



Monitoreo del estado de los relaves mineros en Chile

DEPP 29/2022



Resumen Ejecutivo

El presente informe tiene por objetivo contribuir al monitoreo del estado actual de los relaves en Chile, junto a la identificación de elementos de Economía Circular en minería secundaria.

El alcance del estudio fue acotado a revisión bibliográfica e información proporcionada por entidades publico/privadas.

La gestión y el manejo de los depósitos de relaves tanto en operación como los que ya han cesado su vida útil, se torna relevante dado el historial internacional de eventos de falla y más aún en Chile que es un país minero donde el procesamiento de minerales genera grandes volúmenes de residuos mineros que requieren asistencia continua.

Lo anterior se refleja en el registro desarrollado por Sernageomin respecto a la distribución de los relaves a nivel país, donde a octubre del 2022 se tienen 764 depósitos de relaves de los cuales un 14% se encuentra activo, un 62% inactivo, un 23% abandonado y un 1% en construcción y revisión; además relaves del tipo convencionales como traques y embalses representan 85,5% del total, siendo los con mayor susceptibilidad a eventos de falla.

La principal iniciativa en curso para mejorar el monitoreo precario actual de los depósitos corresponde al Programa Tranque, que está incluido en la Política Nacional Minera al año 2050; este trabajo se ha desarrollado por múltiples actores públicos y privados cuyo objetivo es monitorear en línea de manera continua los depósitos y posicionar a Chile como referente mundial en esta materia.

Dado que además del monitoreo también existe interés en darle una segunda vida a los relaves convirtiéndolos desde pasivos ambientales a activos con valor, se han generado iniciativas que se enmarcan en el modelo de Economía Circular, a través de minería secundaria o utilizando el material de relave como materia prima en otros procesos industriales. Se pueden mencionar ejemplos de esto, tales como: la planta de magnetita de CAP que reutiliza relaves provenientes desde minera Candelaria para extraer hierro, Minera Valle Central que reprocesa relaves de Codelco para obtener cobre y molibdeno, el uso de relaves para materiales de construcción como la producción de cemento, hormigón, pavimento y ladrillos, u otros proyectos de remediación medioambiental como la fito-estabilización de los depósitos con la revegetación de la zona. A su vez utilizar los relaves como rellenos de minas a rajo o subterránea está tomando fuerza.

Relevante mencionar que es fundamental avanzar en un marco legal que permita el retratamiento y reutilización de residuos mineros, así como los aspectos de monitoreo para estabilidad física y química avanzan con la modificación del decreto supremo 248.



Tabla de Contenido

1. Introducción	5
2. Relaves de la minería chilena	6
2.1. Conceptos Claves	6
2.2. Catastro de relaves	8
2.3. Geoquímica de relaves	11
3. Monitoreo estado actual relaves.....	12
3.1. Programa Tranque	12
3.2. Estándar De Monitoreo Programa Tranque.....	15
4. Utilización de relaves en economía circular	19
4.1. Relaves y Economía circular	19
4.2. Reutilización de relaves como relleno de minas a rajo abierto y subterráneo.....	21
5. Comentarios Finales	23
6. Comentarios Finales	25



Índice de Figuras

Figura 1: Esquema tranque de relaves convencional (Carvajal, 2018)	7
Figura 2: Tipos de relaves y equipos utilizados respectivamente (Associates, 2013).....	8
Figura 3: Distribución del catastro de depósitos de relaves en Chile	9
Figura 4: Relaves activos según el tipo de depósito.....	10
Figura 5: Línea tiempo resumen principales hitos programa tranque.....	15
Figura 6: Diagrama etapas para índice de estabilidad física	17

Índice de Tablas

Tabla 1: Cantidad de depósitos de relaves convencionales según su estado.....	9
Tabla 2: Cantidad de depósitos de relaves no convencionales según su estado.....	10
Tabla 3: Ubicación geográfica de los depósitos de relaves en Chile.....	10
Tabla 4: Caracterización geoquímica muestras desde depósitos de relaves.....	12



1. Introducción

La industria minera es fundamental para el desarrollo del país a nivel económico y social, con un impacto significativo en el Producto interno bruto (PIB) de Chile, con una participación de 14,6%¹ al año 2021. La necesidad de procesar metales para sostener la modernidad implica la generación de materiales de descarte o residuos desde las diferentes etapas de concentración mineral. En particular los yacimientos tipo sulfuros de cobre que predominan en Chile, generan relaves posterior a la operación de flotación, con volúmenes proporcionales a la cantidad de mineral procesado para obtener el cobre requerido, la cual con los años ha ido en aumento debido a la baja de las leyes del metal. Más aún en la presente década el aumento del consumo de metales inducido por la industria de las energías renovables no convencionales, generará un crecimiento en el volumen de los depósitos. En este contexto cobra relevancia la gestión óptima para compatibilizar con el cuidado ambiental y de las comunidades.

El manejo de relaves en operación requiere rigurosidad ya que son instalaciones dinámicas que en principio tienen un volumen o capacidad definida pero dentro de ese espacio contenedor van creciendo los relaves en la medida que se desarrolla la operación minera, son remanentes ya que permanecen posterior al cese de la actividad y a su vez se encuentran expuestos constantemente a circunstancias operacionales y/o naturales que pueden afectar su estabilidad (Fundación Chile, 2018).

A nivel internacional han ocurrido eventos de falla en diferentes depósitos de relaves, entre 2018 y 2022 se registran 24 incidentes² en países tales como: Brasil, Perú, China, México, India, entre otros; donde un 75% del total de eventos en dicho periodo se debió a la inestabilidad de los taludes o fallas de la presa de relaves, que cedieron generando desplazamientos significativos de material, afectando el entorno circundante y también la vida de las personas.

En Chile el incidente más reciente ha sido en el año 2010, con la falla del tranque de relaves “Las Palmas” en la región del Maule debido al terremoto del 27F, con el que se desplazaron ~230.000 m³ de material resultando en la muerte de 4 personas (Hernández, 2021). Si bien eventos mayores no se han presentado en la última década, el interés por revisar en detalle los depósitos en sus diferentes estados y mejorar su gestión ha sido creciente, lo que se ha reflejado no solo en el sector empresarial, sino que también a nivel de gobierno y políticas públicas con diferentes iniciativas siendo la más reciente las metas propuestas en la Política Nacional Minera al 2050³ y el Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible⁴.

En este contexto se enmarca el presente informe que pretende apoyar el monitoreo y estado actual de los depósitos de relaves en Chile, alineado también con los indicadores que se presentan en las iniciativas mencionadas anteriormente. Inicialmente se muestran las características principales de los relaves en Chile, sus conceptos, el catastro existente actualmente y la geoquímica asociada. En segunda instancia, se realiza una revisión de la forma en que actualmente se monitorean los relaves en Chile a través del “Programa Tranque” para, finalmente, dar una mirada de los avances en economía circular y relaves.

¹ [Cifras actualizadas de la Minería – Consejo Minero](#)

² [Chronology of major tailings dam failures \(wise-uranium.org\)](#)

³ <https://www.politicanacionalminera.cl/>

⁴ https://www.minmineria.cl/media/2021/05/Plan_Nacional_de_Despositos_de_Relaves_para_una_Mineria_Sostenible_2021.pdf



2. Relaves de la minería chilena

2.1. Conceptos Claves

El relave corresponde a una suspensión de sólidos en líquidos, formando una pulpa, que es generada y desechada en las plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en un circuito de molienda fina. El vocablo se aplicará, también, a la fracción sólida de la pulpa que se ha descrito precedentemente (Decreto Supremo 248, 2007).

