



Universidad  
Católica del Norte

N°13  
2020

Programa de Mejoramiento  
Institucional en Recursos Hídricos

# BOLETÍN VIGILANCIA TECNOLÓGICA

**AVANCES EN EL TRATAMIENTO DE RELAVES PARA  
RECUPERACIÓN DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE**



Dirección de Innovación y  
Transferencia Tecnológica

# Vigilancia Tecnológica ¿Qué es?



La vigilancia tecnológica (VT) es una de las herramientas de los sistemas de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I+D+i), esta herramienta de manera sistemática detecta, analiza, difunde, comunica y explota las informaciones técnicas útiles para la organización, su propósito es alertar sobre las innovaciones científicas y técnicas susceptibles de crear oportunidades y amenazas para la misma. (UNE 166006 EX, 2006).

A nivel mundial la VT es una herramienta muy utilizada por organizaciones independientes, privadas y/o estatales que dentro de su funcionamiento tengan integrado un sistema de gestión I+D+i y/o realicen proyectos de I+D+i.

## Programa de Mejoramiento Institucional en Recursos Hídricos UCN 1795

El Programa de Mejoramiento Institucional PMI en Recursos Hídricos 1795 busca dar continuidad y sustentabilidad en el tiempo a los Programas priorizados por el PMI UCN1302, consolidando competencias y capacidades en torno a un recurso estratégico, como lo es el recurso hídrico en la Región de Antofagasta.

La propuesta de trabajo se orienta a fortalecer la articulación académica y la vinculación con el medio, trabajando articuladamente con la industria y los servicios públicos, con la finalidad de fortalecer las líneas de investigación en recursos hídricos, a través del desarrollo de I+D+i y la formación de cursos de capacitación y postgrado.

# Índice de Contenidos

- Introducción.....4
- Publicaciones Científicas.....6
- Patentes.....9
- Patentes en Chile.....14
- Referencias.....15

## NECESIDAD DE RECUPERACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA

---

La Comisión Chilena del Cobre estima que para el 2025 la industria minera del cobre utilizará para sus operaciones 775 millones de m<sup>3</sup> de agua al año, un 66 % más que el 2014 (Jeldres y col., 2016). La explotación de los yacimientos de mineral sulfurado, los cuales se ubican a mayor profundidad y con menor ley, requieren de una gran capacidad de procesamiento de material y para ello grandes volúmenes de agua. La generación de relaves, residuos líquidos que contienen una amplia gama de contaminantes, son dispuestos en tranques, con altas tasas de evaporación, inundando grandes extensiones de terreno y generando un fuerte impacto ambiental (França, y col., 2017). La disponibilidad de agua es una limitante importante en la expansión de este tipo de yacimientos en Chile, considerando que la mayoría de las operaciones mineras están ubicadas en el desierto de Atacama. Por estas razones, se hace necesario la recuperación de agua en el proceso de concentración del mineral.

Actualmente, existen diferentes opciones para la recuperación y recirculación de agua, tales como el espesamiento de relaves convencional, el de alta densidad y en pasta. Cada cual tiene asociado un cierto nivel máximo de recuperación de agua en términos de potencial. Es así como para un mineral con contenidos razonables de arcilla, a través de un espesamiento convencional es posible alcanzar densidades del orden del 60% en la descarga; sin embargo, al espesar a niveles de alta densidad y/o pasta, los porcentajes de sólidos que se pueden lograr son del orden del 68% y 75% respectivamente. Sin embargo la aplicación de los relaves espesados requieren equipos, energía y mano de obra calificada que actualmente no son técnica ni económicamente factibles de aplicar a la gran minería, y limita la aplicación a la pequeña y medianas operaciones, a pesar de ello, se prevé disminuir esa brecha a largo plazo.

Otra tecnología usada para recuperar agua desde los relaves es mediante el proceso de filtrado. La ventaja de ésta es que, independiente del contenido de arcillas, es posible alcanzar queques con humedades residuales entre 15% y 22%, con la consiguiente mayor recuperación de agua. El contenido de arcillas afecta principalmente la tasa de filtración y la productividad de los filtros, pero, tal como se indica, es posible alcanzar humedades interesantes desde el punto de vista de la recuperación de agua, pero al igual que los relaves espesados, esta tecnología no logra procesar la totalidad de la producción de relaves generados en la gran minería, por lo que la aplicación en la gran minería del cobre, a gran escala no es posible en la actualidad.

