

# Remine Water

Español

Solar powered water reuse  
and resource recovery in mining

reminewater.eu  
#RemineWater



LIFE17  
ENV/ES/000315

# ÍNDICE

<b>01</b>	Objetivos _____	3
<b>02</b>	Datos del proyecto _____	4
<b>03</b>	De la minería lineal a la circular _____	5
<b>04</b>	Caso de estudio _____	6
	Planta de recuperación de agua	7
	Planta de recuperación de recursos	8
<b>05</b>	Resultados obtenidos _____	9

# 01. OBJETIVOS

El principal objetivo de REMINE WATER era proteger el medio ambiente de los vertidos de aguas residuales de procesos industriales (por ejemplo, alta salinidad o metales) y residuos de procesos para contribuir a la economía circular mediante la recuperación de agua, metales, sales y ácidos fuertes y su valorización *in-situ*.

Los principales objetivos del proyecto eran:

- Validar un tren de tratamiento que integre tecnologías innovadoras para el tratamiento con salmuera de aguas procesadas de industrias mineras y metalúrgicas.
- Reducir el consumo de energía y CO<sub>2</sub> Huella de tratamiento de salmuera mediante la integración de energía solar térmica al tren de tratamiento.
- Desarrollar tecnologías para recuperar ácidos minerales fuertes y metales valiosos del agua de proceso de minería antes de su descarga a aguas superficiales.
- Evaluar la replicabilidad y transferibilidad de la solución demostrada a otros sitios mineros y metalúrgicos europeos considerando cuestiones técnicas, económicas y ambientales, así como el marco legal y regulatorio.

Para garantizar la consecución de los objetivos principales del proyecto, se definieron un conjunto de objetivos específicos cuantificables:

- Reducción del 50% de la salinidad y concentración de sulfatos de los vertidos fluviales de aguas residuales de la industria minerometalúrgica.
- Reducción del 15% del consumo de agua de la industria minera y metalúrgica mediante el fomento de la reutilización del agua in situ.
- Recuperación del 90% del agua procedente de concentrados de ósmosis inversa vertidos.
- Reducción del 95% de la salinidad de los concentrados de ósmosis inversa para la reutilización del agua.

- Reducción del 50% de los gastos operativos respecto a la concentración de salmuera térmica convencional.
- Recuperación del 90% de ácido sulfúrico, 70% de cobre y 40% de zinc, lo que representa un incremento del 1% de la producción total de metales.
- Reducción del 70% del CO<sub>2</sub> (mediante el uso de energía solar térmica) en comparación con los procesos convencionales de evaporación térmica presentes en las aguas residuales tratadas



# 02.

## DATOS DEL PROYECTO

LIFE REMINE WATER fue un proyecto financiado por el programa LIFE (el instrumento de financiación de la UE para el medio ambiente y la acción climática). El presupuesto total asignado ha sido de 1.812.708

€ (1.087.623 € subvencionados por el programa LIFE). El proyecto tuvo una duración de 60 meses, desde octubre de 2018 hasta octubre de 2023. El consorcio estuvo formado por cuatro socios: Cetaqua, Sandfire Matsa, IMN y NewHeat.

### Socios del proyecto



Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua ha sido el coordinador de este proyecto. Cetaqua es un modelo de colaboración público-privada que nace para asegurar la sostenibilidad y eficiencia del ciclo del agua teniendo en cuenta las necesidades regionales.

Durante el proyecto, Cetaqua ha sido la encargada del diseño y desarrollo de los pilotos del proyecto. Cetaqua ha realizado la operación piloto, seguimiento, análisis e integración de resultados. Además, han realizado el análisis técnico, ambiental y económico del proceso, incluyendo el Coste del Ciclo de Vida (LCC) y el Análisis del Ciclo de Vida (LCA).



Sandfire Matsa es una empresa minera española moderna y sostenible que posee y opera tres minas en la provincia de Huelva: las minas de Aguas Teñidas y Magdalena ubicadas en Almonaster la Real, y la mina Sotiel ubicada en Calañas, en la provincia de Huelva.

Su papel en REMINE WATER consistió en evaluar la idoneidad del lugar de demostración y realizar la instalación de las plantas piloto en sus instalaciones. Además, operaron los pilotos del proyecto y evaluaron los requisitos técnicos para una implementación a gran escala, considerando los principios de los esquemas circulares.



