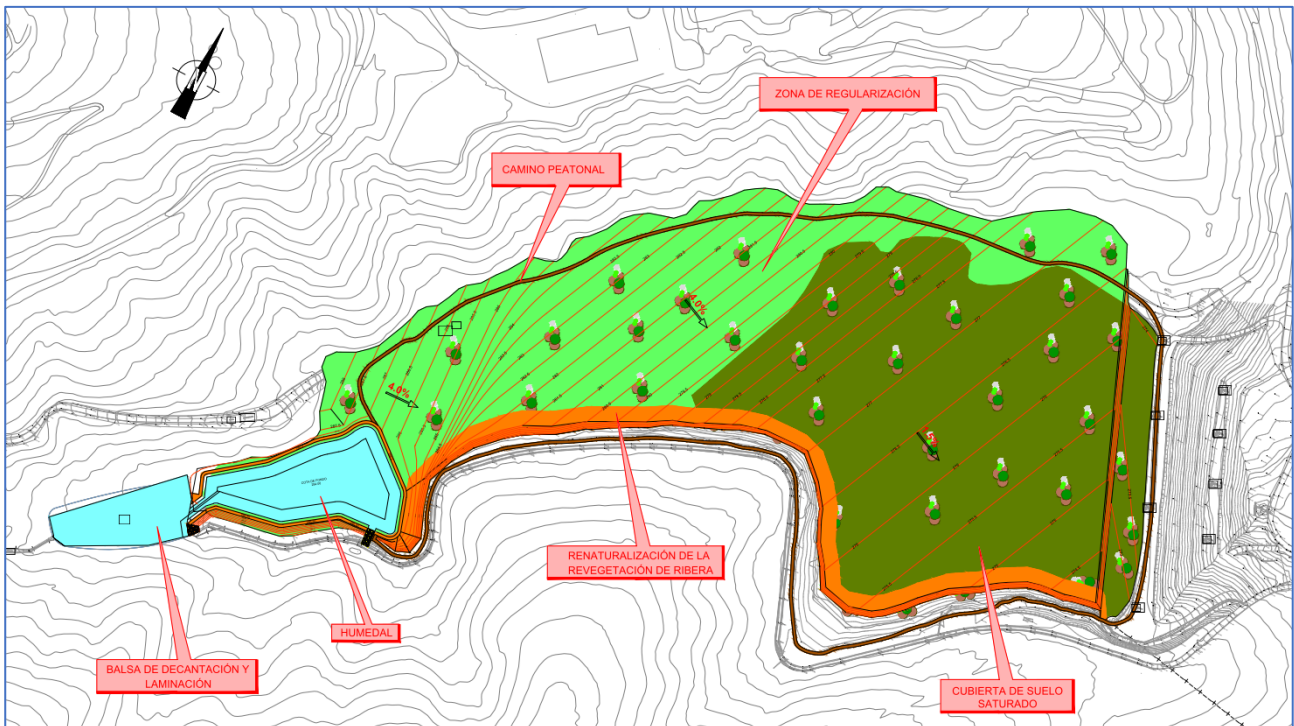


Figura 10. Planta general de la zona de remanso y del humedal

6. En el proyecto revisado se evalúan diferentes soluciones posibles para el cierre y clausura de la instalación de residuos mineros, considerándose como óptima la denominada de “Cobertura de suelo saturado”. Dicha solución, propuesta para esta zona, y de acuerdo con lo indicado en la “Guía para la Rehabilitación de Instalaciones Abandonadas de Residuos Mineros (2019)” publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica, se considera una de las opciones óptimas para la rehabilitación de este depósito de estériles mineros.

Con la presente solución de suelo saturado, no solo se aspira a adoptar una correcta solución para la rehabilitación de Instalaciones Mineras Abandonadas. El proyecto en cuestión, pretende eliminar el riesgo asociado a la rotura del dique de la presa.

### 3. ANEXO I. Dictamen sobre Proyecto de cierre, clausura y recuperación ambiental de la balsa de estériles de la Mina Troya (Gipuzkoa)

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 0. IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....   | 2  |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 3  |
| 2. NORMATIVA DE APLICACIÓN,<br>PROCEDIMIENTOS Y<br>DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA .. | 4  |
| 3. METODOLOGÍA .....  | 5  |
| 4. OBJETO Y ALCANCE DEL INFORME ...   | 6  |
| 5. DATOS GENERALES .....  | 7  |
| 6. PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y<br>RECUPERACIÓN AMBIENTAL .....                 | 8  |
| 7. DICTAMEN .....   | 19 |

## ANEJOS

ANEJO I: Documentación aportada por el titular

**DICTAMEN SOBRE PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA Balsa de Estériles de la Mina Troya (GUIPUZCOA)**

**ASFALTOS URRETXU S.A.**

Barrio Lóiola, nº 25 - Bajo  
20730 – Azpeitia (GUIPUZCOA)

A/A: Nagore Arregui Zubizarreta  
Ref.: AOC-22-20033-161-22

## 0. IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO

**TÍTULO:** DICTAMEN SOBRE PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA Balsa de Estériles de la Mina Troya (GUIPUZCOA)

**REFERENCIA:** AOC-22-20033-161-22

**AUTOR:** Juan Luis Gutiérrez Villarías  
Inspector Seguridad Minera

**FECHA INFORME:** 5 de diciembre de 2022

**FECHA DE INSPECCIÓN:** 1 al 5 de diciembre de 2021

**DESTINATARIO:** ASFALTOS URRETXU, S.A.  
A/A: Nagore Arregui Zubizarreta  
Barrio Loiola, nº 25 - Bajo  
20730 – Azpeitia (GUIPUZCOA)  
Tfno.: 943 15 70 71 Fax: 943 15 72 14

**OFICINA EMISORA:** Applus Organismo de Control, S.L.U.  
Avd. Américo Vespucio, nº 5-Bloque 5-3  
Edificio Cartuja, locales C-4, C-5, C-6  
41092 - SEVILLA  
Tfno.:954 467 710 Fax: 954 467 711

### Garantía de Calidad de Servicio

Applus+, garantiza que este trabajo se ha realizado dentro de lo exigido por nuestro Sistema de Calidad y Sostenibilidad, habiéndose cumplido las condiciones contractuales y la normativa legal.  
En el marco de nuestro programa de mejora les agradecemos nos transmitan cualquier comentario que consideren oportuno, dirigiéndose al responsable que firma este escrito, o bien, al Director de Calidad de Applus+, en la dirección: [satisfaccion.cliente@applus.com](mailto:satisfaccion.cliente@applus.com)

Este documento es válido en tanto no se modifiquen las condiciones observadas.  
Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin el permiso por escrito de Applus Organismo de Control, S.L.U. y el cliente

CENTRAL: A Coruña (Ctra. N-vi, km 582, 15168, SADA) – Oficinas: MADRID, ALBACETE, ALICANTE, ASTURIAS, BILBAO, BARCELONA, CÁDIZ, CASTELLÓN, CIUDAD REAL, CÓRDOBA, GRANADA, HUELVA, JAÉN, LAS PALMAS, LEÓN, LOGROÑO, LUGO, MÁLAGA, MÉRIDA, MURCIA, ORENSE, PALMA, PAMPLONA, SAN SEBASTIÁN, SANTANDER, TARRAGONA, TENERIFE, TOLEDO, VALENCIA, VALLADOLID, VIGO, VITORIA, ZARAGOZA.

## 1. ANTECEDENTES

La balsa de estériles de la Mina Troya se encuentra ubicada entre los términos municipales de Mutiloa y Gabiria (Guipúzcoa) y se construyó para albergar los residuos sólidos procedentes de la planta de flotación de la mina Troya, dedicada a la explotación subterránea del yacimiento de sulfuros polimetálicos para la obtención de concentrados de plomo y zinc.

Los trabajos de extracción mineral de la Mina de Troya se desarrollaron desde mediados de los años 80 hasta el año 1992, fecha en la que finalizó la explotación por parte de la empresa EXMINESA.