El espesamiento de los relaves ha sido fuente de investigación. La búsqueda de nuevos elementos que permitan una mayor velocidad de sedimentación en los relaves, mediante técnicas de coagulación/floculación, precipitación química, electrocoagulación, adsorción y oxidación se han utilizado para aumentar la capacidad de procesamiento de los espesadores convencionales y de esa manera aumentar la recuperación del agua (Li y col, 2018).

Se analizaron las publicaciones científicas sobre avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre, mediante la base de datos y herramientas de análisis de la plataforma Scopus de Elsevier. Para el periodo entre los años 2016 y 2019, se encontraron 27 resultados, principalmente, en los campos de estudio sobre Tierra y Ciencias Planetarias (24,6 %), e Ingeniería (21,3 %). En el periodo analizado, se observa un notorio aumento en el número de publicaciones en el año 2019 siendo el más productivo en investigaciones científicas con 10 publicaciones (Figura 1).

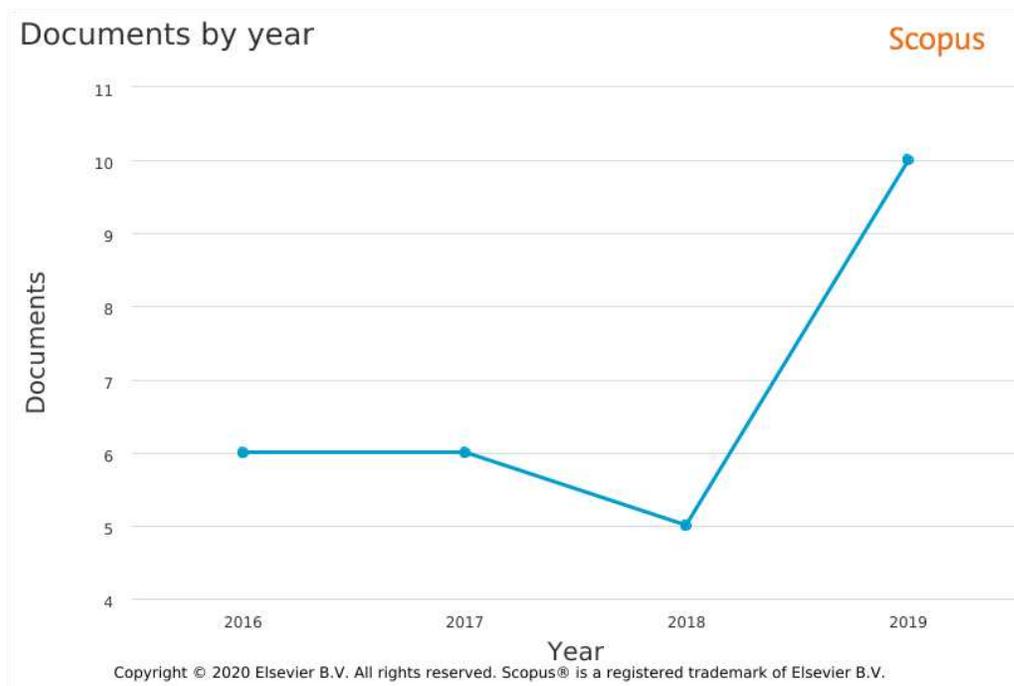


Figura 1. Análisis de publicaciones científicas por año sobre avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre.

A continuación, este boletín entrega información seleccionada de los últimos 4 años de publicaciones científicas y patentes relacionadas con los avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre.