Para su almacenaje es necesario un diseño y construcción de depósitos de relaves a partir de características del material y geometría; como toda obra estructurada en forma segura para contener los relaves provenientes de una planta de concentración húmeda de especies de minerales. Además, contempla sus obras anexas y su función principal es la de servir como depósito, generalmente, definitivo de los materiales sólidos proveniente del relave transportado desde la planta, permitiendo la recuperación, en gran medida, del agua en que son transportados dichos sólidos (Decreto Supremo 248, 2007).

De acuerdo con el Catastro de Depósitos de Relave realizado por el SERNAGEOMIN que es actualizado periódicamente de manera anual, en Chile hay depósitos que se encuentran en estado activo, no activo y abandonado. Los depósitos activos corresponden a obras con dueño conocido y en operación. Los no activos son depósitos con dueño conocido, pero fuera de operación. En este caso, el dueño del depósito continúa con el control y monitoreo del depósito. Finalmente, los depósitos abandonados no tienen dueño conocido ni resolución de origen, por lo que se incluye en esta categoría a los depósitos que se les ha verificado su condición de abandono, o si hay información oficial fidedigna que indique que no se efectuó ninguna medida de cierre (SERNAGEOMIN, 2018).

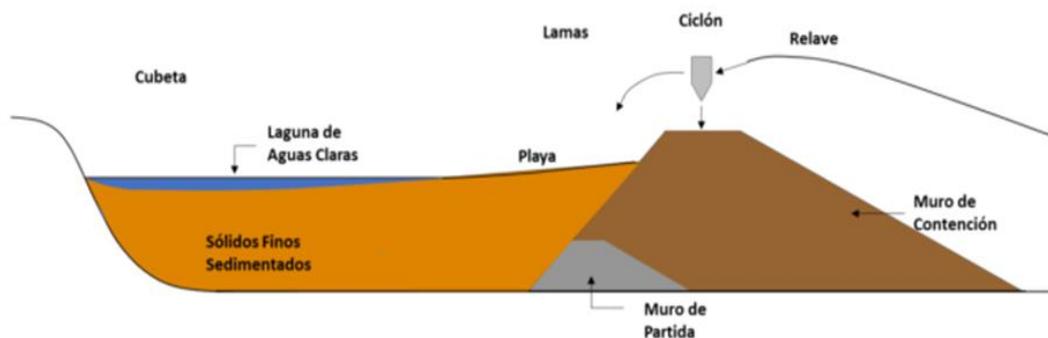
La forma de almacenamiento de los relaves está relacionada con las características y comportamiento reológico del mismo, dependiendo del porcentaje de sólidos contenidos. Esta relación entre el peso seco del relave y el peso total de la pulpa define el almacenaje, que según la normativa vigente se pueden clasificar en 4 tipos de relaves principalmente (Decreto Supremo 248, 2007) caracterizados en la Figura 2-La figura, además, muestra que se requieren diferentes equipos o tecnologías para obtener los relaves con distinta cantidad de agua.

Relave Convencional:

- **Tranque:** Depósito donde el muro de contención es construido con la fracción más gruesa del relave, correspondiente a las arenas lo que se observa en la Figura 1. Para la construcción y operación de este depósito, se considera la separación del relave a través de hidrociclones, los cuales separan la parte gruesa del relave de la fina. Así, la parte gruesa, o arenas, se utilizan para la construcción del muro de contención, mientras que la parte más fina, también llamada lamas, se almacena en el depósito.



Figura 1: Esquema tranque de relaves convencional (Carvajal, 2018)



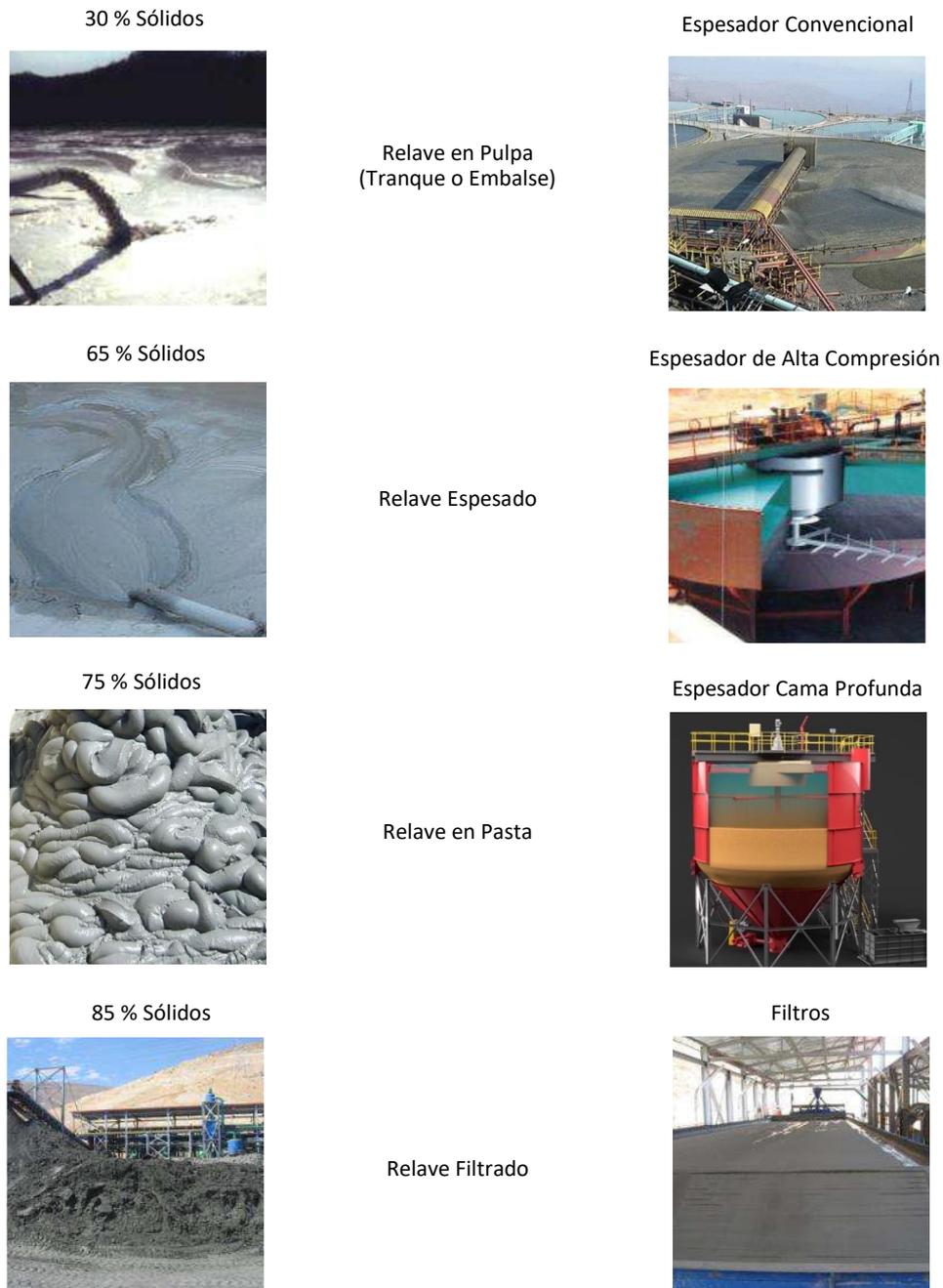
- **Embalse:** Es aquel depósito de relaves donde el muro de contención está construido con material de impreso y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. La impermeabilización puede estar realizada con un material natural de baja permeabilidad o de material sintético como geomembrana de alta densidad. También se denominan embalses de relave a aquellos depósitos que se ubican en depresiones del terreno, en las cuales no es necesaria la construcción de un muro de contención.

Relaves Espesados: depósito de relaves donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de sedimentación, mediante espesadores, eliminando una parte importante del agua que contienen. El depósito de relaves espesados deberá ser construido de tal forma que se impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado y contar con un sistema de piscinas de recuperación del agua remanente.