El Instituto de Metales No Ferrosos (IMN) es un centro de investigación de la industria polaca de metales no ferrosos. Las complejas actividades del instituto cubren todas las etapas de la producción de materiales metálicos: desde el tratamiento de minerales hasta las tecnologías para la fabricación de productos modernos cumpliendo con todos los estándares medioambientales.

Durante el proyecto, el IMN evaluó el plan de replicabilidad de los innovadores trenes de tratamiento para la industria minera y evaluó su transferibilidad a otros sectores.



Newheat desarrolla, construye y opera plantas de producción de calor, producidas exclusivamente a partir de tecnologías de energía renovable para las necesidades de los procesos industriales.

El papel de Newheat en el proyecto consistió en el diseño y seguimiento de la planta piloto de energía termosolar. Además, han elaborado un modelo de negocio del uso de energía solar térmica en la industria minera.

# 03. DE LA MINERÍA LINEAL A LA CIRCULAR

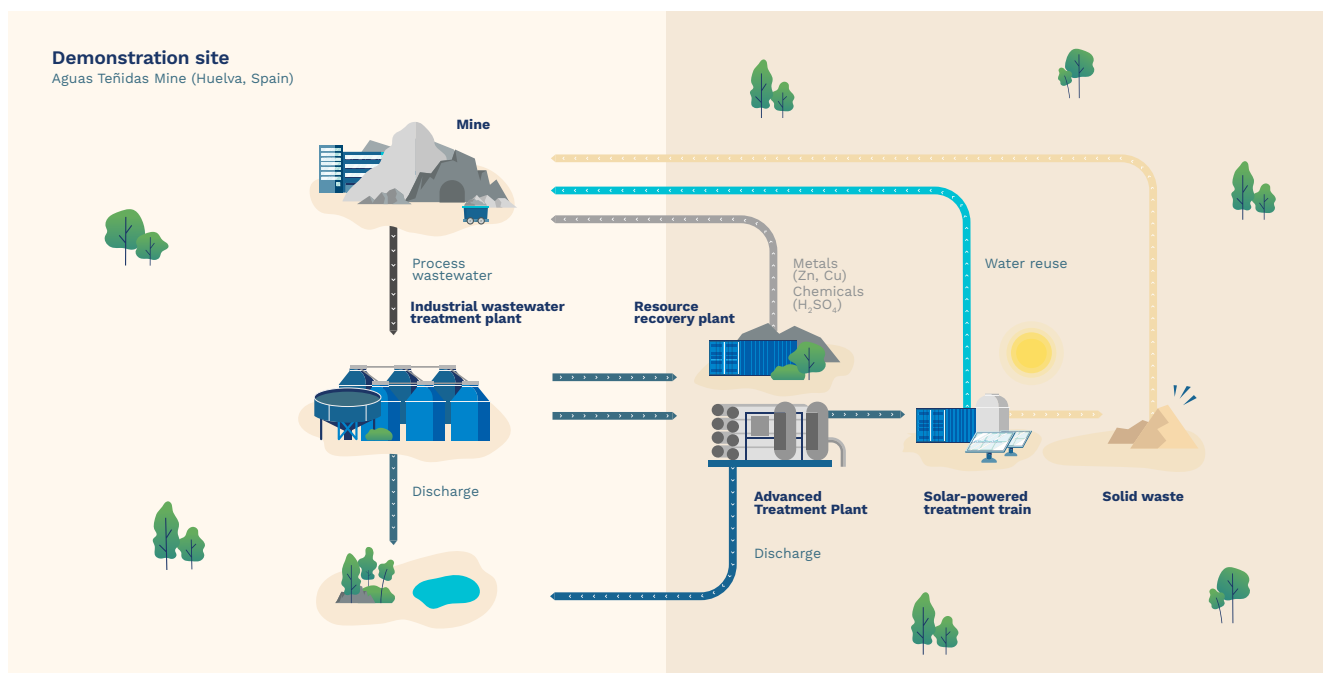
La escasez de agua es uno de los principales desafíos globales de nuestro tiempo, representando una amenaza no sólo en los ecosistemas sino un impacto directo en el crecimiento económico. El cambio climático y las continuas sequías que sufren los países del sur de Europa están obligando a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del agua.