## Mejora de la recuperación de agua por cizallamiento de relaves espesados por gravedad para relleno de pasta cementada. (Publicado 2019)

En este estudio, se realizó una prueba de espesamiento a escala piloto para mejorar la concentración de flujo inferior mediante cizallamiento de rastrillo. El lecho de relaves se analizó con tomografía computarizada. La porosidad y la conectividad se determinaron utilizando un modelo de red de poros (PNM) para explicar la mejora en la recuperación de agua debido al cizallamiento. Los resultados muestran que la concentración de flujo inferior aumenta de 62.3% en peso a 68.6% en peso cuando la velocidad de corte del rastrillo es de 2 rpm. La porosidad disminuye de 47.26% a 40.19% debido al cizallamiento, lo que representa una disminución de 14.96%. La conectividad de los poros disminuyen en un 8.9% debido al cizallamiento. Los espacios de poros se pueden dividir en "bolas", que representan el almacenamiento de agua, y "barras", que representan la conexión de poros en el PNM. El número de bolas y barras después del corte disminuye en 16.59% y 24.01%, respectivamente. Se propuso el concepto de la relación bola-barra (BSR) para una caracterización de la estructura de poros. El BSR aumenta en un 20.76% después del cizallamiento, lo que indica que el drenaje ocurre en los espacios de la barra en lugar de los espacios de la bola. Se realizó un estudio de caso en la mina de cobre Jiashi en el desierto de Taklimakan, que es una de las zonas más áridas de China. La concentración de flujo inferior alcanzó el 70–72% en peso al mejorar la cantidad y la altura del piquete. Basado en el sistema de relaves espesados, se pueden ahorrar 14 millones de toneladas de agua por año y se puede obtener una recuperación de agua del 57%. Por lo tanto, la tecnología de pasta y relaves espesados se puede utilizar para la eliminación de relaves en áreas áridas.

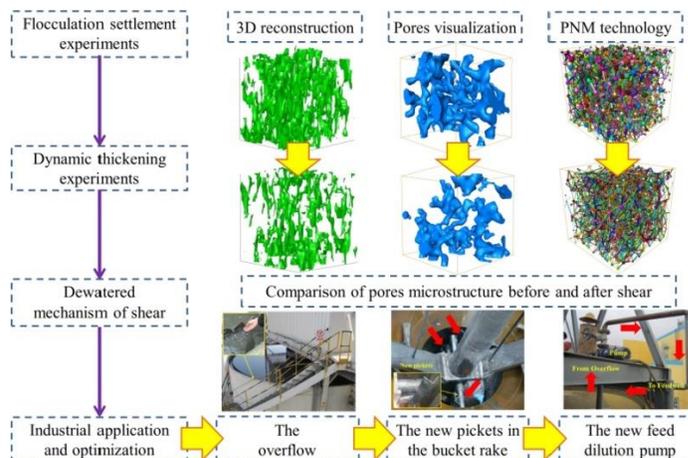


Figura 2: Esquema del proceso experimental realizado en la investigación

Leer artículo [completo](#).

## Desagüe de relaves: recuperación rápida de agua mediante el uso de centrifugadoras (Publicado 2019)

En la actualidad, la mayoría de los relaves son deshidratados por el asentamiento estático en presas de relaves. El impacto ambiental de estos grandes tranques de asentamiento es muy dramático, sin mencionar los requisitos de espacio y el riesgo potencial de falla de la presa. Este método de eliminación también da como resultado la pérdida de agua de proceso debido a la evaporación. Esto puede ser significativo en áreas donde el suministro de agua dulce es limitado. La alta fuerza centrífuga en una centrífuga decantadora aumenta drásticamente la eficiencia de deshidratación, ya que la separación centrífuga ocurre a una velocidad de hasta  $29,430 \text{ m/s}^2$  (aceleración gravitacional de  $3.000 \text{ g}$ ). Dependiendo del material, más del 90% del agua del proceso puede recuperarse utilizando la tecnología centrífuga. El agua se puede reutilizar en la operación de procesamiento de minerales y aumentará la eficiencia del agua de toda la comunidad minera. Este artículo presenta los resultados de proyectos reales en Brasil y Perú.