Relaves Filtrados: depósito de relaves donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración, mediante equipos especiales de filtros, donde se asegure que la humedad sea menor a un 20%. Deberá asegurarse que el relave así depositado no fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado.

Relaves en Pasta: depósito de relaves que presenta una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado, corresponde a una mezcla de relaves sólidos y agua –entre 10 y 25% de agua– que contiene partículas finas, menores de 20 μ , en una concentración en peso superior al 15%, muy similar a una pulpa de alta densidad. Su deposición se efectúa en forma similar al relave filtrado, sin necesidad de compactación, poseyendo consistencia coloidal.

Figura 2: Tipos de relaves y equipos utilizados respectivamente (Associates, 2013).



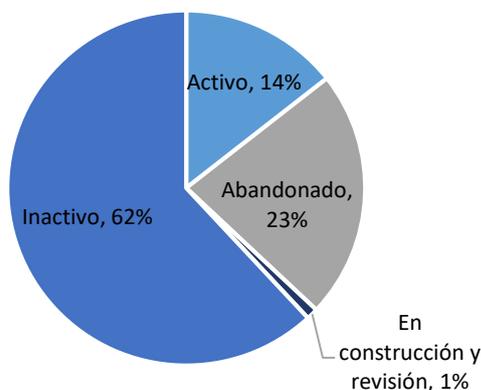
Los relaves tipo pulpa que poseen mayor cantidad de agua y por ende menor porcentaje de sólidos son el foco del monitoreo ya que estarían expuestos a mayores impactos por eventos de inestabilidad, además constituyen más del 80% de los depósitos de este tipo en el país.

2.2. Catastro de relaves

Como antecedente general, existen actualmente un total de 764 depósitos de relaves publicados a octubre del 2022 en el “Catastro de Depósitos de Relaves en Chile (actualización 19-10-2022)” emitido como datos públicos por el SERNAGEOMIN. La Figura 3, permite visualizar la distribución

porcentual de los tipos de relave a nivel nacional en sus respectivos estados, de los cuales 110 corresponden a depósitos activos (14%), 473 a inactivos (62%), 173 abandonados (23%) y 8 en construcción - revisión (1%).

Figura 3: Distribución del catastro de depósitos de relaves en Chile



Fuente: Elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2022)

En Chile, la mayor proporción se encuentra concentrada en los depósitos de relave del tipo “inactivo” y “abandonado” abarcando un 85% del total catastrado. Estos por definición han alcanzado su vida útil por lo que no recibirían flujo de relaves frescos y en la mayoría de los casos no tienen ejecutado el plan de cierre legal del depósito, lo que tiene directa relación con el periodo de implementación y regulación legal en este ámbito.

Los depósitos de relave del tipo “convencional” se componen por 3 tipos, embalse, tranque y pretilos, estos alcanzan los 735 relaves tal como se muestra en la Tabla 1, esta cantidad corresponde a un 96% del total catastrado a nivel nacional, de ellos la mayor proporción se encuentra en los tranques de relave con un total de 611 depósitos, seguido por los del tipo embalse con un total de 123 depósitos.

Tabla 1: Cantidad de depósitos de relaves convencionales según su estado

Estado	Depósitos convencionales			Total
	Embalse	Tranque	Pretilos	
Activo	43	51	0	94
Abandonado	6	167	0	173
Inactivo	72	393	1	466
En construcción y revisión	2	0	0	2
Total	123	611	1	735

Fuente: Elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2022)

En la misma línea, la Tabla 2 muestra los depósitos de relave del tipo “no convencional”, alcanzan un total de 29 depósitos catastrados con un 4% del total, encontrándose la mayor proporción en los del tipo “filtrado” con un total de 16 depósitos, de los cuales 7 se encuentran en estado actual “activo”, lo que se encuentra en línea con los requerimientos actuales de implementación de nuevas tecnologías de tratamiento para los relaves dentro de la industria minera.



Tabla 2: Cantidad de depósitos de relaves no convencionales según su estado

Estado	Depósitos no convencionales				Total
	En pasta	Espesado	Filtrado	Dreim	
Activo	4	5	7	0	94
Abandonado	0	0	0	0	173
Inactivo	0	1	5	1	466
En construcción y revisión	1	1	4	0	2
Total	5	7	16	1	29

Fuente: Elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2022)

En lo que respecta a la ubicación geográfica, estos se encuentran localizados en 9 (I, II, III, IV, V, VI, VII, XI y RM (XIII)) de las 16 regiones de Chile. La mayor proporción se encuentra en la Zona Norte, alcanzando un 82% del catastro con un total de 624 depósitos (concentrándose en la Región de Atacama y Coquimbo principalmente), de los cuales 83 se encuentran activos, 151 abandonados y 382 inactivos, tal como se visualiza en la Tabla 3.

Tabla 3: Ubicación geográfica de los depósitos de relaves en Chile

Estado	Zona Norte ⁵	Zona Centro ⁶	Zona Sur – Austral ⁷
Activo	83	27	0
Abandonado	151	18	4
Inactivo	382	86	5
En construcción	7	0	0
En revisión	1	0	0
Total	624	131	9

Fuente: Elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2022)

De los depósitos de relave del tipo “activo”, se acrecientan los números respecto a la implementación de nuevas tecnologías para el tipo filtrado, espesado y en pasta, posicionándose con un 15% (16 depósitos) del total catastrado correspondiente a 110 depósitos de relave del tipo activo, es decir, que reciben flujo de relaves frescos. La Figura 4, muestra la distribución de los tipos de relave de la categoría activo.

Los depósitos de relave del tipo “filtrado” antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración, donde se asegura que la humedad del relave sea menor a un 20%. Por lo tanto, son los que poseen una mayor recuperación de agua del proceso de espesado, además corresponde a la tecnología no convencional que se utiliza en mayor porcentaje a nivel nacional en la industria minera.

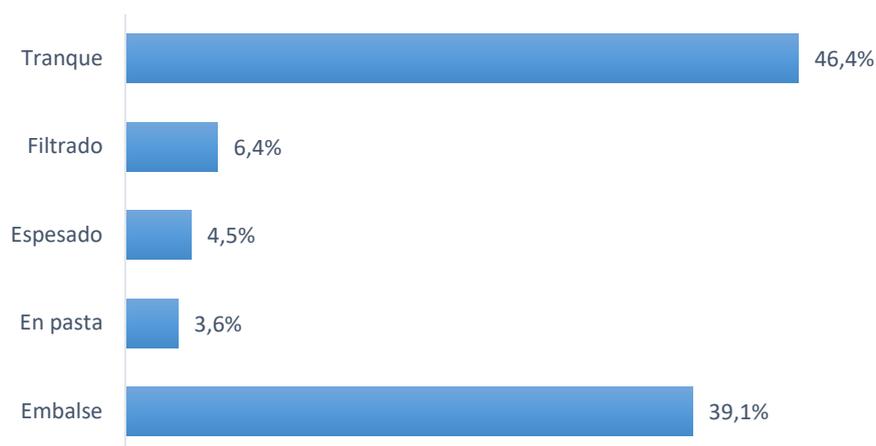
Figura 4: Relaves activos según el tipo de depósito

⁵ Zona Norte: comprende las regiones I, II, III y IV

⁶ Zona Centro: comprende las regiones V, VI, VII y RM (XIII)

⁷ Zona Sur – Austral: comprende la región XI





Fuente: Elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2022)

Finalmente, en cuanto al tamaño de los depósitos de relave es importante destacar el rango en el cual se encuentran en términos de tonelaje actualmente, moviéndose desde pequeña a gran minería con valores que van desde las 261 toneladas, correspondientes al tranque de relave de la Planta Santa Camila en Punitaqui, hasta 1.885 millones de toneladas, correspondientes al tranque de relave de Codelco Chuquicamata en Calama, respectivamente. Este factor “tamaño” toma gran importancia para el dimensionamiento del impacto que este puede generar en la zona en la cual se encuentre ubicado y también para el desafío que significa el monitoreo de mayores volúmenes.