Hasta el año 1994 la titularidad de la presa y embalse correspondió a la empresa EXMINESA. El año 1996 la empresa ASFALTOS URRETXU S.A. adquiere a EXMINESA parte de los terrenos en los que se encuentran ubicados la bocamina norte, la zona de lavadero y concentración de mineral, y la balsa de estériles.

En Diciembre de 2021, Asfaltos Urretxu, S.A. contrató a la empresa IDOM la redacción del proyecto de cierre, clausura y recuperación ambiental para su presentación a la Autoridad Competente, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 33 del R.D. 975/2009.

De acuerdo con los datos del proyecto constructivo, la tipología de la presa es de materiales sueltos zonificada con núcleo de arcilla inclinado aguas arriba y protegido en ambos taludes por un filtro seleccionado en el contacto con la arcilla y una zona de transición a base de escollera seleccionada compactada entre el filtro y la escollera del espaldón de aguas abajo y con la escollera de protección del talud de aguas arriba. La cota actual de coronación de la presa es de 273,21 m.s.n.m., su longitud de 230 metros y la altura del dique de 30,46 metros, almacenándose unos 496.123 m<sup>3</sup> de lodos y unos 163.484 m<sup>3</sup> de agua, según se indica en el proyecto objeto de dictamen.

En fecha 01/12/22 se solicita, por parte de la Autoridad Competente, informe del o dictamen de un organismo de control del "Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la balsa de estériles de la Mina Troya" conforme al Artículo 33 del R.D. 975/2009.

Para dar respuesta a lo establecido en dicho escrito, ASFALTOS URRETXU, S.A. ha contratado a APPLUS ORGANISMO DE CONTROL, S.L.U. para la elaboración y emisión del mencionado informe.



## 2. NORMATIVA DE APLICACIÓN, PROCEDIMIENTOS Y DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

### Normativa de aplicación:

- Real Decreto 975/2009, 21 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
- Real Decreto 777/2012, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

### Procedimientos aplicados:

Para la realización del presente dictamen se han aplicado los procedimientos internos de Applus Norcontrol en Minería:

- C3520044.- Rehabilitación y Gestión de Residuos en Actividades Mineras. Inspecciones documentales.

### Documentación de referencia:

Toda la documentación de referencia utilizada para la elaboración del presente dictamen se relaciona en el Anejo I.

### 3. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente informe se han inspeccionado en campo los trabajos constructivos de la escombrera de estériles de Mina Magdalena, y la adecuación de los mismos a lo establecido en su proyecto constructivo autorizado.

A efectos de poder emitir un dictamen sobre la conformidad o no de los aspectos objeto del mismo, se tendrá en cuenta la siguiente categorización de los posibles defectos:

- Defecto Leve (DL): Es todo aquel que no supone peligro para las personas, los bienes o el medioambiente, no impide el funcionamiento de la instalación, y en el que el incumplimiento del documento reglamentario, no tiene un peso significativo para el uso o funcionamiento de la instalación. El plazo máximo de subsanación de los defectos leves es de seis (6) meses.
- Defecto Grave (DG): Es todo aquel que no supone peligro inmediato para las personas, los bienes o el medioambiente, pero que puede serlo en caso de originarse un fallo en la instalación. También se incluyen en esta categoría aquellos defectos que pueden reducir de forma sustancial la capacidad de funcionamiento o uso de la instalación. El plazo máximo de subsanación de los defectos graves es de dos (2) meses.
- Defecto Muy Grave o Crítico (DC): Es todo aquel que la experiencia determina que constituye un peligro inmediato para la seguridad de las personas, los bienes o el medioambiente. Los defectos muy graves deben subsanarse de manera inmediata.

Una vez efectuada la identificación de los defectos y la categorización de los mismos, el resultado del dictamen emitido podrá ser:

- Favorable: En aquellos casos en los que, como resultado de la inspección, no se identifiquen defectos.
- Favorable condicionado: En aquellos casos en los que, aunque se hayan identificado defectos, éstos son categorizados como Defectos Leves. La subsanación de los defectos identificados, dentro del plazo establecido, permitirá la posterior emisión de un dictamen favorable.
- Desfavorable: En aquellos casos en los que los defectos identificados sean categorizados como Defectos Graves o Defectos Críticos. La subsanación de los defectos identificados, dentro del plazo establecido, permitirá la posterior emisión de un dictamen favorable.

## 4. OBJETO Y ALCANCE DEL INFORME

El objeto del presente dictamen, tal y como se establece en el escrito de la Autoridad Minera de fecha 01/12/2022, es comprobar que el documento "Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la Balsa de Estériles de la Mina Troya en Guipúzcoa" (Octubre 2022), redactado por la empresa IDOM, y presentado por Asfaltos Urretxu, S.A. para el cierre y clausura de dicho depósito de estériles mineros, considera los aspectos indicados en el punto 2 del Artículo 34 del R.D. 975/2009, describiéndose y justificándose las actuaciones a llevar a cabo propuestas en proyecto.

Dichos aspectos son los siguientes:

- a) Estabilización geotécnica de los taludes, si los hubiera.
- b) Protección de los taludes contra la erosión superficial o por inundaciones exteriores y degradación de los materiales por meteorización, si procediera.
- c) Sistemas de desagüe para evitar la acumulación incontrolada de agua de lluvia o de escorrentía.
- d) Sistemas de drenaje para el rebajamiento de los niveles freáticos.
- e) Remodelado de la instalación de residuos mineros para la canalización de las aguas, recuperación de terrenos, etc.
- f) Sistemas de sellado o impermeabilización de la superficie de la instalación de residuos mineros para evitar la infiltración de agua superficial, la contaminación de los suelos naturales de cubrición y la formación de polvo.
- g) Dispositivos de recogida o sistemas de tratamiento de filtraciones y lixiviados.
- h) Cierre y adecuada señalización de las obras que impliquen riesgo de accidentes.
- i) Otras acciones de rehabilitación.
- j) Presupuesto de las actuaciones a realizar.

## 5. DATOS GENERALES

Los principales datos de la entidad solicitante son los siguientes:

- **TITULAR:** ASFALTOS URRETXU, S.A.
- **PERSONA DE CONTACTO:** Nagore Arregui Zubizarreta
- **SEDE SOCIAL:** Barrio Loiola, 25 - Bajo  
20730 – Azpeitia (GIPUZCOA)  
Tfno.: 943 – 15.70.71  
Fax: 943 - 15.72.14

## 6. PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL

### 6.1 PROYECTO DE CIERRE Y CLAUSURA: CONTENIDO

De acuerdo con lo establecido en el punto 2 del Artículo 34 del R.D. 975/2009, en el Proyecto Definitivo de Cierre y Clausura de una instalación de residuos mineros se deben considerar los siguientes aspectos y se justificarán y describirán todas las actuaciones que se prevea realizar:

- a) Estabilización geotécnica de los taludes, si los hubiera.
- b) Protección de los taludes contra la erosión superficial o por inundaciones exteriores y degradación de los materiales por meteorización, si procediera.
- c) Sistemas de desagüe para evitar la acumulación incontrolada de agua de lluvia o de escorrentía.
- d) Sistemas de drenaje para el rebajamiento de los niveles freáticos.
- e) Remodelado de la instalación de residuos mineros para la canalización de las aguas, recuperación de terrenos, etc.
- f) Sistemas de sellado o impermeabilización de la superficie de la instalación de residuos mineros para evitar la infiltración de agua superficial, la contaminación de los suelos naturales de cubrición y la formación de polvo.
- g) Dispositivos de recogida o sistemas de tratamiento de filtraciones y lixiviados.
- h) Cierre y adecuada señalización de las obras que impliquen riesgo de accidentes.
- i) Otras acciones de rehabilitación.
- j) Presupuesto de las actuaciones a realizar.