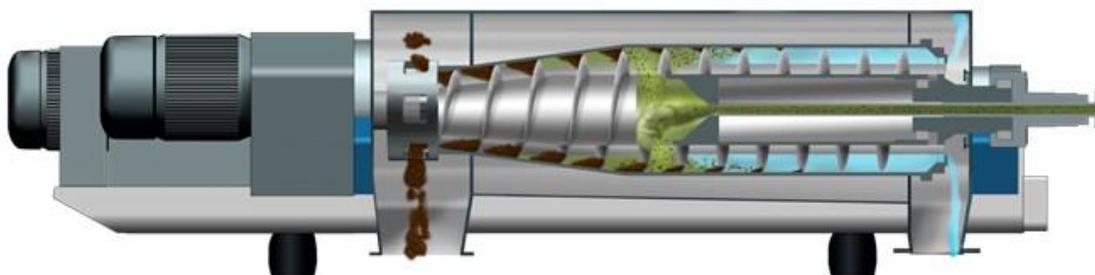


Figura 3. Equipo de centrifugación utilizado para la recuperación de agua en relaves

Leer artículo [completo](#).

## Deshidratación de lodos de relaves mineros utilizando polímeros superabsorbentes (SAP) recuperados del rechazo industrial de pañales para bebés: un estudio preliminar. (Publicado 2019)

La deposición tradicional de relaves en una instalación de almacenamiento de relaves (TSF) puede crear riesgos de falla del dique. Para minimizar estos riesgos y el derrame de la suspensión, ha surgido la técnica de deposición superficial de relaves densificados (DT) a través del desagüe de la suspensión. La técnica DT tiene el potencial de maximizar la reutilización del agua, mejorar la resistencia al corte de los relaves superficiales y reducir la huella ecológica de TSF. La consistencia de DT cubre un continuo que va desde el estado espesado hasta el estado de pasta y el estado seco. A pesar de su eficiencia y viabilidad económica, la densificación de DT usando espesantes a veces demuestra que no puede lograr la concentración de masa objetivo de sólidos de diseño (% Cw). Por lo tanto, el uso de polímeros superabsorbentes (SAP) parece representar una alternativa prometedora, debido a su mayor capacidad de absorción de agua.

En este documento, los polímeros superabsorbentes (SAP) recuperados del rechazo industrial de los pañales para bebés (poliacrilatos de Na) se exploran como una alternativa prometedora a la deshidratación de lodos de relaves de minas. Con este fin, se han realizado pruebas de deshidratación a escala de laboratorio utilizando dos grados de SAP de poliacrilato de Na (grado 1 SAP = SAG-A06P de grano grueso y grado 2 = SAG-M01P-100 de grano medio) para la densificación de lodos de relaves. Se observó una mayor capacidad de absorción de agua (o capacidad de hinchamiento) utilizando los SAP más gruesos (SAG-A06P) en comparación con los SAP más finos (SAG-M01P-100). Los resultados preliminares mostraron que una dosis de volumen de SAP en el rango de 10 a 13 kg de SAP / m<sup>3</sup> de relave permitió alcanzar una concentración de masa final de sólidos (Cw% \_final)  $\geq 70\%$ , a pesar de la aparición del fenómeno de bloqueo del gel.

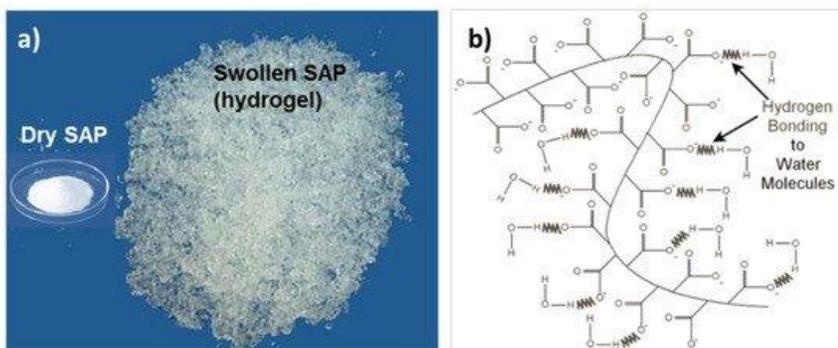


Figura 4. Polímero superabsorbente (SAP): (a) SAP seco e hinchado (hidrogel), (b) interacciones moleculares de poliacrilato de Na.

Leer artículo [completo](#).

# Patentes

La búsqueda de patentes sobre los avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre se ha realizado mediante la base de datos de la plataforma [Lens.org](https://lens.org), la cual abarca patentes de EEUU, Europa y Australia, entre otros. Se consideró las patentes otorgadas desde el año 2016 hasta 2019.