2.3. Geoquímica de relaves

De acuerdo a la última actualización publicada por el Sernageomin sobre el estudio de Depósitos de Relaves que recaba información de muestras tomadas desde el año 2015 hasta su última actualización en nuestro país, se registran y analizan los resultados mediante los documentos denominados “*Datos de Geoquímica de Depósitos de Relaves en Chile (actualización: 13/01/2020)*” y “*Registro Geoquímico de Depósitos de Relaves en Chile (actualización Enero 2020)*” como información de carácter público en su sitio web⁸. De esta información es posible identificar 2.186 muestras, de las cuales 642 corresponden a depósitos tipo tranque de relaves de un total de 740 depósitos catastrados para ese periodo, siendo en su mayoría provenientes de la minería del cobre y subproductos principalmente.

De este registro resumido en la Tabla 4, se desprende información sobre la caracterización geoquímica de las muestras analizadas, encontrándose 12 elementos mayores⁹, 30 elementos comunes, 14 tierras raras elementales y contenido porcentual de azufre.

De estos, desde el punto de vista del ecosistema y la salud humana son las tierras raras elementales y los elementos comunes, los que corresponden a un 1% aproximadamente de todos los elementos identificados en las muestras analizadas, pudiendo generar una

⁸ Datos públicos Depósitos de Relaves en Chile, [Datos Públicos Depósito de Relaves - SERNAGEOMIN](#).

⁹ Elementos mayores: formadores de los minerales que constituyen la roca.

concentración objetable, considerándose el cobre, cromo, níquel, cinc, plomo, arsénico, cadmio y mercurio los principales compuestos de connotación ambiental (CCA) presentes en los depósitos de relave nacional, no así, los elementos mayores formadores de roca que no poseen una concentración objetable y corresponden a un 99,01% aproximadamente de las muestras estudiadas según el registro de Sernageomin.

Tabla 4: Caracterización geoquímica muestras desde depósitos de relaves

Mediciones	Elementos
Elementos mayores formadores de roca (12)	silicio, aluminio, titanio, hierro, calcio, magnesio, manganeso, sodio, potasio, fósforo, azufre, compuestos perdidos por calcinación (PPC)
Elementos comunes en trazas por debajo del 1% (30)	cobre, vanadio, cromo, cobalto, níquel, zinc, rubidio, estroncio, circonio, niobio, bario, plomo, cesio, hafnio, tantalio, arsénico, escandio, itrio, molibdeno, antimonio, estaño, torio, plata, cadmio, bismuto, wolframio, uranio, oro y mercurio
Tierras raras elementales (14)	Lantano, cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio

Fuente: Elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2022)

3. Monitoreo estado actual relaves

3.1. Programa Tranque

Dentro de lo que se ha desarrollado hasta ahora como una iniciativa para la gestión de relaves es el denominado Programa Tranque, proyecto en curso más promisorio para el monitoreo en línea de los relaves a nivel país. Es por lo que, a continuación, se describe un contexto del programa, una línea de tiempo desde sus inicios, en qué estado de avance se encuentra actualmente y cuál es el principio operante detrás del monitoreo de los relaves que propone el programa.

El Programa Tranque corresponde a una iniciativa público-privada, que se gesta en 2015 en el marco de ruta minería 2025, donde el tema habilitador es el monitoreo de relaves, que hasta los años previos no tenían sistematización o una infraestructura adecuada para dicho propósito, implicando mayores probabilidades de falla y en consecuencia generar conflicto con las comunidades.

En este contexto CORFO lanza un concurso para gestionar los relaves, que nace bajo el alero del Programa Alta Ley, donde Fundación Chile se adjudica los fondos para co-diseñar e implementar este programa de monitoreo. Durante los años de desarrollo a la fecha han participado más de 200 profesionales y 22 empresas.

Este programa busca contribuir a posicionar al país en un referente mundial en la gestión preventiva de depósitos de relaves, a través del desarrollo de un sistema estandarizado de alerta temprana de monitoreo, que consta de un monitoreo local (ubicado en cada depósito) que reporta a un sistema central, esta última plataforma de gestión de información reportaría a



compañías mineras, autoridad y comunidades información de calidad, confiable y oportuna respecto al desempeño de los depósitos en ámbitos de estabilidad física y química (medio ambiental).

Es por esto mencionado anteriormente que el objetivo final es fortalecer la gestión corporativa preventiva, mejorar las comunicaciones y la respuesta entre las partes ante situaciones de emergencia inesperadas.

Dado que los relaves significan un mayor riesgo para la industria se plantea importante sostener la licencia social para operar, así como considerar los desafíos operaciones de los relaves cuando están abandonados o son de pequeña y mediana minería, por lo que no están resueltos y se necesita prevenir y gestionar el relave con anterioridad. El monitoreo permite también dar confianza a una licencia financiera y de seguros para el depósito.

La situación actual de monitoreo en los relaves de Chile es que existe heterogeneidad a nivel de sensorización (métodos de recepción de datos mediante uno o más sensores instalados en los depósitos), para la gran minería hay mucha información *off-line* (por operadores) que no está centralizada y analizada por parte de las mismas, mientras que la mediana y pequeña minería tienen una capacidad de análisis limitado.

El control de los depósitos es más bien bajo y viene dado por, el formulario E-700 el cual es un informe trimestral que incluye la medición específica promedio de ciertos parámetros que se reportan a Sernageomin; además el número de fiscalizadores en terreno es limitado por lo que no cubren en espectro de relaves a nivel nacional, hay ausencia de estandarización con normas claras y la gestión es reactiva a cuando ocurren los eventos. Dicho lo anterior, los aspectos claves que persigue lograr el programa es que la información sea online y continua, tener automatización a nivel de sensorización e inteligencia de datos, que exista gestión preventiva y una estandarización y transparencia de la información a la que pueda acceder el operador minero, Sernageomin y las comunidades.

Es por esto que el programa forma parte de la meta 40 de la PNM 2050 donde al año 2030 se espera que el 100% de los relaves operativos de la gran y mediana minería cuenten con un Plan de Monitoreo Integral que reporte información a Sernageomin, relativa a la estabilidad física y química. Y para que lo anterior este normado se encuentra en evaluación la modificación del decreto supremo 248 que aprobó el Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves, incorporando en su modificación ampliada normas sobre “La implementación de un Sistema de Gestión del Depósito de Relaves que integre la planificación, la evaluación del desempeño, el registro y la presentación de la información, así como la preparación y la capacidad de respuesta ante eventos inesperados, entre otras; permitiendo la ejecución de las actividades de generación, disposición y almacenamiento de relaves con una efectiva gestión del riesgo”¹⁰.

Respecto al estado de avance del Programa Tranque se tiene que ha enfrentado desafíos por su magnitud y complejidad, lo que ha implicado un retraso en la entrega del producto final. Dentro de las dificultades a nivel técnico se encuentran la tecnología de la información y los modelos matemáticos utilizados detrás de los índices que evalúan múltiples parámetros para entregar los diferentes escenarios de alertas, a esto se suma la alta complejidad técnica de la plataforma

¹⁰ [Consulta Ciudadana sobre Modificación al Reglamento de Depósito de Relaves – Carey Abogados](#)



central ya que implica más de 1500 requerimientos funcionales. Implementar el monitoreo a nivel nacional también es un desafío por la gran cantidad de relaves.