El sector minero es un importante consumidor de agua en Europa, ya que el agua es un componente crítico en el funcionamiento de una mina. A pesar de la mejora en los procesos de tratamiento de aguas residuales y la implementación de la reutilización parcial de caudales internos para reducir la huella hídrica, todavía se vierte agua tras asegurar su calidad. En este contexto, es necesario implementar esquemas de reutilización del agua, minimizar las descargas de salmueras y reducir la dependencia de fuentes de agua externas.

Es más, los ciclos acelerados de innovación tecnológica y de crecimiento rápido en los mercados

emergentes han resultado en una creciente demanda de metales y minerales. Específicamente, los escenarios de neutralidad climática y digitalización definidos para 2030 y 2050 en el Pacto Verde de la UE requieren un consumo intensivo de materias primas críticas y estratégicas. En la operación minera, los metales valiosos se eliminan de las aguas residuales mediante precipitación en forma de lodo para su posterior gestión como residuo. En un esquema circular, las aguas residuales mineras representan una oportunidad para explotarlas como una posible fuente secundaria de recursos valiosos.

El objetivo principal de REMINE WATER era transformar el proceso actual en un proceso circular (Figura 1). REMINE WATER lo ha implementado mediante el desarrollo de un sistema que permite reutilizar el agua y recuperar los subproductos contenidos en las aguas residuales mineras, como ácidos, metales y minerales.



**Figura 1.** Transformación de un esquema de minería de operación lineal a un proceso circular en REMINE WATER.

# 04. CASO DE ESTUDIO

El lugar de demostración del proyecto fue la mina de Aguas Teñidas, propiedad de Sandfire Matsa, situada en la localidad de Almonaster la Real, en la provincia de Huelva (Suroeste de España). Esta mina produce concentrados de cobre, zinc y plomo.

Sus aguas residuales son tratadas en la planta potabilizadora ubicada en sus instalaciones (Figura 2). Su tratamiento convencional consta de dos etapas: en la primera línea de tratamiento el agua proviene de un gran estanque donde se mezclan diferentes aguas residuales (aguas de proceso y de contacto, lixiviados que contienen metales, etc). El objetivo de este paso es eliminar los tiosulfatos presentes en las aguas residuales. En la segunda línea de tratamiento se eliminan los sulfatos en forma de etringita y yeso. Sin embargo, el agua efluente todavía tiene una concentración de sulfato muy alta que se está tratando de reducir para cumplir con los futuros requisitos de descarga.

En este marco, el proyecto REMINE WATER ha desarrollado dos innovadores trenes de tratamiento. El primero tenía como objetivo minimizar los vertidos de salmuera y mejorar la calidad del agua de salida para reutilizarla internamente o descargarla si fuera necesario. El segundo tenía como objetivo recuperar valiosas materias primas de las aguas residuales (Figura 3).



**Figura 2.** Vista general de la planta de tratamiento de aguas residuales convencional de Matsa y del piloto REMINE WATER.