## Patentes sobre avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre.

Los resultados obtenidos muestran que los solicitantes con mayor interés en el tema son EEUU con 159 patentes, le sigue China con 79 y Australia con 50 patentes (Figura 5).

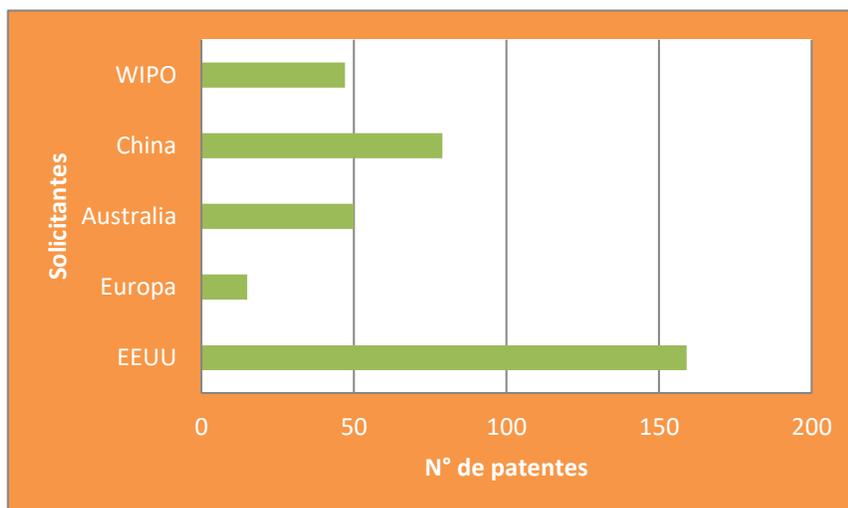


Figura 5. Solicitantes y número de patentes otorgadas (2016-2019)

# Patentes

La Figura 6 muestra un creciente interés en patentar avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre, esto se ve reflejado en el otorgamiento de patentes, que en el año 2019 llegó a su nivel más alto, otorgándose 129 patentes. El año de menor otorgamiento de patente se registró el 2016 con 44 patentes.

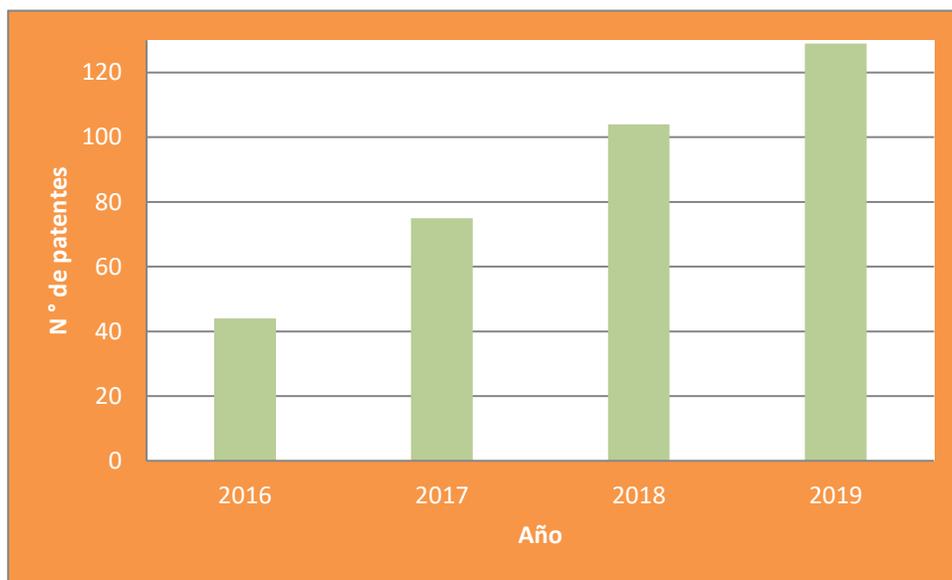


Figura 6. Distribución de patentes por años

## Técnicas mejoradas para desaguar relaves finos y gruesos

Suncor Energy Inc (07 de septiembre de 2017)