Considerando lo anterior, se ha llevado a cabo la revisión del documento "Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la Balsa de Estériles de la Mina Troya en Guipúzcoa" (Octubre 2022), elaborado por IDOM para ASFALTOS URRETXU, S.A., comprobando si en el mismo se consideran todos y cada uno de los aspectos anteriormente enumerados y si se describen y justifican las actuaciones propuestas en proyecto.

El proyecto revisado ha sido elaborado por la empresa IDOM, estando firmado por D. Iban Toca Martínez, colegiado nº 507 del C.O.I.M. del Norte. Dicho proyecto está constituido por los siguientes documentos:

- DOCUMENTO Nº 1: Memoria y Anejos.
- DOCUMENTO Nº 2: Planos.
- DOCUMENTO Nº 3: Pliego de Condiciones.



- DOCUMENTO Nº 4: Presupuesto.
- DOCUMENTO Nº 5: Estudio de seguridad.
- DOCUMENTO Nº 6: Estudio de Impacto Ambiental.

En los siguientes apartados se revisan todos y cada uno de los aspectos enumerados en el Artículo 34 del R.D. 975/2009 que deben considerarse en el proyecto de cierre y clausura.

## **6.2 ESTABILIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES**

Como parte del proyecto de cierre y clausura de una instalación de residuos mineros, se debe justificar la estabilidad estructural geotécnica de la misma en el tiempo. En caso de que la instalación no se considere estable, se deberán llevar a cabo las actuaciones necesarias para la estabilización geotécnica de los taludes existentes.

A este respecto, en el Anejo nº 2 (Geología y Geotecnia) de la memoria del proyecto revisado se tratan los aspectos sobre la geología de la zona de emplazamiento de la instalación de estériles y las características geotécnicas de los materiales geológicos de la misma y los estudios de estabilidad geotécnica realizados del dique de cierre de dicha instalación de residuos.

En el Anejo nº 2 se indica que, aunque no ha sido posible realizar una campaña de reconocimiento geotécnico de los materiales, se ha recurrido a ensayos y reconocimientos desarrollados con anterioridad, citándose los informes consultados. Los trabajos realizados tenían por objetivo principal la caracterización geotécnica de los materiales de apoyo de construcción del dique de la presa.

Así, en el Apartado 3 (Estudio geotécnico) del Anejo nº 2 del proyecto se recogen, de forma resumida, los estudios geotécnicos realizados (Apartado 3.1), indicándose los reconocimientos llevados a cabo (calicatas, sondeos y perforaciones manuales), así como los muestreos y ensayos de laboratorio realizados (Apartado 3.2). La localización de estos trabajos de prospección se indica en el Anexo 2.1 "Planos de reconocimiento de campo".

Por su parte, en el Apartado 3.3 del Anejo nº 2 se describen las características tanto de los materiales que constituyen el dique del depósito como las de los lodos almacenados. En el Apartado 3.3.3 (Estériles almacenados) del proyecto se indica que los estériles son lodos finos,

con un  $D_{80} < 72 \mu\text{m}$ . En la Tabla 3 del mismo apartado se presenta un análisis químico medio de dichos lodos, indicándose que en base a su contenido en plomo se clasifican como residuos peligrosos, mientras que su alto contenido en pirita los convierte en una fuente potencial de generación de ácido en caso de procesos de oxidación al contacto con el aire.

En cuanto al aspecto de sismicidad a aplicar en los estudios de estabilidad, en el Apartado 3.4 (Sismicidad) del Anejo nº 2 del proyecto se tiene en cuenta la Norma Sismoresistente NCSE-02 para obtener el valor de la aceleración sísmica básica ( $a_b = 0,04g$ ) y la aceleración de cálculo ( $a_c = 0,0665g$ ) de la zona en la que se ubica el depósito de estériles de Mina Troya, aplicándose una aceleración sísmica de cálculo horizontal  $a_{ch} = 0,033g$  y una aceleración sísmica de cálculo vertical  $a_{cv} = 0,016g$ .

Teniendo en consideración lo anterior, en el Apartado 3.5 (Análisis de Estabilidad del Dique) del Anejo nº 2 del proyecto se resumen los parámetros de caracterización de los materiales del dique usados en los cálculos, así como los propios cálculos de estabilidad geotécnica realizados sobre 4 perfiles perpendiculares al eje del dique de cierre de la presa minera.

Los factores de seguridad se han obtenido mediante cálculos realizados por el método de equilibrio límite y teniendo en cuenta la permeabilidad de los lodos y la sismicidad de la zona de emplazamiento (Apartado 3.5.1.2 del Anejo nº 2 del proyecto de cierre y clausura).

Los factores de seguridad más bajos obtenidos son los siguientes (Tabla 12 del Anejo nº 2):

| Perfil | Situación actual Sin sismo | Situación actual Con sismo | Situación de cierre Sin sismo | Situación de cierre Con sismo |
|--------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A      | 1,71                       | n.d.                       | n.d.                          | n.d.                          |
| B      | 1,59                       | n.d.                       | n.d.                          | n.d.                          |
| C      | 1,55                       | 1,45                       | 1,56                          | 1,45                          |
| D      | 1,97                       | n.d.                       | n.d.                          | n.d.                          |

n.d.: No determinado.

También se ha llevado a cabo el cálculo en situación de descenso rápido de la lámina de agua dentro de la presa, obteniéndose un factor de seguridad  $F.S.=1,22$  para el caso más desfavorable (perfil C).

Como resumen (Apartado 3.6 del Anejo nº 2), se indica que *"todos los coeficientes de seguridad obtenidos, están por encima de los coeficientes de seguridad mínimos relativos a la"*

*estabilidad de la presa categorizada como A en situación Normal, que corresponde a un F.S. = 1,4".*

Un aspecto fundamental para el control de la integridad estructural del depósito de estériles mineros objeto de cierre y clausura es la instalación de instrumentación de control y el seguimiento que se realice de la misma en el tiempo o auscultación.

A este respecto, en el proyecto revisado se ha considerado la instalación de una instrumentación para la auscultación y control geotécnico del mismo. Dicha instrumentación se describe en el Anejo nº 9 (Instrumentación y Control) del Documento nº 1 (Memoria) del proyecto revisado, estando constituida por los siguientes elementos:

- 2 Inclinómetros
- 2 Piezómetros de cuerda vibrante
- 8 Prismas topográficos

La distribución de dicha instrumentación se muestra en el Plano 8.1 (Instrumentación y Control) del Documento nº 2 (Planos) del proyecto.

También se indica que se llevará a cabo la inspección de los elementos relacionados con la gestión de las aguas de drenaje de pluviales y de la presa.

Se considera que la instrumentación propuesta es adecuada para el seguimiento y control geotécnico, aunque debería completarse con la instalación de 1 inclinómetro y 1 piezómetro adicionales, de forma que se disponga de al menos 3 perfiles instrumentados transversales al dique del depósito de estériles, además de indicarse las características y especificaciones de dicha instrumentación.

En relación con la instrumentación de auscultación propuesta, debe indicarse que no se establece ni la periodicidad de medición de la misma en el tiempo, ni los umbrales de actuación (emergencia) ni las medidas a tomar para cada uno de ellos (**DL**).

Igualmente, en el Anejo nº 9, se propone realizar un control hidro-químico mediante la toma periódica de muestras del contenido del depósito y del efluente emitido a la red de drenaje y se propone la medición in-situ de los siguientes parámetros; pH, potencial Redox, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura, para lo que se proponen 2 puntos de muestreo de agua de escorrentía y de infiltración (Plano 8.1 del Documento nº 2).

Sin embargo, no se establece la periodicidad con la que deberán llevarse a cabo dichos muestreos hidro-químicos (**DL**).

Por último, también se propone en proyecto que, para el control de las labores de secado de la presa, se deberá disponer al menos de:

- Un transmisor de presión en la impulsión del grupo de bombeo.
- Dos transmisores de nivel en cada cuerpo de la presa.
- Un interruptor de nivel en la arqueta de drenaje de fondo.
- Un caudalímetro para medir el caudal total impulsado.
- Un caudalímetro para medir el caudal desaguado tras rebajar la cota del aliviadero.