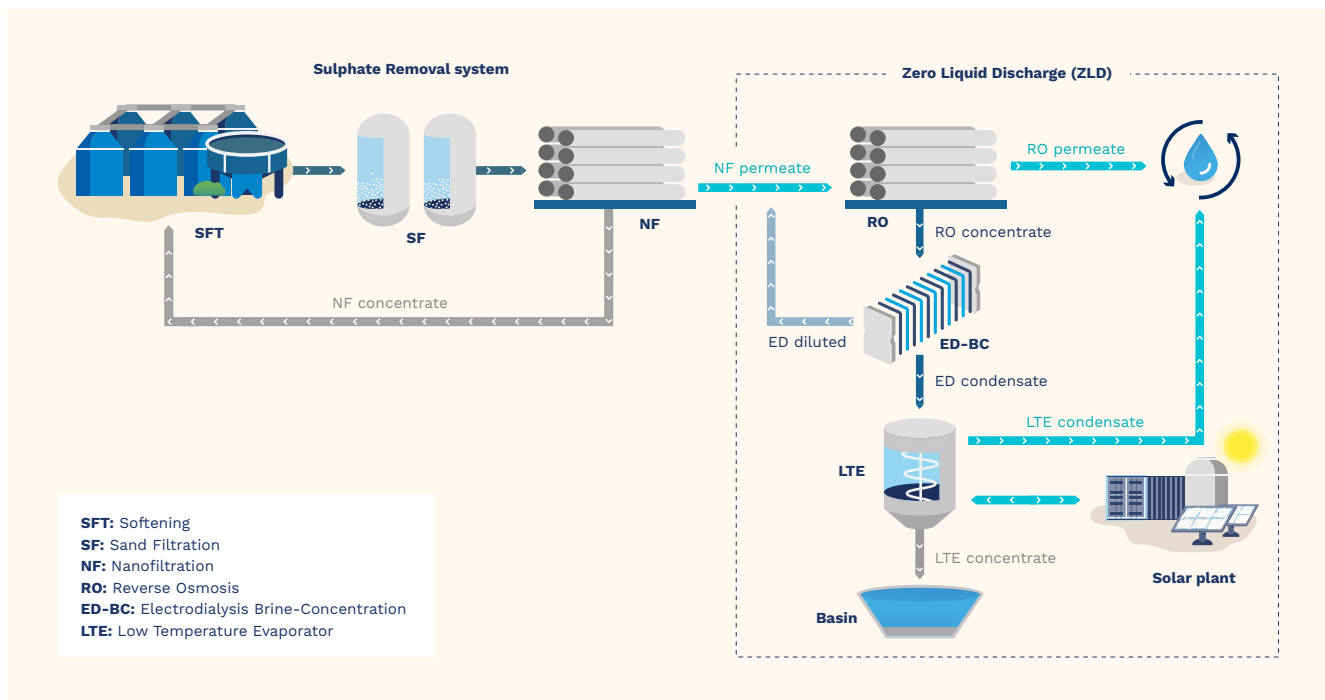


**Figura 3.** Vista general de los trenes de tratamientos innovadores desarrollados en REMINE WATER.

## PLANTA DE RECUPERACIÓN DE AGUA

Esta planta estuvo compuesta por dos etapas (Figura 4). El primero consistió en un sistema de eliminación de sulfatos y el segundo de un esquema de descarga líquida cero (ZLD, por sus siglas en inglés *Zero Liquid Discharge*). El sistema de eliminación de sulfato trataba entre 4-6 m<sup>3</sup>/h de aguas de proceso neutralizadas. El tren estaba compuesto por una planta de ablandamiento (SFT, por su abreviación del inglés *softening*) para eliminar la dureza del agua (calcio y magnesio), seguida de una unidad de ajuste de pH, filtración con arena (SF, por sus siglas en inglés *Sand Filtration*) y membranas de nanofiltración (NF, por su abreviación del inglés *Nanofiltration*) para rechazar sulfatos. El esquema de descarga líquida cero consistió en concentrar salmueras y recuperar agua con diferentes tratamientos secuenciales: las

membranas de ósmosis inversa (RO, por sus siglas en inglés *Reverse Osmosis*) trataban el permeado de la nanofiltración para obtener agua de alta calidad que podría ser reutilizada directamente por la mina. El rechazo de la ósmosis inversa se dirigía hasta la electrodiálisis-concentrador de salmueras. (ED-BC, por sus siglas en inglés *Electrodialysis Brine Concentration*), donde se concentraban las sales. La corriente de salida del concentrado de la ED-BC se trataba mediante un evaporador de baja temperatura (LTE, por sus siglas en inglés *Low Temperature Evaporator*), acoplado a una planta solar que suministraba energía térmica (Figura 5). Este último paso generaba una segunda corriente de agua de calidad para ser reutilizada y una solución de salmuera concentrada que se almacenaba en balsas internas.