N° de solicitud/publicación de patente: AU 2013/280201 B2

Las técnicas para deshidratar relaves finos y gruesos pueden incluir uno o más pasos de pretratamiento, como el pre-corte para reducir el límite elástico antes de la floculación, la eliminación de hidrocarburos por debajo de un umbral para mejorar la floculación y el desagüe, la dosificación de floculante sobre una base de arcilla y proporcionar ciertas propiedades de los relaves finos y gruesos relacionados con los tamaños de partículas gruesas y finas y/o la química, como el contenido de cationes divalentes. Pueden derivarse varias ventajas de los pretratamientos basados en propiedades de relaves espesados finos, tales como requerimientos reducidos de floculante, dispersión mejorada del floculante en los relaves espesados con finos y/o deshidratación mejorada, por ejemplo. Se pueden realizar uno o más de los pretratamientos.

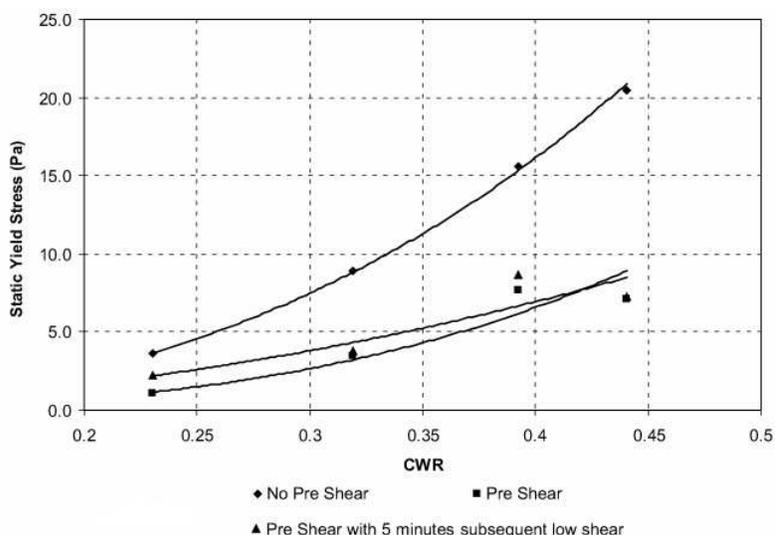


Figura 7. Gráfico que muestra que los pretratamientos patentados disminuyen el límite elástico

Leer documento [completo](#)

## Eliminación combinada de relaves para procesos de minerales

Smidth As F L (27 de enero de 2017)

Nº de solicitud/publicación de patente: US 9687892 B2

Se describe un sistema y un método para la eliminación de relaves. Se proporciona una corriente de alimentación de relaves gruesos y una trituradora de relaves gruesos para triturar la corriente de alimentación de relaves gruesos. La trituradora de relaves gruesos puede producir una corriente de relaves gruesos triturados, y una corriente de eliminación que comprende la corriente de relaves gruesos triturados la cual puede desecharse como producto residual geotécnicamente estable. El sistema y el método pueden proporcionar además una corriente de relaves finos y un espesante configurado para espesar/deshidratar la corriente de relaves finos y producir una corriente de relaves finos por debajo del espesador. El sistema y el método pueden proporcionar un mezclador configurado para mezclar la corriente de relaves finos de flujo inferior del espesador y la corriente de relaves gruesos triturados para formar una corriente combinada de eliminación de relaves. También se puede proporcionar un aparato de desagüe.