En esta línea los plazos de la plataforma para el sistema de monitoreo global (SGM), su *delivery* se ha retrasado como se mencionó anteriormente, ya que el alcance ha ido variando en el tiempo respecto a lo propuesto inicialmente que era un piloto para el tranque El Mauro. Se han sumado más tranques de Andina y Angloamerican lo que implica mayores esfuerzos técnico para la empresa INfosys (tercera de desarrollo de software a nivel global) quien tiene a cargo la plataforma.

Hoy es un proyecto que se encuentra en ingeniería de detalle para la plataforma que sostiene los datos con un avance del 93%, la que debería quedar implementado a escala productiva en Sernageomin a septiembre del año 2023.

El producto final corresponde a un bien público que se entrega al gobierno a través del Sernageomin, quien recibe la plataforma global y diseño final que permite escalar esto a los otros relaves. El objetivo es que esté conectado funcionalmente el sistema local al global, para el relave de tranque El Mauro y después escalarlo a depósitos activos y de la gran minería en principio, debido a que estos representan el 86% del volumen de relaves a nivel país.

Es relevante mencionar que a pesar que el índice EMAC (Evaluación y Monitoreo de Aguas Circundantes) estaba incluido en el proyecto en sus inicios, no se ha incluido como parte del desarrollo actual del programa debido a plazos y fondos acotados, para así también bajar el riesgo técnico del producto final y avanzar solo con IEF (Índice de Estabilidad Física), ya que priorizar la evaluación de los temas de falla en los depósitos tendría mayores impactos.

Los sistemas locales de monitoreo que incorpora el índice de estabilidad física están pensados para los depósitos de la gran minería. En el caso de la pequeña y mediana minería se espera tener una versión mejorada del formulario E-700, lo que esta pausado en vista de la actualización del decreto 248.

En el mediano plazo son los depósitos de la gran minería que están activos los que deberían incorporarse al futuro foco del Observatorio de relaves con los respectivos estudios de configuración sitio específico de cada depósito.

La línea de tiempo desde que comenzó el programa tranque ha tenido dos fases principalmente. La primera corresponde a una conceptualización donde se elaboraron los estándares de monitoreo IEF y EMAC junto a un levantamiento de requerimientos con las comunidades, quienes plantearon preocupaciones respecto de un evento de falla post lluvia o movimiento telúrico y la calidad del agua que sale desde sus llaves les importa en el día a día. Esta fase fue comprendida entre los años 2016 a 2018.

Por su parte la segunda fase es de desarrollo (diseño detallado del sistema con sus requerimientos TI, EMAC y IEF, con un sitio publico donde acceder a la información), la cual sigue en curso desde el año 2019, para terminar en 2023 con la implementación de la plataforma de monitoreo, es decir la entrega de la versión operativa del sistema global de monitoreo (SGM) a Sernageomin, conectada al tranque de relaves El Mauro de Minera Los Pelambres. La Figura 5 muestra la los principales hitos¹¹ entre los años 2017 y 2022.

¹¹ <https://fch.cl/iniciativa/programa-tranque/>



La implementación de la herramienta IEF en el piloto El Mauro, está permitiendo avances tales como: la evaluación de las herramientas con data real; el análisis de resultados enfocado en la identificación de las mejoras necesarias que aseguren la implementación de las herramientas en el piloto; la definición de la versión 2 de las herramientas con miras a su aplicación a gran escala, que asegure su implementación a escala nacional.

Figura 5: Línea tiempo resumen principales hitos programa tranque



Fuente: elaboración propia en base a Fundación Chile

3.2. Estándar De Monitoreo Programa Tranque

Para registrar y evaluar los datos provenientes de los depósitos de relaves y tomar la medida o acción consecuente es necesario tener una hoja de ruta que sistematice el procedimiento, es por lo que el Programa Tranque propone un estándar de monitoreo¹², donde plantea herramientas para el análisis de variables críticas, que permitan observar el desempeño de los depósitos con respecto a su estabilidad física (EF) junto a la evaluación y monitoreo de aguas

¹² <https://fch.cl/noticianoticia-antigua/estandar-de-monitoreo-programa-tranque/>



circundantes (EMAC). Este estándar incluye tanto la instrumentación necesaria, como las variables a monitorear y su frecuencia. Es relevante mencionar que el estándar se debe llevar, ajustar y adaptar al sitio específico de cada tranque de relave para la configuración de un estudio inicial ya que cada depósito posee características particulares.

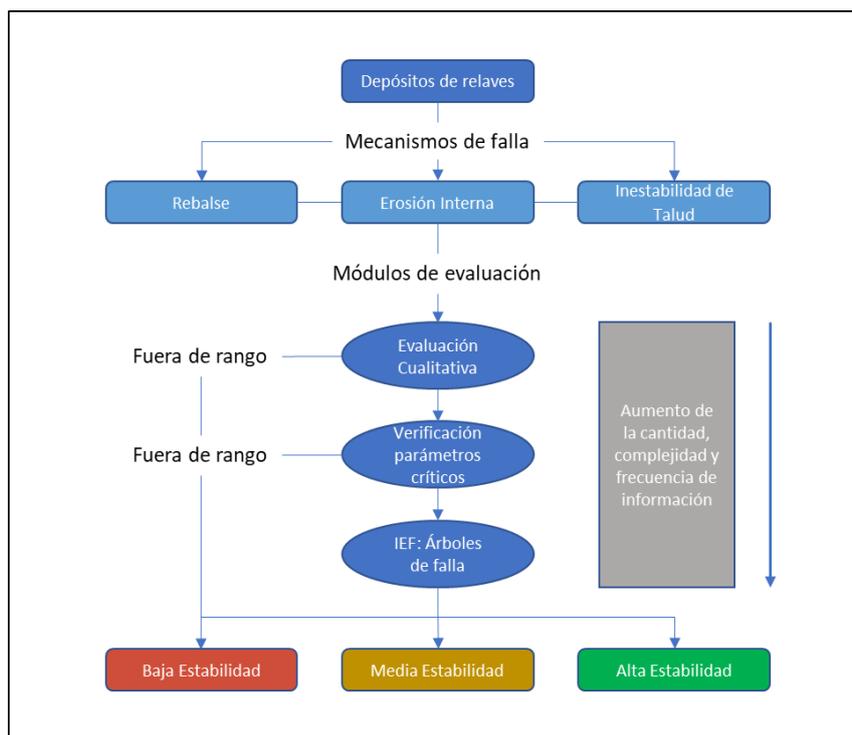
Para el caso de la estabilidad física, la herramienta tiene como objetivo conocer y comunicar el desempeño físico del depósito con base en los tres principales mecanismos de falla:

- Rebalse (*overtopping*) que ocurre cuando el volumen de entrada (relaves o agua) a la cubeta excede su capacidad lo que puede generar una brecha por una falla progresiva proveniente de la erosión del muro de contención;
- Erosión interna (*piping*) que corresponde a la migración de material al interior del muro de contención o del suelo, lo que produce cavidades que propician flujos preferentes de relaves o agua, desencadenando erosión que puede generar falla local o global;
- Inestabilidad de taludes sucede cuando se desliza una sección del talud del muro a lo largo de una superficie de falla por un aumento de las fuerzas desestabilizadoras. La estabilidad del talud depende de la geometría del muro, propiedades físicas y mecánicas del material que lo compone y del suelo base.

Lo anterior toma en cuenta factores tales como: el lugar de emplazamiento, el diseño y la operación característica de cada tipo de depósito de relaves, para tener una representación integral que permita fortalecer la gestión preventiva de ellos.

El IEF contempla 3 módulos. El primer módulo es una evaluación cualitativa del depósito que considera la verificación visual de los parámetros más críticos y elementos de gobernanza, el segundo módulo es la verificación de los parámetros críticos con los umbrales, rangos de aceptabilidad y tendencias mientras que el tercer módulo integra toda la información recopilada anteriormente relacionándola para obtener la probabilidad de falla del depósito. La Figura 6 muestra un cuadro resumen de las etapas de este índice de estabilidad física que además genera alertas de diversa urgencia en función de un rango de alta - baja estabilidad detectada.

Figura 6: Diagrama etapas para índice de estabilidad física



Fuente: elaboración propia en base a Fundación Chile

Dentro del programa se considera que un depósito de relaves está estable químicamente con respecto al medio cuando éste no produce un impacto sobre las aguas circundantes o un riesgo sobre la salud de las personas o el medio ambiente (SERNAGEOMIN, 2015), ni se espera que éstos sean afectados en el largo plazo.

Para el caso de evaluación y monitoreo de aguas circundantes se plantean 4 herramientas: sistema de gestión temprana; análisis de tendencias; índice de riesgo e índice de Impacto.

Mediante el monitoreo y seguimiento de una serie de parámetros críticos tales como: propiedades del material, manejo del agua, cotas geométricas, nivel piezométrico, humedad y compactación, el modelo genera potenciales escenarios de falla, gatillando alertas preventivas las que deben ser gestionadas por la operación minera.

i. Sistema de gestión temprana (SGT)

Entrega información oportuna sobre anomalías en las aguas circundantes mediante el seguimiento de variables fisicoquímicas medidas en línea, permitiendo identificar tempranamente desviaciones respecto a las condiciones esperadas.

ii. Análisis de Tendencias (ADT)

Permite hacer un seguimiento y evaluación continua de las variables críticas, proyectando los datos para identificar la presencia de tendencias que pueden significar eventos no deseados en el tiempo.

iii. Índice de Impacto (II)

Busca identificar cambios en la composición de las aguas, evaluando al depósito como un sistema global. Compara la composición (considerando concentraciones de las variables críticas)



representativa del agua circundante «aguas abajo» del depósito con la composición representativa «aguas arriba».

iv. Índice de Riesgo (IR)

Busca identificar si la afectación al medio significa un riesgo para la salud de las personas y /o el medio ambiente. Compara las variables críticas en las aguas circundantes «aguas abajo» del depósito de relaves con valores de referencia (VR), establecidos en base a estudios toxicológicos y criterios normativos, según el uso posterior que tengan las aguas. Se considera riesgo cuando al menos una variable se ve afectada.



4. Utilización de relaves en economía circular

4.1. Relaves y Economía circular

Con el objetivo puesto en apoyar el monitoreo y seguimiento del estado de los relaves mineros en Chile, fundamentado en los indicadores de la Política Nacional Minera 2050 (PNM 2050), es que se busca poder identificar elementos de economía circular en minería secundaria.

La economía circular es un modelo que ofrece comenzar a ver los residuos no como basura sino como un nuevo recurso, de manera que se minimicen los residuos o directamente no se desechen nada, producir con menos energía, aprovechar al máximo los recursos y revalorizar los residuos, reincorporándolos al proceso productivo y/o utilizándolos como insumos para la creación de nuevos productos.

En esta línea, procesar el material de los relaves ofrece la oportunidad de recuperar el agua para su reincorporación al proceso de la planta o bien ser utilizada para otros fines. Por otro lado, según el último registro de Sernageomin presentado en la sección anterior, en Chile se identifican 764 depósitos de relave, de los cuales 110 se encuentran activos, 473 inactivos, 173 abandonados y 8 de ellos en etapa de construcción (SERNAGEOMIN, 2022); la explotación minera de cobre genera cerca de 600 millones de toneladas de relave cada año, se proyecta un incremento de 1.000 millones o superior para la próxima década. Actualmente en el país existe una capacidad de 26.289 millones de toneladas para ser almacenadas en los depósitos de relaves.

La conciencia ambiental y el desarrollo de esta realidad han llevado a la población, y también a la industria a plantearse una nueva forma de producir, lo que se ha visto reflejado en el uso creciente de tecnologías desalinizadoras para agua de mar, la que es utilizada en los procesos metalúrgicos, el uso de energías limpias en las distintas fases productivas, pero sobre todo en planes estratégicos que tienen como foco la sustentabilidad. Bajo estos escenarios es que se busca fomentar la economía circular en la minería secundaria, de manera no solo de asegurar el suministro de energías limpias sino también la recuperación de ciertos minerales que son considerados críticos por su escasez y que son esenciales para el desarrollo de energías limpias.

El interés en la recuperación de elementos de valor desde residuos mineros ha ido en crecimiento en los últimos años, ya que además de generar valor comercial también permite reducir el volumen a ser depositado y liberar espacios físicos que pueden estar o no en cercanía de comunidades, por esto, el reprocesamiento de relaves es sin lugar a dudas una alternativa importante dado que el aumento en el procesamiento de minerales sulfurados impacta proporcionalmente en los volúmenes de relaves generados en la industria del cobre.

Además de extraer valor con la recuperación de metales escasos desde el material de relave, se puede valorizar también a través de otros procesos industriales, ya que este contiene diversos componentes minerales que pueden ser un aporte a ciertos procesos de manufactura.

En esta línea se tiene el ejemplo de la Planta de Magnetita¹³, que es el caso de la implementación de un modelo de procesamiento de relaves que se enmarca dentro de los principios de la economía circular. Esta planta pertenece a Compañía Minera del Pacífico (CMP) y opera desde

¹³ <https://www.paiscircular.cl/economia-circular/planta-magnetita-un-ejemplo-de-que-la-economia-circular-es-un-buen-negocio/>



2008, produce concentrado de hierro (*Pellet feed*) a partir de relaves de cobre principalmente provenientes de Minera Candelaria, siendo así, pionera en reutilizar los residuos mineros.

Es relevante mencionar que en septiembre de 2022, el proyecto Planta Magnetita obtuvo la aprobación del SEIA para la declaración de impacto ambiental (DIA) que permitirá extender la vida útil por 20 años más. La planta cuenta con varias ventajas, una de ellas es que logra un proceso eficiente y limpio, en el cual recuperan el hierro a través de imanes. Al mismo tiempo es una planta hídricamente responsable, ya que utiliza agua recuperada principalmente de los propios relaves de minera Candelaria y agua desalinizada, permitiendo así no utilizar agua de las cuencas de la región (Tierra Amarilla, Atacama). El proceso de obtención del “*Pellet feed*” se logra a través de un proceso de impulsión en la etapa de molienda y concentración magnética, donde se separa el hierro. Posterior a ello ocurre el deslamado y concentración magnética para que, finalmente, el mineral pase por una etapa de flotación de manera de eliminar impurezas. Este concentrado es filtrado y embarcado en el Puerto Punta Totalillo, principalmente hacia países asiáticos.

Otro ejemplo es el de Minera Valle Central quien realiza procesamiento de relaves para la recuperación de cobre, molibdeno, oro, plata, hierro y otros elementos escasos energéticos (Minera Valle Central, 2021). La minera lleva trabajando desde el año 2000 en relaves antiguos, tranques que estaban cerrados y hoy son reprocesados. La empresa trabaja bajo un contrato de maquila en Codelco y su producción es parte de la producción de la División El Teniente, alrededor de un 7%-8% dependiendo de la producción de la misma división (Minera Valle Central, 2019). También están facultados para extraer relaves antiguos del tranque Cauquenes el cual cuenta con una ley promedio de 0,25%, 0,26%. Se estima que se procesan 60 ktpd y el 2021 su producción fue de 28.743 toneladas de cobre fino y 610,9 toneladas de molibdeno.