**Figura 4.** Sistema de eliminación de sulfatos y esquema de planta ZLD.



**Figura 5.** Vista general de la planta solar.

## PLANTA DE RECUPERACIÓN DE RECURSOS

El objetivo de la planta de recuperación de recursos (Figura 6) fue recuperar los metales presentes en los lixiviados, principalmente cobre (Cu) y zinc (Zn), para emplearlos ya sea en la mina o en otras industrias, favoreciendo un esquema de economía circular. La planta procesó 0,1 m<sup>3</sup>/h de lixiviados. El primer paso consistió en una oxidación química y precipitación (COP, por sus siglas en inglés *Chemical Oxidation and Precipitation*) de hierro y aluminio. La corriente de salida se conducía a las resinas de intercambio iónico (IEX, por sus siglas en inglés *Ion Exchange Resins*) para eliminar selectivamente Cu y Zn. A continuación, se aplicaba ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para

regenerar las resinas y recuperar el Cu y Zn. Esta solución ácida fue tratada mediante membranas de nanofiltración (ANF, por sus siglas en inglés *Acidic Nanofiltration*) para recuperar ácido sulfúrico en la corriente de permeado y recuperar Cu y Zn en la solución concentrada. Finalmente, el Cu se separó del Zn mediante su electrodeposición en la unidad de electrodeposición 3D (3D-ED, por su abreviación en inglés *3D-Electrodeposition*), mientras que el zinc permaneció en solución y se recuperó como sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>). Finalmente, se aplicó ácido sulfúrico para disolver nuevamente el Cu depositado para obtener un concentrado de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>).

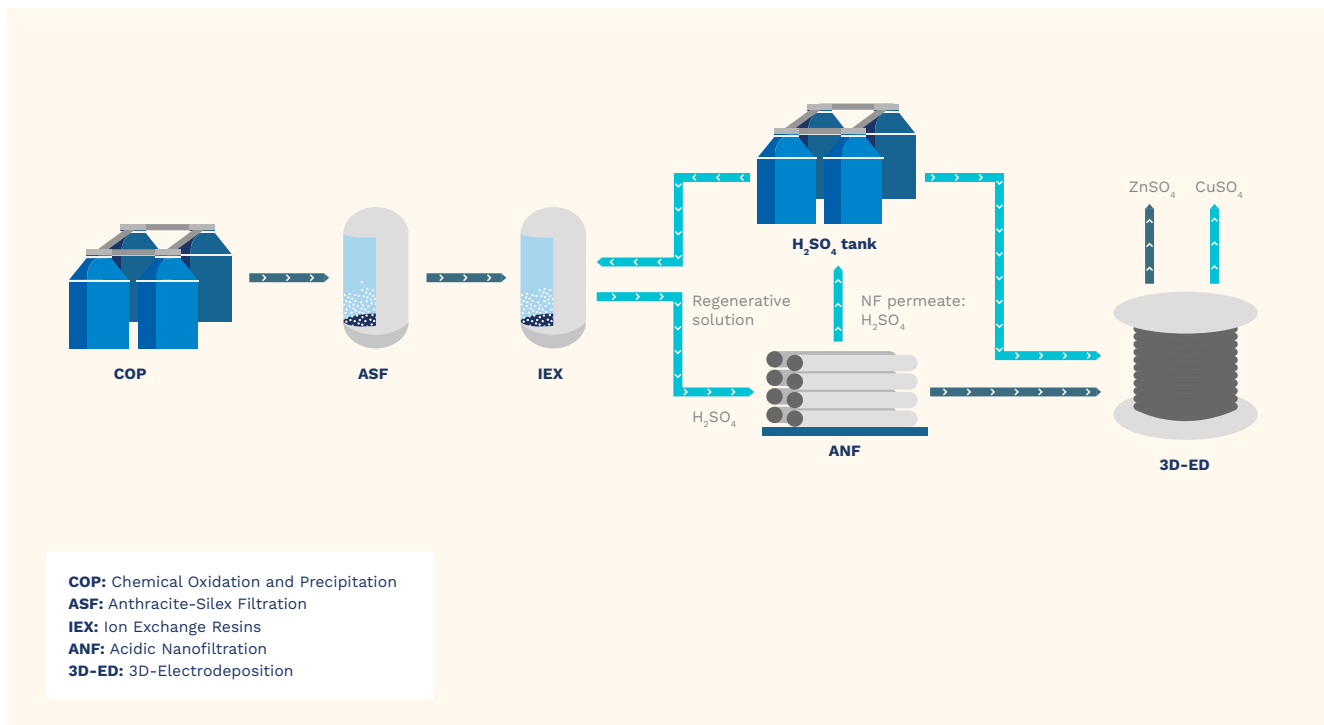


Figura 6. Esquema de planta de recuperación de recursos.



# 05. RESULTADOS OBTENIDOS

REMINE WATER ha validado un tren de tratamiento que integra tecnologías innovadoras para el tratamiento de salmueras mediante la construcción y operación de plantas de regeneración de agua y recuperación de recursos. Los principales resultados obtenidos son:

- **Reducción del 60% de la salinidad y de la concentración de sulfatos del vertido fluvial** en la implementación de una planta a gran escala. Según los resultados del estudio de implementación de esquemas de economía circular dentro de Matsa, la mezcla de una proporción de un permeado de ósmosis inversa con una proporción del agua producida por su planta de tratamiento de agua convencional dará como resultado un agua de alta calidad capaz de ser reutilizada en la planta de procesamiento de minerales.
- **Reducción del 50% del consumo de agua dulce** en una planta a gran escala fomentando la reutilización del agua *in-situ* y aprovechando el agua de alta calidad producida por ósmosis inversa.
- **Recuperación del 95% del agua procedente de concentrados de ósmosis inversa** mediante la implementación del esquema de descarga líquida cero. Durante el proyecto, se demostró que las sales se concentran desde ~5 g/L de sólidos totales disueltos (STD) en la corriente de concentrado de ósmosis inversa hasta ~100 g/L en la salmuera producida en el evaporador.
- **Reducción del 99% de la salinidad de los concentrados de ósmosis inversa para la reutilización del agua.** El agua recuperada al final del tren ZLD, específicamente, en el condensado del evaporador, es una fuente secundaria de agua de alta calidad disponible para la mina, con una concentración de STD inferior a 0,01 g/L.
- **Recuperación de subproductos para reutilización interna que implica ahorro económico.** El producto obtenido en la etapa de ablandamiento compuesto de carbonato cálcico e hidróxido de magnesio puede ser utilizado para elevar el pH en algunos pasos de su planta de tratamiento convencional, reemplazando así en cierta medida el uso de cal.
- **Reducción del consumo de energía eléctrica y de un 64% las emisiones de CO<sub>2</sub>** en el evaporador, frente a los procesos convencionales de evaporación térmica, mediante la integración de energía solar térmica al tren de tratamiento. Además, esta sustitución supone una reducción del 50 % de los gastos operativos de esta unidad.

Además, en la planta de recuperación de recursos se desarrollaron otras tecnologías para recuperar ácidos minerales fuertes y metales valiosos del agua de proceso de minería. Los principales resultados son los siguientes:

- **Recuperación del 50% del ácido sulfúrico en paso de nanofiltración ácida.** En estas condiciones, el ácido sulfúrico obtenido puede ser reutilizado en el mismo tren de tratamiento para la regeneración de resina en intercambio iónico o disolución de cobre en electrodeposición.
- **Recuperación del 95% del cobre y del 50% del zinc en resinas de intercambio iónico.** Ambos elementos se concentran cuatro veces en la nanofiltración ácida. Finalmente, el zinc se separa del cobre en la unidad de electrodeposición. Como resultado, el producto concentrado tiene una concentración de ~28 g/L de Zn y ~80 g/L de Cu, en forma de sulfatos. Estos dos productos se pueden utilizar como reactivos en la etapa de flotación de la planta de tratamiento de minerales. Antes de la implantación de este tren de tratamiento, estos recursos se desperdiciaban en los lodos producidos en la depuradora convencional.

Finalmente, la evaluación de la replicabilidad de los dos trenes de tratamiento en otros sitios mineros y metalúrgicos europeos ha identificado sitios potenciales en España y Polonia donde estos esquemas circulares podrían implementarse, considerando cuestiones técnicas, económicas y ambientales, así como el marco legal y regulatorio. Además, se han identificado posibles industrias donde se podrían trasladar las plantas de tratamiento, como la industria de fertilizantes, para el tratamiento de salmueras, o la hidrometalurgia para la recuperación de metales. Se ha elaborado un diseño preliminar de las necesidades de la planta depuradora y una primera estimación económica.



Más información en  
[reminewater.eu](http://reminewater.eu)