Se establece igualmente la obligación de realizar inspecciones tanto de la estructura del dique como de las infraestructuras existentes (canal perimetral, cunetas de drenaje, aliviadero, etc.) y elaboración y emisión de informes de control y seguimiento con periodicidad semestral, además de emitirse informes extraordinarios en caso de afecciones no previstas que supongan una actuación inmediata.

### **6.3 PROTECCIÓN DE TALUDES CONTRA EROSIÓN SUPERFICIAL O POR DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES POR METEORIZACIÓN**

De acuerdo con lo indicado en el proyecto revisado, no está previsto actuar sobre el espaldón del dique existente, ya que está completamente revegetado, como puede verse en las fotografías recogidas en el Apéndice 2 (Planta y Reportaje fotográfico) del Anejo nº 1 (Trabajos previos y situación actual) del proyecto.

No obstante, en la zona en la que se propone establecer la cubierta saturada y en el humedal, sí se prevé la implantación de una cubierta vegetal.

A este respecto, en el Apartado 5.2.4 (Restauración Ambiental de la Zona Clausurada) del Documento nº 1 (Memoria) se indica que el Contratista adjudicatario de las obras propondrá unas pautas para la siembra de las especies arbustivas, la superficie de hidrosiembra, la recuperación de marras y la planificación del mantenimiento que deberá ser aprobada por la Dirección de Obra.

Igualmente, se indica que en la zona de la cubierta saturada prevista se considera viable la plantación de especies arbóreas y/o arbustivas de crecimiento lento, y la siembra de herbáceas una vez se haya realizado la clausura del depósito de estériles.

La distribución de las superficies a revegetar se muestra en el Plano 6.1 "Revegetación y Medidas correctoras – Planta" del Documento nº 2 (Planos) del proyecto revisado, indicándose las especies, tamaño de las mismas y número de plantas.

En el caso de los taludes del humedal, éstos se protegerán mediante hidrosiembra, según se indica en el Apartado 1.9 del Anejo nº 9 (Humedal) del proyecto.

## **6.4 SISTEMAS DE DESAGÜE**

---

En el Apartado 3 (Cálculos hidráulicos) del Anejo nº 4 (Climatología, Hidrogeología y Drenaje) del proyecto de cierre y clausura se estudian las distintas redes de drenaje (transversal, longitudinal y profundo). Para realizar los cálculos se ha aplicado el denominado Método Racional, incluido en la Norma de Drenaje Superficial 5.2-I.C. (Orden FOM/298/2016) comúnmente aplicada en cálculos de drenajes en obra civil.

Para los cálculos se han definido en el proyecto las cuencas de aporte en la zona de la presa (Anexo 2 – "Cuencas de aportación" del Anejo nº 4 del proyecto de cierre y clausura) y se han calculado los caudales para cada una de ellas (Tabla 21 del Anejo nº 4) para un periodo de retorno de 25, 100 y 500 años.

En el Anexo 4 ("Comprobaciones Hidráulicas de soluciones existentes") del Anejo nº 4 se incluyen los resultados obtenidos para las soluciones de drenaje existentes (Encauzamiento principal de escorrentía, cuneta dren principal, bajante escalonada), procedentes de un estudio realizado en 2019 por la empresa Limia & Martín, justificándose el correcto funcionamiento de las mismas.

Las soluciones de drenaje propuestas en el proyecto de cierre y clausura revisado se describen en el Apartado 3.1.6 (Comprobación hidráulica de las distintas actuaciones) del mismo y corresponden a la necesidad de drenar el caudal recogido por las cuencas principales 1 y 3 (ya que el caudal de la cuenca 2 y el aportado por la bocamina son desaguados por el canal perimetral existente al sur del embalse que, como se indica en proyecto, continuará en servicio



una vez cerrada y clausurada la presa de residuos). Dichas actuaciones de drenaje y desagüe son las siguientes:

- Captación y Encauzamiento principal de la escorrentía.
- Construcción de cuenta dren principal.
- Construcción de bajante escalonada al final del encauzamiento principal.

Las características de estas actuaciones de drenaje quedan reflejadas en la Tabla 22 del Anejo nº 4 del proyecto revisado.

## **6.5 SISTEMAS DE DRENAJE PARA REBAJAR LOS NIVELES FREÁTICOS**

En el Apartado 3.2 "Fase 2. Desección y Gestión del drenaje durante las obras" del Epígrafe 3 "Fases de Obra", del Anejo nº 8 (Fases de Actuación) del proyecto revisado, se describen las pautas necesarias para rebajar la lámina de agua existente en el depósito de estériles mineros.

Se estima un volumen de agua libre de 163.483, 80 m<sup>3</sup> que se considera necesario eliminar, para lo cual, además de interrumpir el flujo de entrada de agua desde el canal perimetral existente, se proponen las siguientes actuaciones:

- Reducir la cota inferior del aliviadero (en 1 metro)
- Bombear el agua a través de la balsa de muestreo (para su decantación)

Según se indica en el proyecto, no se considera necesario un sistema de drenaje de los estériles, y se realizará un muestreo diario de la composición físico-química del agua bombeada durante las labores de desecación, con análisis de los sólidos en suspensión, el pH y los metales disueltos, para garantizar su vertido a cauce.

Los trabajos de desagüe se acometerán en el menor plazo posible, durante los meses de junio, julio y/o agosto, tal y como se indica en el Apartado 3.2.2 del Anejo nº 8 del proyecto.

## **6.6 REMODELADO DE LA INSTALACIÓN DE RESIDUOS MINEROS**

Los trabajos de remodelado del terreno objeto de rehabilitación se describen en el Anejo nº 5 (Movimientos de tierras) en cuanto a las características y procedencia de los materiales a utilizar en el remodelado de la instalación de residuos y a los volúmenes de los materiales de relleno previstos en proyecto.

En el Documento nº 2 (Planos) se incluyen los planos y secciones transversales y longitudinal del depósito de residuos una vez finalizados los trabajos de rehabilitación y conformada la superficie definitiva de restauración (Planos 4.2 y 4.3), así como la topografía en planta con indicación de las pendientes de vertido del terreno.

De acuerdo con dichos documentos, se establece una pendiente del terreno de entre 1,5% y 4% hacia el sur-sureste que permitirá la evacuación de aguas de escorrentía superficial hacia el canal perimetral situado al sur. La superficie remodelada final se muestra en el Plano 7.1 (Fase 5. Fin del relleno. Recuperación ambiental) del Documento nº 2 (Planos) del proyecto de cierre y clausura.

Como se indica en el proyecto revisado, cualquier material de relleno que se vaya a utilizar en los trabajos de remodelación deberá ser autorizado previamente por la Sección de Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Así mismo, hay que indicar que como parte de los trabajos de remodelado de la instalación de residuos mineros, los trabajos de movimiento de tierras asociados a la creación del humedal que se describe en el Anejo nº 10 (Humedal) del Documento nº 1 (Memoria) del proyecto de cierre y clausura.

## **6.7 SISTEMAS DE SELLADO O IMPERMEABILIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA INSTALACIÓN DE RESIDUOS MINEROS**

En el Apartado 5 (Propuestas de Actuación) de la Memoria (Documento nº 1) del proyecto de cierre y clausura se enumeran una serie propuestas iniciales de actuación, seleccionándose como alternativa de recuperación ambiental más idónea la correspondiente a la "Cobertura de Suelo Saturado". Dicha solución, como se indica en el proyecto, busca reducir la infiltración y difusión del depósito de relaves manteniendo la saturación en una capa superficial de material finamente dividido.

Se proponen las siguientes actuaciones:

- Deseccación y gestión del drenaje (bombeo de la lámina de agua y rebaje de la cota de alivio).
- Precarga de mejora (vertido de material de mejora del terreno).

- Drenaje y restauración de la superficie (colocación de material de filtro y protector, creación de canales de drenaje y restauración ambiental).