En esta línea de extraer valor de los depósitos, el consorcio JRI-ECOMETALES comenzó en 2017 el programa I+D “Relaves con valor”, cuyo principal objetivo es identificar y capturar elementos de valor no tradicionales desde relaves, especialmente tierras raras, proyecto que concluyó en junio de 2021. Durante el año 2022 el programa sigue contando con el apoyo de CORFO con los objetivos puestos en la optimización de un esquema tecnológico¹⁴ para la recuperación de tierras raras desde relaves, con un enfoque polimetálico y promover la minería secundaria en Chile, de manera de despertar intereses por el procesamiento de relaves, incentivando análisis exploratorios.

Estas iniciativas van alineadas con el Plan Nacional de Depósitos de Relaves y la Política Nacional Minera 2050. Sumado a esto, se agrega como HITO la creación del “Manual para reprocesamiento de relaves” (Ecometales, 2020) en el que se presenta una base para estandarizar los procesos en dos versiones, la primera enfocada en la importancia del muestreo del relave y la segunda con los posibles procesos unitarios para recuperar los metales según la caracterización particular del depósito; de manera tal que los relaves puedan convertirse en una fuente de valor y así diversificar la oferta.

Además del reprocesamiento de relaves, existen algunas buenas prácticas sustentables para el manejo de residuos mineros. Una alternativa importante es la de reutilización y reciclaje de relaves, ya que estos, contiene propiedades fisicoquímicas que pueden ser un aporte en materiales de construcción (COCHILCO, 2020). Un ejemplo es el cemento ya que el uso de relave como aditivo a la mezcla podría amentar la resistencia y elasticidad. La pintura es otro producto

¹⁴ <https://relavesconvalor.cl/2022/04/08/continuidad-del-programa-id-relaves-con-valor-liderado-por-el-consorcio-jri-ecometales/>



que se vería beneficiado, en base a que se obtendría mayor adhesividad, resistencia al agua y una reducción en los costos de pintura si son utilizados como extensores. Por otro lado, la gran cantidad de sílice y aluminio que contiene los relaves de cobre, permite generar ladrillos utilizando menor temperatura de lo habitual, siendo su fabricación más ecológica.

En el año 2021 se generó una alianza estratégica entre la empresa Minera Valle Central, Cbb, Schwager Service S.A. y la Universidad Católica de la Santísima Concepción con el objetivo de reutilizar relaves, ya sea, como relleno para minas, hormigón de baja resistencia, pavimentos, ladrillos, elementos estructurales ente otros. La iniciativa lleva el nombre de Cemtail y es reconocida por la empresa BHP como uno de los diez proyectos preseleccionados en el desafío tecnológico “BHP Tailings Challenge” propuesto por @expandemineria.cl. A finales del mismo año un grupo de investigadores de la Universidad Católica¹⁵ lograron transformar relaves de cobre en materiales de construcción, llegando a remplazar hasta un 40% del cemento por relave (previo a este hito, solo se podía establecer un remplazo basado en 15% de relave).

Otro tipo de alternativa que aparece en el horizonte es la revegetación de depósitos de residuos, (COCHILCO, 2020) esta técnica consiste en la implantación de especies arbóreas nativas en los depósitos, capaces de sobrevivir en suelos con alto contenido de metales, de esta manera los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas almacenándolos¹⁶. Así se evitan efectos nocivos sobre otros seres vivos y se impide que afecten las napas subterráneas. Caso exitoso de lo anterior es el cierre del tranque Los Quillayes el cual contempla una duración de 25 años y permitirá que el espacio ocupado por el tranque se asimile con su entorno natural¹⁷.

Por otro lado, durante la conferencia internacional Tailings 2022, se presentaron diversos trabajos de investigación acerca de innovaciones en la tecnología de relaves (Reporte Minero, 2022), en particular en temas de estabilidad química de los relaves, los investigadores presentaron que a través de las muestras del tranque Ovejería están logrando estabilizar azufre, cobre y molibdeno mediante la técnica de Fito estabilización, se espera tener pronto conclusiones de su trabajo, el que hasta la fecha arroja resultados promisorios.

Alternativas que también se han ido barajando es la de utilizar a los relaves como recurso hídrico ante la escasez de este, un ejemplo de esto es la planta fotovoltaica construida sobre un depósito de relave instaurada por la empresa Anglo American en 2019. Esta innovación que se da en la mina Los broncees permite además reducir la evaporación de agua en la superficie del depósito Las Tórtolas, dejando así mayor disponibilidad para recirculación en el proceso minero. Sobre el depósito se encuentran 256 paneles fotovoltaicos que logran generar hasta 86 kW contribuyendo también a la reducción de emisiones de CO₂¹⁸.

4.2. Reutilización de relaves como relleno de minas a rajo abierto y subterráneo

Diversos estudios indican que los relaves polimetálicos (alto contenido de metales pesados como cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, entre otros) poseen características técnicas adecuadas para utilizar en pastas de relleno hidráulico en minería subterránea.

¹⁵ <https://www.ing.uc.cl/noticias/investigadores-uc-transforman-relaves-del-cobre-en-materiales-de-construccion/>

¹⁶ <https://consejominero.cl/plataforma-social/relacionamiento-y-dialogo/cierre-participativo-del-tranque-de-relaves-los-quillayes-de-minera-los-pelambres/>

¹⁷ <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2022/07/amtc-fitorremediacion-medicion-humedad-relaves>

¹⁸ <https://chile.angloamerican.com/media/press-releases/pr-2019/2019-03-14.aspx>



El proceso de relleno de minas con residuos mineros tiene un potencial atractivo como alternativa a la reutilización de relaves, donde combina tales residuos con pequeñas cantidades de cemento y/o roca estéril, de esta manera logran estabilizar el macizo rocoso y continuar con la extracción completa de mineral adyacente. El desafío consiste en disminuir la susceptibilidad química de las pastas cementadas que pueden eventualmente producir drenaje ácido o alcalino en presencia de agua y oxígeno, generando una disminución de la resistencia del mismo relleno.

Casos exitosos son por ejemplo el antiguo yacimiento de uranio de Lichtenberg en Alemania, el cual fue relleno con cerca de 125 m³ de material estéril procedente de antiguos botaderos, si bien el proceso de relleno duro aproximadamente 18 años con altos costos, permitió dejar un precedente de la gestión, en lo que drenaje minero se refiere.

En minería subterránea se tiene el caso la minera Rudna en Polonia que desde 1995, utiliza el material estéril para rellenar cavernas o en el uso de construcción de caminos subterráneos. También se cuenta con los casos de mineras en Suecia, las cuales utilizan el material estéril para construcción de represas y carreteras de minas. Al mismo tiempo, los minerales de ganga se mezclan con cemento de manera de utilizar la mezcla para rellenar aberturas subterráneas y la construcción de pilares. En Perú por su parte¹⁹, la compañía minera Volcán el 2019 implemento un programa piloto donde se utiliza los relaves como pasta de relleno en las galerías subterráneas de la minera Andaychagua, donde por 12 meses, utilizó los depósitos de relaves para realizar una pasta con cemento y así rellenar zonas de explotación minera en base a taladros.

En Chile, los pasos que ha dado AMSA en esta materia es que durante 2021 Centinela concluyó los estudios de pre-factibilidad para un proyecto que incluye utilizar rajos mineros abandonados para el almacenamiento de relaves. Durante noviembre del mismo año la iniciativa, complementaria al depósito de relaves espesados de la operación, obtuvo su aprobación ambiental avanzando en 2022 a la fase de factibilidad. Además de ofrecer ventajas en aspectos de seguridad y medio ambiente, el proyecto permitiría extender la vida útil del depósito de relaves espesados²⁰.

Por otra parte, se destaca el proyecto de Chile Polimetálico, el cual en su libro, busca desarrollar información estratégica para promover la minería secundaria. Se destacan los proyectos comentados en este informe, pero también se incluyen los escoriales, los cuales son el resultado de acopio de residuo generados en el proceso de fundición de ese metal para producir ánodos de cobre. En el estudio se indica que tales escoriales pueden ser revalorizados como materiales para el sector de la construcción además de recuperar EV o energía verde desde ellos. La Universidad de Atacama destaca con los principales estudios, en el cual evalúa el uso de escoriales como material de construcción en reemplazo de ripios y arenas de río. Las iniciativas divulgadas públicamente en este tema provienen principalmente desde las Universidades. Se han realizado estudios similares en los escoriales también en la región de Valparaíso con material proveniente de Codelco Ventanas. La Universidad de Concepción también está desarrollando algunos proyectos relacionados al procesamiento de escorias.

¹⁹ <https://energiminas.com/volcan-implementara-un-programa-piloto-para-uso-de-relaves-como-relleno-en-pasta/>

²⁰ [Black Sun Template \(aminerals.cl\)](#)



5. Comentarios Finales

Las situaciones de inestabilidad en los depósitos de relaves a nivel internacional que han generado eventos de falla en los tranques de relaves han aumentado la preocupación por mejorar la gestión de los múltiples relaves alojados en diversos sectores del país, cuya mayor densidad se encuentra en la zona norte. Para ello no solo es necesario contar con nuevos estándares metodológicos que incluyan la tecnología necesaria para el propósito de monitorear en línea, sino que también es fundamental avanzar en las normas y regularizaciones a cargo del gobierno, para así permitir el manejo adecuado y la reutilización de los depósitos. Esto último está en avance dado lo planteado en el Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible.

Aspectos a destacar del presente informe son mencionados a continuación.

- El catastro actualizado desde Sernageomin a octubre del año 2022, menciona la distribución de los depósitos de relaves en Chile, donde de un total de 764 relaves 110 se encuentran activos representando un ~14% del total, por lo que en ellos se debe poner el foco de monitoreo inicialmente.
- El volumen actual total de los relaves catastrados que reportan dicho valor es de 8.544 millones de m³, de ellos 31 tienen volumen mayor a 10 Millones de m³, donde hay 27 que son activos y de gran minería tipo convencionales que representan un 86% del volumen total mencionado.
- Respecto a la geoquímica de los depósitos registrados en base a las muestras tomadas desde los diferentes relaves (642) se evidencia que un 99% de los elementos identificados son formadores de roca o estériles v/s un 1% de contenidos de metales tales como cobre, cobalto, níquel, zinc, arsénico, molibdeno, antimonio, plata, oro, mercurio, entre otros.
- El Programa Tranque forma parte de la PNM 2050 en la meta 40, política propuesta en el año 2021 como parte de alcanzar el monitoreo y gestión integral del 100% de los depósitos de relaves a nivel nacional al año 2030.
- El programa se encuentra en ingeniería de detalle y la plataforma central de procesamiento de información y monitoreo en un 93%, siendo el objetivo final entregar a Sernageomin el sistema de monitoreo global funcional conectado en línea al depósito del tranque El Mauro de MLP. El programa se extiende hasta septiembre del año 2023.
- Entre los próximos 5 a 10 años el programa debería implementarse en diversos relaves de la gran minería que están activos y por lo tanto presentan desafíos de manejo, por lo que su monitoreo es fundamental para minimizar y prevenir eventos de falla. En estos depósitos debería en principio enfocarse la atención del observatorio de relaves para luego integrar los de mediana minería y relaves que se encuentren no activos y/o abandonados.
- Realizar minería secundaria a partir de relaves enmarcado en el modelo de economía circular es fundamental para avanzar en la disminución del material de relaves y darle una segunda vida útil a estos residuos convirtiendo un pasivo minero en un activo, con lo que es importante también avanzar en el marco regulatorio que permita el manejo de los relaves desde su reutilización minimizando cualquier impacto que ello signifique.
- Iniciativas de reutilización de relaves se están desarrollando, ejemplos de ello son: la planta de magnetita de CAP que reutiliza relaves provenientes desde minera Candelaria para extraer hierro, Minera Valle Central que reprocesa relaves de Codelco para obtener cobre y molibdeno, el uso de relaves para materiales de construcción como la

producción de cemento, hormigón, pavimento, ladrillos. U otros proyectos de remediación medioambiental como la Fito-estabilización de los depósitos con la revegetación de la zona. A su vez utilizar los relaves como rellenos de minas a rajo o subterránea está tomando fuerza.

- De igual forma cabe mencionar que se requiere la generación de un marco legal que permita el retratamiento y reutilización de residuos mineros, siendo esta la principal brecha identificada a la fecha.



6. Comentarios Finales

Bibliografía

- Associates, G. (2013). *Experiencias de Operación de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados. Experiencia de Operación Depósitos de Relave Espesados y Filtrados.*
- Carvajal, M. (2018). *Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves, Tesis (Ingeniería Civil).* <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>.
- COCHILCO. (2020). *Identificación de oportunidades mediante la implementación de la economía circular en minería secundaria del cobre.* Santiago.
- Consejo Minero. (11 de Diciembre de 2018). *Consejo minero.* Obtenido de <https://consejominero.cl/plataforma-social/relacionamiento-y-dialogo/cierre-participativo-del-tranque-de-relaves-los-quillayes-de-minera-los-pelambres/>
- Decreto Supremo 248. (2007). *Ministerio de Minería.* Obtenido de Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves: https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/DS248_Reglamento_DepositosRelave.pdf
- Ecometales. (2017). *Ecometales.* Obtenido de <https://www.ecometales.cl/operaciones-y-proyectos/recuperacion-de-elementos-de-valor-relaves#:~:text=El%20programa%20I%2BD%20Relaves,por%20el%20consorcio%20JRI%20E2%80%93%20EcoMetales>.
- Ecometales. (11 de 17 de 2020). *Ecometales.* Obtenido de <https://www.ecometales.cl/ecometales/noticias/noticias/manual-para-reprocesamiento-de-relaves>
- Fundación Chile, E. P. (2018). *Fundación Chile.* Obtenido de <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/TRANQUE-2018-1.pdf>
- Hernández, A. B. (2021). *Colapso del tranque de relaves Las Palmas durante el sismo del Maule 2010.* Obtenido de Repositorio UC: <https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/57461>
- Ing. Uc. (27 de 12 de 2021). *Ing UC.* Obtenido de <https://www.ing.uc.cl/noticias/investigadores-uc-transforman-relaves-del-cobre-en-materiales-de-construccion/>
- Minera Valle Central. (21 de 11 de 2019). *Minera Valle Central.* Obtenido de <https://mineravallecentral.cl/el-gran-desafio-es-replicar-este-modelo-en-otros-lugares/>
- Minera Valle Central. (21 de Febrero de 2021). *Minera valle central.* Obtenido de <https://mineravallecentral.cl/recuperacion-en-relaves-es-capaz-de-producir-mas-cobre-que-algunas-operaciones-mineras/>
- Relaves con valor. (2021). *Relaves con valor .* Obtenido de <https://relavesconvalor.cl/2022/04/08/continuidad-del-programa-id-relaves-con-valor-liderado-por-el-consorcio-jri-ecometales/>



Reporte Minero. (26 de Julio de 2022). *Reporte Minero*. Obtenido de <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2022/07/amtc-fitorremediacion-medicion-humedad-relaves>

SERNAGEOMIN. (2015). *Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras*.

SERNAGEOMIN. (2018). *Política Nacional de Relaves Relaves mineros a lo largo de Chile*.

SERNAGEOMIN. (2022). *Sernageomin*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>



Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

Ada Contreras Pinto

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Con la colaboración de

Cristóbal Muñoz Cáceres

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Estefanía Oyanedel Peralta

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Víctor Garay Lucero

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2022