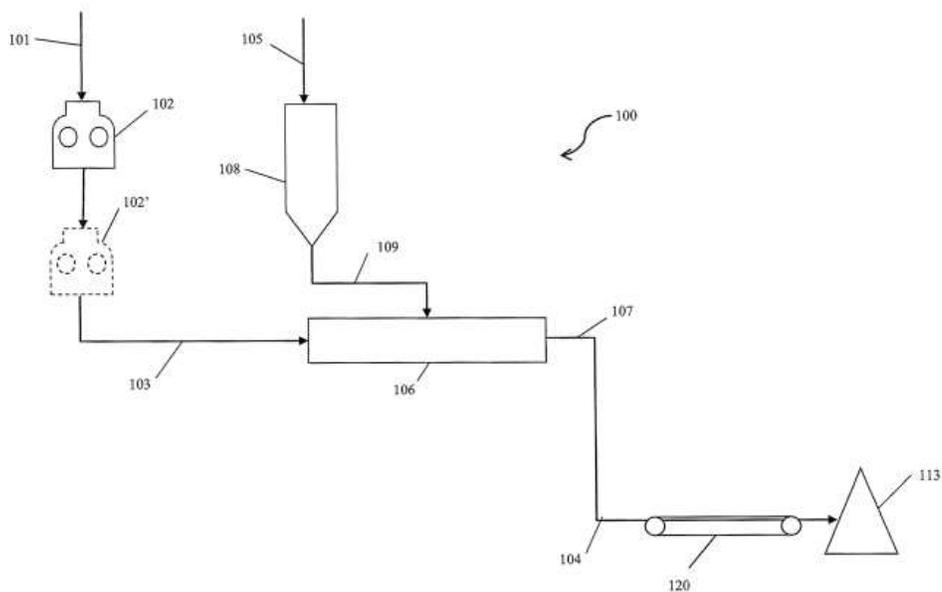
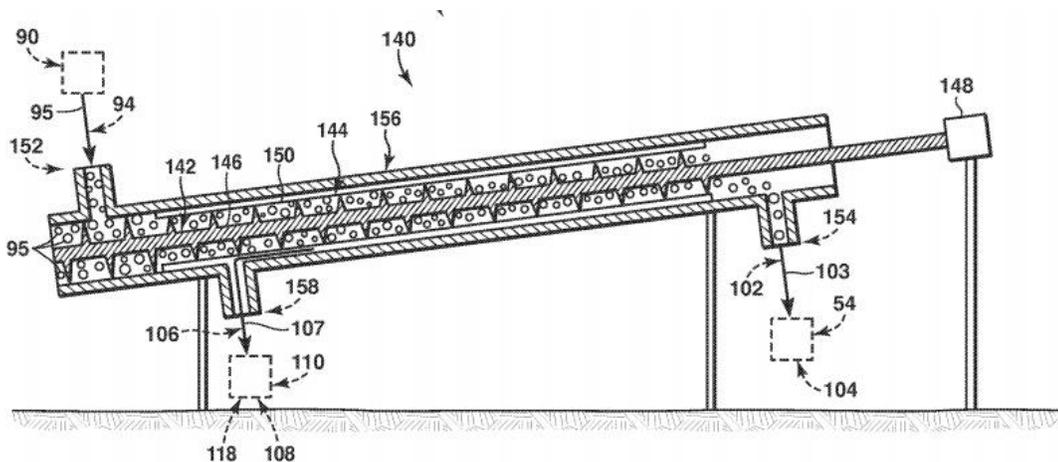


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso patentado

## Sistemas y métodos para separar los relaves mineros de los polímeros que absorben agua y regenerar los polímeros separados que absorben agua

**Exxonmobil Upstream Research Company Ltd (04 de octubre de 2016)**  
**N° de solicitud/publicación de patente: US 9457295 B2**

Sistemas y métodos para separar los relaves mineros de los polímeros que absorben agua y regenerar los polímeros separados que absorben agua. Los sistemas y métodos incluyen un conjunto de separación que está configurado para recibir una suspensión aumentada de relaves de minas que incluye relaves de minas, agua y un polímero hinchado que absorbe agua. El conjunto de separación separa el polímero hinchado que absorbe agua de la suspensión de relaves de mina aumentada para producir una suspensión de relaves de mina deshidratada. Los sistemas y métodos incluyen además una unidad de regeneración de polímero absorbente de agua que está configurada para recibir el polímero hinchado absorbente de agua. La unidad de regeneración de polímero absorbente de agua libera al menos parcialmente agua del polímero absorbente de agua hinchado para producir un polímero regenerado que absorbe agua y, como salida o producto separado, el agua liberada.



**Figura 9. Diseño de equipo utilizado en el sistema de separación de relaves del agua**

Leer documento [completo](#)

# Patentes en Chile

En el buscador de patentes del sitio web del Instituto Nacional de Propiedad Industrial INAPI ([www.inapi.cl](http://www.inapi.cl)), se encontraron 30 patentes sobre avances en el tratamiento de relaves para recuperación de agua en la minería del cobre. A continuación, se presenta un ejemplo.