Se indica también, en el proyecto revisado, que como materiales de precarga se podrán utilizar, además de tierras externas previamente autorizadas, los residuos procedentes de los montículos de mineral existentes en la zona de bocamina y del deslizamiento producido en 2012-2013, según se indica en el Apartado 3.1 del Anejo nº 5 (Movimiento de tierras) del proyecto de cierre y clausura.

En el caso del humedal que se propone, la impermeabilización del mismo se describe en el Apartado 5.3 (Humedal) del Documento nº 1 (Memoria) y del proyecto, y en el Anejo nº 10 del mismo, estando constituido por los siguientes elementos:

- Capa de material arcilloso
- Geotextil de separación de 300 g/m<sup>2</sup>
- Geomembrana bentonítica ( $k = 10^{-11}$  m/s)
- Capa de roca en rama de 0,50 m de espesor
- Tierra vegetal de 0,20 m de espesor

## **6.8 DISPOSITIVOS DE RECOGIDA DE FILTRACIONES Y LIXIVIADOS**

En el proyecto revisado se indica que la instalación de residuos mineros ya dispone de una serie de elementos para la recogida de filtraciones y lixiviados a través del dique de la presa, que no dejarían de funcionar con la solución de cierre y clausura planteada.

Estos elementos, junto con otros (también destinados a canalizar escorrentía/infiltraciones), se identifican en el Apartado 2 (Descripción de Trabajos Recientes) del Anejo nº1 (Trabajos previos y situación actual) del Documento nº 1 (Memoria) del proyecto revisado.

Como se indica en el mencionado Apartado 2, durante los años 2010 y 2011 se llevaron a cabo las siguientes actuaciones "con objeto de mantener el estado del depósito en un adecuado funcionamiento":

- Actuación nº 1: Nuevo tubo bocamina a balsa de decantación
- Actuación nº 2: Nuevo aliviadero de hormigón en canal perimetral
- Actuación nº 3: Nuevo canal aliviadero

- Actuación nº 4: Regularización coronación presa
- Actuación nº 5: Recrecido canal escalonado
- Actuación nº 6: Nuevo dren pie de presa

La ubicación y detalle de estas actuaciones se muestra en el Apéndice 1: "Planos de últimas labores realizadas" del proyecto revisado.

Como parte del Anejo nº 1 se incluye un reportaje fotográfico realizado en 2021 de los diferentes elementos indicados en las actuaciones relacionadas anteriormente.

## **6.9 CIERRE Y SEÑALIZACIÓN DE LAS OBRAS**

---

En diferentes apartados del Documento nº 5 (Estudio de Seguridad y Salud) del proyecto de Cierre y Clausura, objeto de revisión, se describen las características de la señalización que se ha previsto colocar durante los trabajos proyectados (Apartado 5.5.1 (Señalización provisional de tráfico), Apartado 5.5.3 (Señalización Provisional de Obras) y Apartado 6.6 (Señalización)).

En cuanto al cerramiento de la zona donde se proyectan desarrollar los trabajos, en el Apartado 5.1.2 y Apartado 5.5.2 se establece que se colocará un cerramiento perimetral de las zonas en obra e instalaciones, con una altura mínima de 2 metros y con una puerta de acceso para camiones de 4,50 metros de anchura.

Si bien en el proyecto se indica que la zona donde se desarrollen los trabajos se dispondrá de un cerramiento perimetral, no se indica en ninguno de los planos adjuntos el trazado de dicho vallado perimetral (DL).

## **6.10 OTRAS ACCIONES DE REHABILITACIÓN**

---

De acuerdo con el proyecto de Cierre y Clausura, se propone como parte de los trabajos a llevar a cabo para la rehabilitación de la zona afectada por el depósito de estériles mineros, la construcción de un humedal situado entre la bocamina de la antigua explotación y el propio depósito de residuos mineros. El objetivo de dicho humedal es, tal y como se indica en el proyecto revisado, "reordenar la cubierta saturada del proyecto para generar un humedal en la zona de cabecera, de modo que se continúe con la conservación de las especies de la balsa de estériles".

En el Anejo nº 10 (Humedal) del Documento nº 1 (Memoria) del proyecto de cierre y clausura se justifica la solución adoptada, incluyéndose también las características geométricas del mismo, el modo de ejecución de los trabajos de movimiento de tierras, las características de los dispositivos de entrada y salida de aguas, el sistema de impermeabilización del vaso y la protección de taludes, y las características del camino de acceso.

Así mismo, en dicho Anejo nº 10 se incluye un análisis de estabilidad geotécnica y una estimación de volumen de vertido en caso de rotura del dique de cierre hacia el Arroyo Gezala (unos 8.600 m<sup>3</sup>), sin suponer riesgo a terceras personas, aunque no se incluye la justificación de dicho volumen de vertido (**DL**).



## 7. DICTAMEN

De acuerdo con las comprobaciones realizadas durante la revisión del "Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación de la balsa de estériles de la Mina Troya", y conforme a lo establecido en el requerimiento de 01/12/22 de la Autoridad Competente, APPLUS ORGANISMO DE CONTROL, S.L.U.,

DICTAMINA que:

1. Como resultado de la revisión del documento "Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la Balsa de estériles de la Mina Troya en Guipúzcoa", se comprueba que en el mismo se contemplan y justifican todos los aspectos enumerados en el artículo 34 del R.D. 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
2. Con objeto de llevar acabo el control y seguimiento de la integridad estructural del dique del depósito de estériles, se propone en el proyecto de cierre y clausura la instalación de una instrumentación de control geotécnico y la lectura periódica de la misma. La instrumentación propuesta se considera adecuada para el control geotécnico, aunque se debe establecer tanto la frecuencia de lectura de la instrumentación como los umbrales de emergencia y las medidas a tomar para cada uno de dichos umbrales (**DL**).
3. También se propone, con objeto de realizar el control de los vertidos, de un muestreo periódico hidro-químico de los mismos, debiéndose establecer la periodicidad de dichos controles (**DL**).
4. En el proyecto se indica que la zona donde se desarrollen los trabajos se dispondrá de un cerramiento perimetral, no se indica en ninguno de los planos adjuntos el trazado de dicho vallado perimetral (**DL**).
5. En el Anejo nº 10 del Documento nº 1 (Memoria) del proyecto revisado se indica que el volumen de vertido en caso de rotura del dique de cierre del humedal propuesto sería de unos 8.600 m<sup>3</sup>, pero no se justifica dicho volumen (**DL**).

6. En el proyecto revisado se evalúan diferentes soluciones posibles para el cierre y clausura de la instalación de residuos mineros, considerándose como óptima la denominada de "Cobertura de suelo saturado", aumentándose también la seguridad de la instalación de residuos respecto al estado actual de la misma. Dicha solución, propuesta para esta zona, y de acuerdo con lo indicado en la "Guía para la Rehabilitación de Instalaciones Abandonadas de Residuos Mineros (2019)" publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica, se considera una de las opciones óptimas para la rehabilitación de este depósito de estériles mineros.

A la vista de las observaciones y comprobaciones realizadas, y de los resultados obtenidos de las mismas, se emite un Dictamen Favorable condicionado.

Sevilla, 5 de diciembre de 2022



Applus+  
Applus Organismo de Control S.L.U.

Juan L. Gutiérrez Villarías  
Inspector Seguridad Minera

| CONTROL ORIGINALES | Asignado a               |   |
|--------------------|--------------------------|---|
| 2 COPIAS           | ASFALTOS URRETXU, S.A.   | ✓ |
| 1 COPIA            | APPLUS NORCONTROL S.L.U. |   |

ANEJOS

DICTAMEN SOBRE PROYECTO DE CIERRE, CLAUSURA Y RECUPERACIÓN  
AMBIENTAL DE LA Balsa de Estériles de la Mina Troya (Guipuzcoa)

---

**ANEJO I: DOCUMENTACIÓN REVISADA**

Para la realización del presente dictamen se ha tenido en consideración la siguiente documentación aportada por ASFALTOS URRETXU, S.A.:

- ❑ Proyecto de Cierre, Clausura y Recuperación Ambiental de la Balsa de Estériles de la Mina Troya en Guipúzcoa (IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A.U., Octubre 2022).
- ❑ Requerimiento de fecha 01/12/2022 del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Delegación Territorial de Gipuzkoa de Administración Industrial del Gobierno Vasco.
- ❑ Guía para la Rehabilitación de Instalaciones Abandonadas de Residuos Mineros (2019). Ministerio para la Transición Ecológica (Madrid).





#### 4. ANEXO II. Contaminación del acuífero de Troya (Mutiloa, Guipúzcoa) por oxidación de sulfuros: Atenuación natural e inducida”.

## CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO DE TROYA (MUTILOA, GUIPÚZCOA) POR OXIDACIÓN DE SULFUROS: ATENUACIÓN NATURAL E INDUCIDA

IRÍBAR SORAZU, Vicente\*; IZCO ARMENDÁRIZ, Félix\*\*; TAMÉS URDIAIN, Patxi\*\*; ANTIGÜEDAD AUZMENDI, Iñaki\* y DA SILVA RODRIGUES, Andoni\*\*

(\*) Universidad del País Vasco. Dpto. Geodinámica. Apdo. 644. 48080 BILBAO

(\*\*) Diputación Foral de Guipúzcoa. Dpto. de Obras Hidráulicas. Plaza de Gipuzkoa  
s/n 20004 SAN SEBASTIÁN

### RESUMEN

En el acuífero kárstico de Troya se encuentra una mineralización de sulfuros. Para la explotación de la mineralización, se deprimió el nivel piezométrico desde la cota 435 m, hasta la cota 190 m, secando el manantial que hasta entonces drenaba el acuífero. El abandono de la mina en 1993, provocó el ascenso del nivel piezométrico, hasta que en 1995 alcanzó la cota de 335 m, y el agua comenzó a manar por la Bocamina de la Rampa N, el punto de acceso a la mina situado a cota más baja. El agua que surge por la Bocamina tiene un contenido elevado en  $\text{SO}_4$  (1500 mg/l) y de metales disueltos (50 mg/l de Fe y 5 mg/l de Zn), aunque el pH es neutro debido a la disolución de calcita y al escape de  $\text{CO}_2$ . La contaminación es debida a la oxidación de la pirita y marcasita, al poner en contacto el yacimiento con el nivel piezométrico y el aire en una zona de las galerías que se encuentran parcialmente inundadas. Actualmente el agua de la Bocamina se deriva a la balsa de estériles donde precipita el Fe, esta actuación ha permitido la recuperación del río Gesala.

**Palabras Clave:** Minería, sulfuros, contaminación, metales pesados, atenuación, Guipúzcoa.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, debido al cierre de minas, han surgido problemas de contaminación originados por la oxidación de pirita, que provoca la acidificación del agua, y la disolución de metales en medio ácido. Paralelamente, se han desarrollado métodos específicos para el tratamiento de éstas aguas mediante drenes de caliza anóxicos para neutralizar la acidez (HEDIN *et al.* 1994), y mediante humedales para precipitar el Fe (WATZ-

LAF, 1998). En el caso de la Mina Troya una mina de Pb-Zn que comenzó a explotarse en 1976, y se abandonó en 1983, la reacción con la caliza en medio anóxico se realiza en el mismo acuífero, y la precipitación del Fe se ha conseguido al derivar el agua a la antigua balsa de estériles. Los datos e interpretaciones que se exponen son un resumen del seguimiento realizado por la Diputación Foral de Guipúzcoa (DFG), y de un estudio realizado por la DFG en colaboración con la Universidad del País Vasco (DFG, 1998).

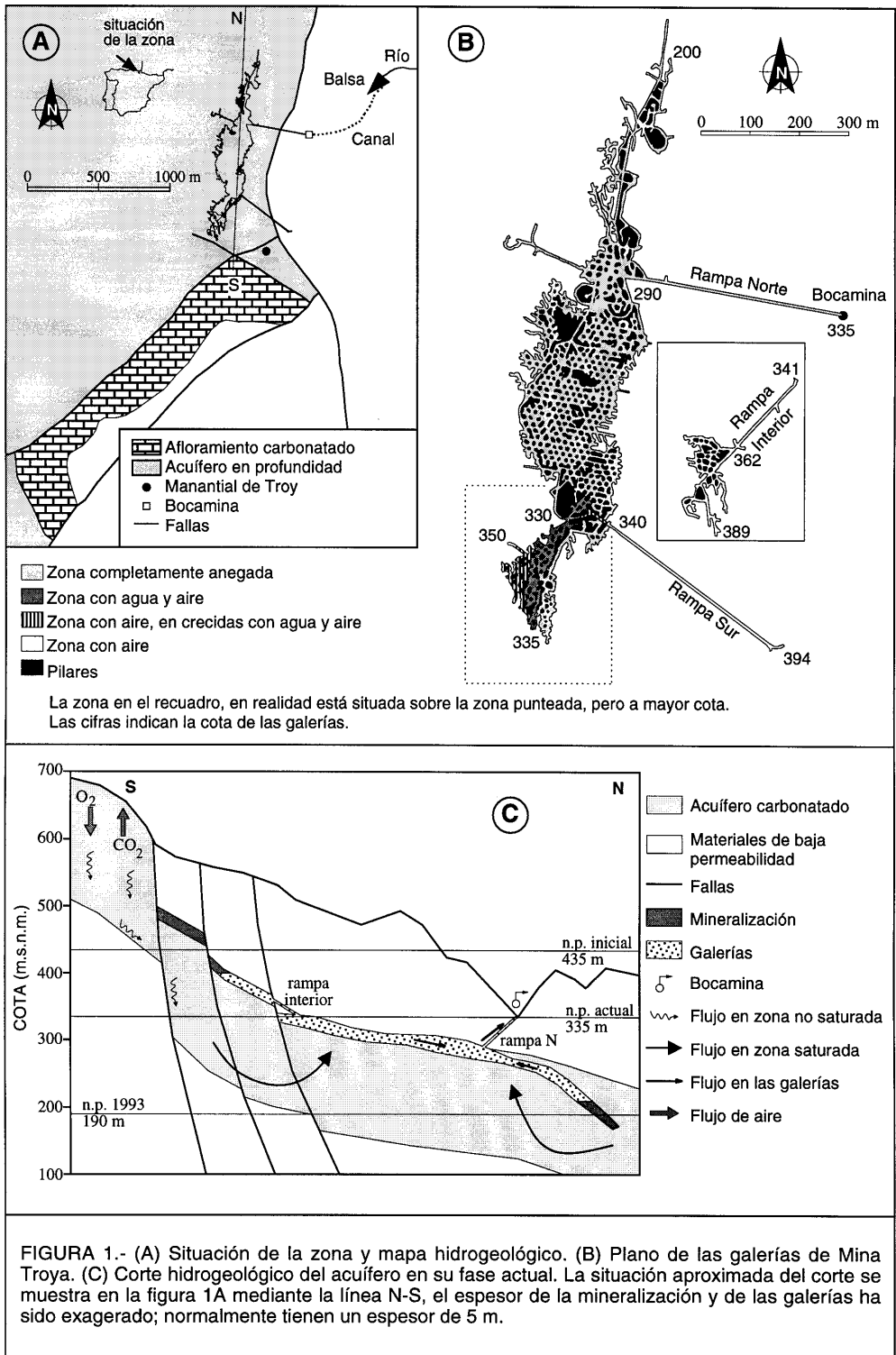
## **EL ACUÍFERO DE TROYA Y LA MINA TROYA**

El acuífero de Troya se asocia a una plataforma carbonatada de unos 200 m de potencia (figs. 1A y 1C). La recarga se realiza a través de la infiltración de la precipitación sobre las calizas y equivale a unos 37 l/s. Debido a las actuaciones sobre el acuífero, su punto de descarga ha cambiado a lo largo del tiempo. En Junio de 1976 el manantial Troy (cota 435 m) tenía un caudal de 34 l/s. En 1977 durante la perforación de la Rampa S, ésta alcanzó el techo del acuífero, produciéndose una irrupción de agua (FERNÁNDEZ RUBIO *et al.* 1983), y el caudal del manantial Troy se redujo hasta que se agotó definitivamente en 1982. Entre 1977 y 1982 el acuífero era drenado desde la Rampa S, y de un sondeo surgente. El drenaje del acuífero comenzó en Octubre de 1982 y finalizó en Enero de 1994, se realizó bombeando pozos situados dentro de la mina (54 l/s), el nivel piezométrico fue deprimido hasta la cota 190 m (fig. 1C). Desde Enero de 1994, el nivel piezométrico del acuífero asciende hasta que el 8/3/1995 comienza a salir agua por la Bocamina de la Rampa N (cota 335 m). Desde entonces el nivel piezométrico se sitúa en torno a los 335 m, y las oscilaciones piezométricas son del orden de 5 m.

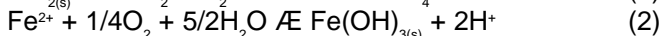
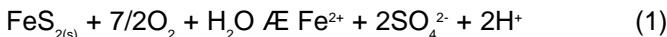
La mineralización se sitúa en el techo de las calizas, (FERNÁNDEZ MARTÍNEZ *et al.* 1996). Después del abandono de la mina, en la misma quedan 987000 t de pirita-marca-sita, 355000 t de blenda, 11000 t de calcopirita y 18000 t de galena (DFG, 1994). Hay una aureola de alteración que rodea al yacimiento y está formada por siderita, dolomita, sílice y diseminaciones de sulfuros. La mina Troya es subterránea y está conectada con el exterior a través de las Rampas N y S, 2 chimeneas de ventilación y varios sondeos. El volumen de hueco total es de 0.46 hm<sup>3</sup>. Hay dos grupos de galerías conectadas por una rampa interior (fig. 1B), las de la zona N están entre las cotas 210 y 350 m, y las de la zona S entre las cotas 362 y 392 m. Teniendo en cuenta la posición del nivel piezométrico, se deduce que la mayor parte de las galerías de la zona N están anegadas (0.38 hm<sup>3</sup>), pero entre las cotas 335 m y 340 m, hay unas galerías que se encuentran con aire y agua; el volumen de la cámara de aire que se encuentra en las galerías de la zona N es de 42300 m<sup>3</sup>, y la superficie aire-agua es de 5800 m<sup>2</sup>. Se ha calculado que el tiempo medio de permanencia del agua en las galerías es de unos 140 días y que la velocidad de circulación en la Rampa N debe ser del orden de 127 m/d.

## **CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO DE TROYA: ATENUACIÓN NATURAL**

Aunque durante el drenaje de la mina el contenido en SO<sub>4</sub>, Ca y Mg aumentaron de forma notable, actualmente, hay un aumento más importante en los mismos iones, y además aparecen metales disueltos con concentraciones de varios mg/l (tabla 1). La con-



taminación del agua de la Bocamina se debe a la oxidación del Fe<sub>2</sub>S y de otros sulfuros en las galerías, ya que durante la fase de drenaje el agua circulaba por el acuífero y actualmente lo hace a través de las galerías. La oxidación del Fe<sub>2</sub>S por se produce según las reacciones (1) y (2), ambas generan acidez.



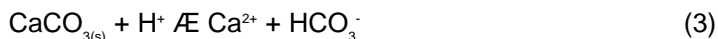
La oxidación de pirita requiere un consumo importante de O<sub>2</sub>. Los cálculos indican que hay un consumo de aire del orden de 8.000 m<sup>3</sup>/d. La entrada de aire es posible a través del afloramiento carbonatado, pero podría entrar desde algunos sondeos ó desde la Rampa S. La reacción con los sulfuros debe producirse en la zona de las galerías con aire y agua, posteriormente conforme el agua avanza hacia la Bocamina, todo el O<sub>2</sub> disuelto en el agua se consume ya que a la salida se observa que sale NH<sub>4</sub> y Fe disuelto (fig. 1C).

En el momento en que surgió el agua de la Bocamina, su pH era de 6.5, posterior-

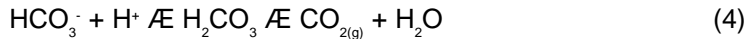
|                  | TROY<br>(1976) | Pozos drenaje<br>(1983-1993) | Bocamina<br>(1995-1997) | Filtraciones<br>Balsa (97-98) | Rebose Balsa<br>(1997-1998) |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| pH               | 7.2            | 7.6                          | 6.8                     | 7.7                           | 8.0                         |
| HCO <sub>3</sub> | 220            | 350                          | 358                     |                               | 216                         |
| SO <sub>4</sub>  | 46             | 126                          | 1474                    | 754                           | 921                         |
| Ca               | 68             | 110                          | 580                     | 319                           | 379                         |
| Mg               | 11             | 25                           | 68                      |                               | 43                          |
| Fe               | 0.006          | 0.03                         | 60                      | 0.03                          | 0.7                         |
| Mn               |                | 0.16                         | 1.2                     | 0.01                          | 0.3                         |
| Zn               |                | 0.166                        | 4.7                     | 0.04                          | 0.9                         |
| Ni               |                |                              | 0.06                    | 0.008                         | 0.015                       |
| Pb               |                |                              | 0.005                   | 0.005                         | 0.008                       |
| Al               | 0.042          | 0.13                         | 2.3                     | 0.03                          | —                           |

**Tabla 1.-** Análisis químicos del acuífero de Troya, unidades en (mg/l).

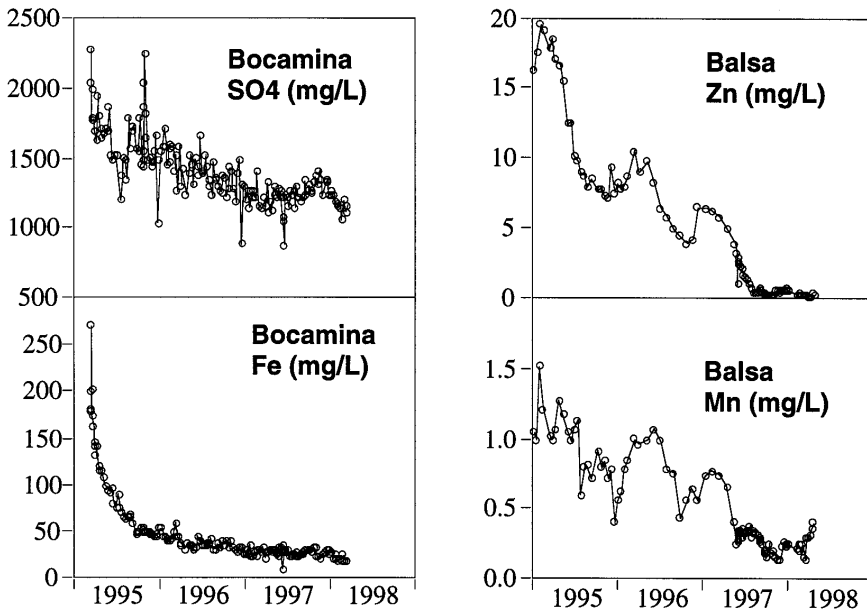
mente el pH del agua ha ido aumentando hasta un valor de 6.9. Dado que el pH es neutro, la acidez producida por la oxidación de la pirita se consume disolviendo calcita según la reacción (3). Según ésta, la concentración teórica en HCO<sub>3</sub> debería ser del orden de 1000 mg/l, dado que la concentración observada es menor, es posible que exista un escape de CO<sub>2</sub> mediante la reacción (4), que también consume acidez.







El aumento en la concentración en Ca, limita la oxidación de sulfuros ya que se alcanza la saturación en yeso. Se ha calculado que en el período (8/3/95 - 17/6/97), 28 meses, se han oxidado 2100 t de pirita y se han disuelto 2900 t de calcita. En relación con la pirita contenida en la mineralización, la pirita oxidada supone un 20 % de la que se encuentra en 1 m en la vertical entre las cotas 320-340 m. La existencia de un pH neutro ha determinado que el Pb, Cd, y Cr sólo se hayan detectado de forma esporádica, y que el Cu, Hg, As, y Se no se hayan detectado en ningún análisis. Ello puede ser debido a que no se haya producido ataque a sus minerales, ó que si se ha producido disolución, estos iones hayan precipitado. Además, el Fe total descargado en la Bocamina es muy inferior al disuelto por oxidación de pirita, por lo que gran parte puede haber precipitado como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .



**Figura 2.** Evolución de la calidad química en la Bocamina y en la Balsa.

Por otra parte, la concentración en  $\text{SO}_4$  y metales en la Bocamina es decreciente a lo largo del tiempo (fig. 2). Las altas concentraciones observadas durante el primer mes de descarga pueden ser debidas al lavado de sulfatos hidratados de Fe y Zn formados durante años en las caras descubiertas del mineral (DFG, 1994). El descenso observado en la concentración en  $\text{SO}_4$  y Ca, hace pensar que si la concentración en  $\text{SO}_4$  baja de forma logarítmica, en el año 2007 se alcanzará una concentración de unos 100 mg/l. Ello puede ser debido, bien al agotamiento del mineral en la zona de contacto aire-agua, ó bien debido a que haya precipitación de  $\text{FeOOH}$  sobre la superficie de la pirita, formando

una barrera que evita la difusión de O<sub>2</sub>, ralentizando la tasa de oxidación (NICHOLSON *et al.* 1990).

### ATENUACIÓN INDUCIDA

Desde Marzo de 1995 hasta Mayo de 1997, el agua de la Bocamina iba directamente al río Gesala. La contaminación en el arroyo Gesala y en su receptor, el Estanda, fue importante (Izco *et al.* 1996). El alto contenido en metales y la precipitación de hidróxidos de Fe en el lecho del río supuso la práctica desaparición de la vida piscícola, bajando el índice biótico BMWP de 127 a 14, y el número de familias de 14 a 5.

A partir de Mayo de 1997 el agua de la Bocamina ha sido derivada a la balsa de estériles con el fin de aprovechar su capacidad depuradora, y el agua que va a parar al río es el rebose de esta balsa. La balsa fue construida mediante presa de escollera con núcleo de arcilla, tiene 34 m de altura y una capacidad total de 1 hm<sup>3</sup>. En el fondo de la balsa se encuentra principalmente pirita, y además del Fe hay otros metales, (Zn, As, Pb y Cu), éste residuo está sumergido y protegido de la oxidación por una columna de agua que en

|                 | Río Gesala       |                  | Río Estanda      |                  |                  |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                 | Mar 95<br>May 97 | May 97<br>Mar.98 | Ene.93<br>Mar.95 | Mar.95<br>May.97 | May.97<br>Mar.98 |
| SO <sub>4</sub> | 1252             | 919              | 165              | 345              | 264              |
| Fe              | 27               | 2.7              | 0.3              | 4.0              | 0.8              |
| Mn              | 0.9              | 0.2              | 0.07             | 0.23             | 0.07             |
| Al              | 2.2              | -                | 1.13             | 0.57             | 0.36             |
| Zn              | 3.7              | 0.6              | 0.09             | 0.63             | 0.22             |
| Ni              | 0.036            | 0.013            | 0.004            | 0.030            | 0.006            |
| Pb              | 0.009            | 0.007            | -                | -                | -                |

**Tabla 2.** Evolución de la calidad química en los ríos Gesala y Estanda.

su parte central alcanza una profundidad de 4.3 m. Tiene unas filtraciones con un caudal medio de 1 l/s. Desde que cesó la actividad minera, la evolución de la calidad del agua de la balsa ha sido favorable (fig. 2); las aguas están mezcladas sin que se observe estratificación, el O<sub>2</sub> disuelto está en niveles próximos a saturación, el pH ha subido hasta alcanzar niveles de 8.2, y es destacable el descenso progresivo de la concentración en Mn, Ni, y especialmente en Zn en el agua de la balsa.

A partir de la conexión del agua de la Bocamina con la balsa se produce una recuperación importante en los ríos Gesala y Estanda (tabla 2). La concentración de metales desciende y los fangos acumulados en el lecho del cauce han desaparecido arrastrados por las avenidas. En cuanto a la vida piscícola, el arroyo Gesala, que contenía una pobla-

ción importante de *Phoxinus-phoxinus* (95 ejemplares), en el año 1995 pasa a la práctica desaparición, con un sólo ejemplar. El año 1997, se observa una recuperación importante, con 32 ejemplares.

## **CONCLUSIONES**

En esta comunicación se ha presentado un caso concreto de contaminación de aguas subterráneas por abandono de actividad minera. Las conclusiones que se extraen del mismo son:

Para conocer el origen de la contaminación y proponer acciones de remedio es necesario estudiar el funcionamiento hidrogeológico del sistema incluyendo las escombreras y balsas de estériles.

En algunos casos la atenuación natural de la contaminación puede ser importante, en este caso el acuífero carbonatado funciona como un análogo de un sistema de drenes de caliza anóxicos.

Finalmente, para proponer acciones de remedio es necesario tener en cuenta el conjunto de instalaciones mineras, en el caso de la mina Troya, la utilización de la balsa de estériles como estanque aeróbico, no sólo ha resultado un sistema de tratamiento pasivo barato, además, la introducción del agua de la mina en la balsa ha mejorado la calidad del agua de la misma.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

DIPUTACIÓN FORAL DE GUIPÚZCOA (DFG). (1994). Estudio hidrogeológico del Acuífero de Troya. *Informe realizado por HFA. Troya para la DFG*. 149 pp. y anexo. DIPUTACIÓN FORAL DE GUIPÚZCOA (DFG). (1998). Estudio sobre el funcionamiento, la contaminación y las posibilidades de recuperación del acuífero de Troya. (Mutiloa, Gipuzkoa). *Informe realizado por el Grupo de Hidrogeología de la EHU/UPV para la DFG*. 97 pp. y anexo.

FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, J. y VELASCO, F. (1996). The Troya Zn-Pb carbonate-hosted Sedex deposit, Northern Spain. In: *Society of Economic Geologists. Special Publication No. 4*, pp. 346-377.

FERNÁNDEZ RUBIO, R; FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, R; BOTÍN, J.A; LAVANDEIRA, A. (1983). Investigación hidrogeológica preliminar en la mina de la Troya (Guipúzcoa). *Hidrogeología y recursos hidráulicos*, vol VIII, pp. 115-124. III Simposio de Hidrogeología. Madrid.

HEDIN, R.S; WATZLAF, G.R. & NAIRN R.W. (1994). Passive Treatment of Acid Mine Drainage with Limestone. *Journal of Environmental Quality*. 23, pp. 1338-1345.

IZCO, F; TAMES, P; DA SILVA, A. y FANO, H. (1996). Afección ambiental producida por la explotación minera en el acuífero urgoniano de Troya (Gipuzkoa). *Actas de las Jornadas sobre "Recursos hídricos en regiones kársticas: exploración, explotación, gestión y medio ambiente"*. pp. 105-120. Vitoria-Gasteiz.

NICHOLSON, R.V; GILLHAM, R.W. & REARDON, E.J. (1990). Pyrite oxidation in carbonate-buffered solution: 2. Rate control by oxide coatings. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, pp. 395-402.

WATZLAF, G.R. (1998). Passive treatment systems for the treatment of mine drainage: constructed wetlands. *Reunión Científico-Técnica sobre el agua en el cierre de minas*. Universidad de Oviedo.