**Título de Patente: Reactor de ultra-floculación hidráulico para la recuperación de aguas a partir de pulpas finas de relaves mineros.**

**N° de solicitud: 201802485**

**Fecha de solicitud: 31 de agosto de 2018**

**Solicitante: Universidad de Concepción**

Reactor de ultra-floculación hidráulico para la recuperación de agua a partir de pulpas finas de relaves mineros que comprende al menos una carcasa cilíndrica externa con un diámetro de la base y la zona superior en una razón de 1:2 y 1:4, una carcasa interna unida a la carcasa externa, y un ducto de entrada de efluente y un ducto de salida de efluente.

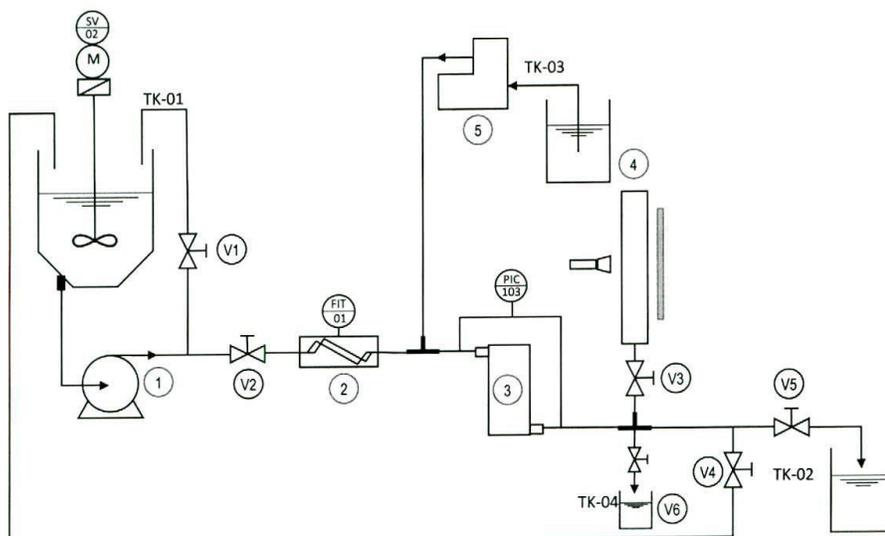


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso

# Referencias

---

Ricardo I. Jeldres, Liza Forbes & Luis A. Cisternas Effect of Seawater on Sulfide Ore Flotation: A Review, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* (2016), 37:6, 369-384, DOI: 10.1080/08827508.2016.1218871

S.F. Anis, R. Hashaikeh, N. Hilal, Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: a comprehensive review, *Desalination* 452 (2019) 159–195, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.11.006>.

Sílvia C.A. França, Lucas S. Andrade, Pamela E.V. Loayza, Bruna C. Trampus. Water in Mining – Challenges for Reuse. (2017). *Mine Water and Circular Economy*.

Yubiao Li & Shaobing Xie & Yunliang Zhao & Ling Xia & Hongqiang Li & Shaoxian Song The Life Cycle of Water Used in Flotation: a Review (2018). *Mining, Metallurgy & Exploration*. <https://doi.org/10.1007/s42461-018-0004-z>.



Programa de Mejoramiento Institucional en Recursos Hídricos

Universidad Católica del Norte  
Pabellón E2 / Av. Angamos 0610, Casilla 1280, Antofagasta  
Fono:  
(55) 2651740 / (55) 2355044  
E-Mail:  
[ceitsaza@ucn.cl](mailto:ceitsaza@ucn.cl)  
Página Web:  
[www.ceitsaza.cl](http://www.ceitsaza.cl)

Proyecto de Consolidación de Oficinas de Transferencia y Licenciamiento

Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica  
Universidad Católica del Norte  
E-Mail:  
[Innovacion.vridt@ucn.cl](mailto:Innovacion.vridt@ucn.cl)  
Página Web:  
[ditt.ucn.cl](http://ditt.ucn.cl)



Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica