


Iniciativas para transformar los relaves antiguos o en operación en activos estratégicos

Seminario Regional
La economía circular en la minería de Perú
10 y 11 de julio del 2024

Mag. rer. nat. Achim Constantin
Instituto Federal de Geociencias
y Recursos Naturales, Alemania

A photograph of a mining site showing a large pile of dark, rocky tailings. In the background, an orange excavator is visible. Three workers wearing white hard hats and high-visibility vests (orange and yellow) are standing in the foreground, looking towards the tailings pile.

Reprocesamiento de relaves, SMRL Acumulación
Los Rosales, Puno, Perú

11.07.2024

MinSus: Cooperación Regional para la Gestión Sustentable de la Minería en los Países Andinos III



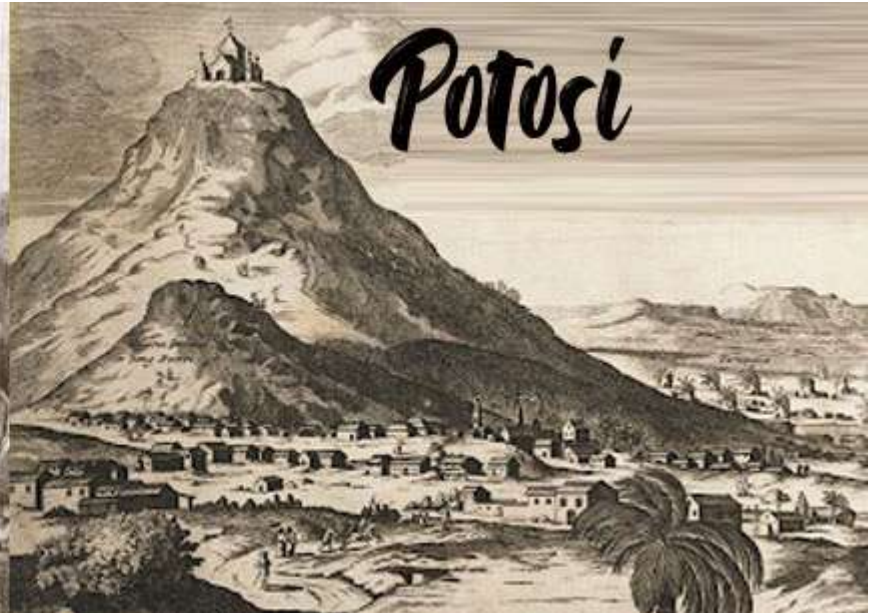
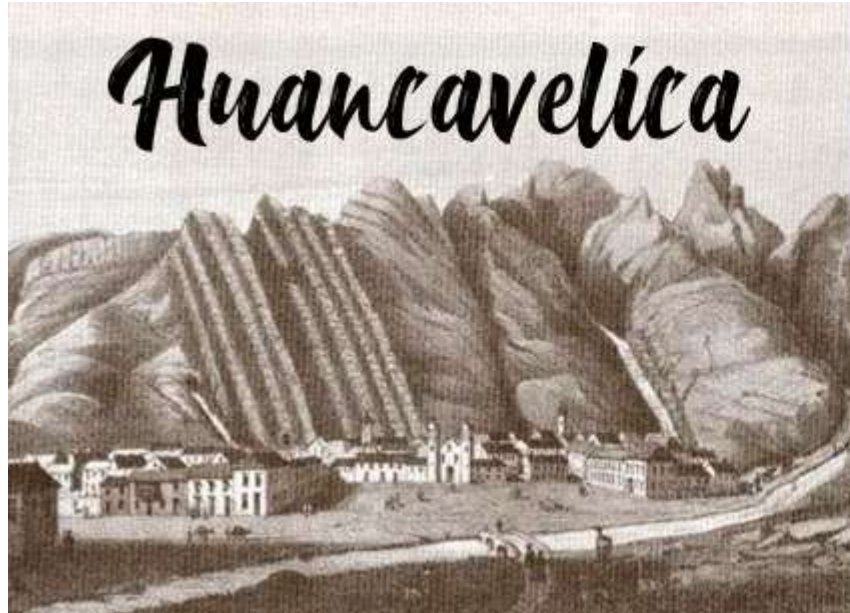
En nombre de la



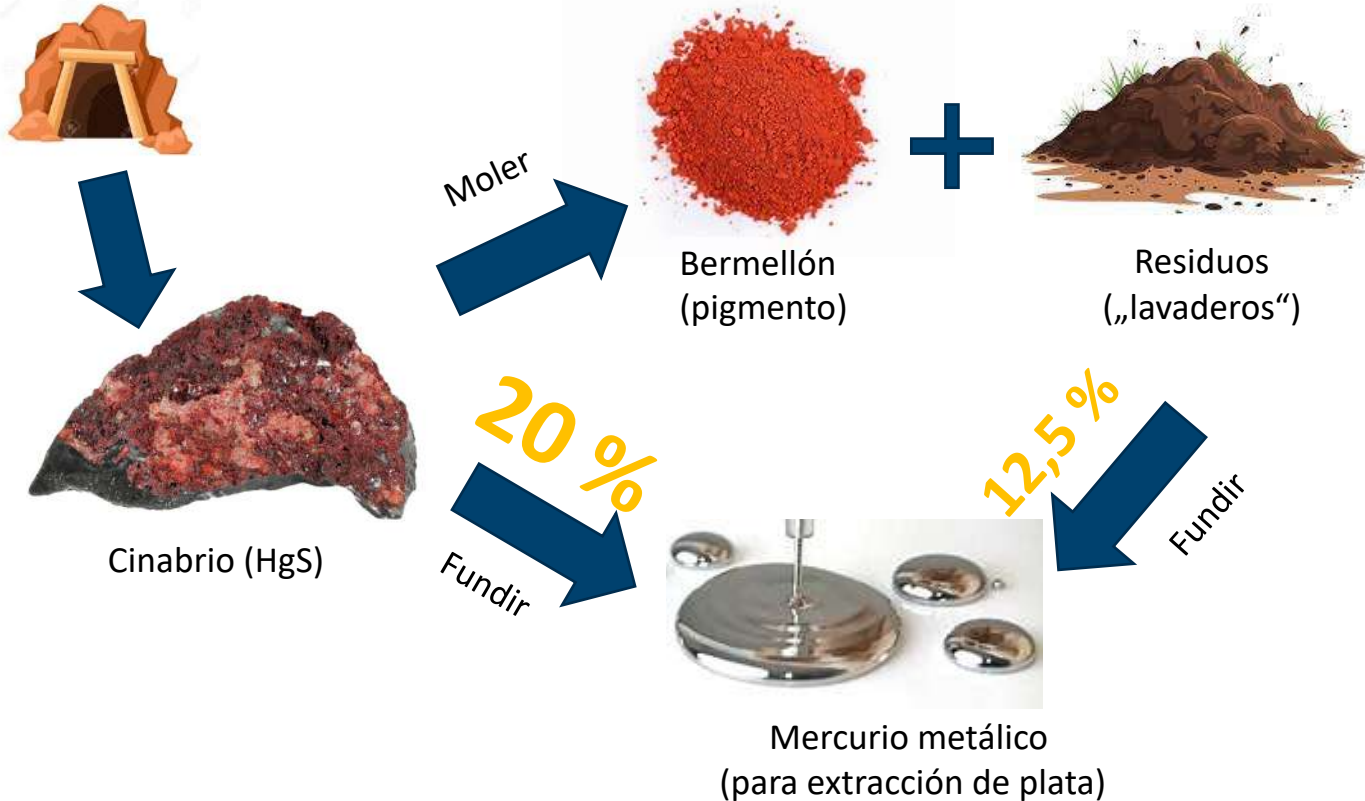
Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung



Reaprovechar residuos mineros ¿Algo nuevo e innovador?



Incentivos tributarios para reaprovechar residuos mineros en Huancavelica en el siglo XVI



Reaprovechar residuos mineros ¿Algo nuevo e innovador?



Moritz Hochschild (1881 – 1965)

“Don Mauricio”

- Ingeniero de minas alemán, UT de Freiberg
- Compra de residuos mineros y minerales de baja ley, p.e. de Potosí, y envió a Alemania para su procesamiento (fundición Berzelius, Hamburgo).
- Creó en la primer mitad del siglo XX un imperio económico por la extracción y comercialización de minerales (Sn, Ag, Cu, etc.) desde Perú a Chile
- Uno de los tres „barones del estaño“ de Sudamérica
- El “Oskar-Schindler” de América Latina

¿Cuál es la situación actual con los relaves a nivel mundial?

- Minerales de baja ley => grandes cantidades de residuos mineros
- *Kinnunen et. al.*: una tonelada de mineral valioso genera entre 2 y 12 t de residuos mineros
- Chile:
 - 1,6 millones de toneladas de relaves al día,
 - 10,5 mil millones t depositados,
 - ley de cobre 0,3 a 0,5 % => 99,5 – 99,7 % residuos
- UE: 5.000 a 15.000 millones t/año de residuos mineros
- Sin gestión adecuada de los relaves:
 - Contaminación del aire, el agua y el suelo (p.e. DAM)
 - Riesgos geotécnicos (p.e. colapso de presas de relaves)
 - Amenazas para la salud humana y el ambiente
 - Agotamiento de los recursos naturales
 - Ocupación de terrenos....



Relavera abandonada EUM Halcón, Perú (04/2025, BGR)

Principales averías de presas de relave entre 1915 y 2020



Los hechos:

365

accidentes de relaves conocidos desde 1915 (incluidos 71 desde 2010)

3000

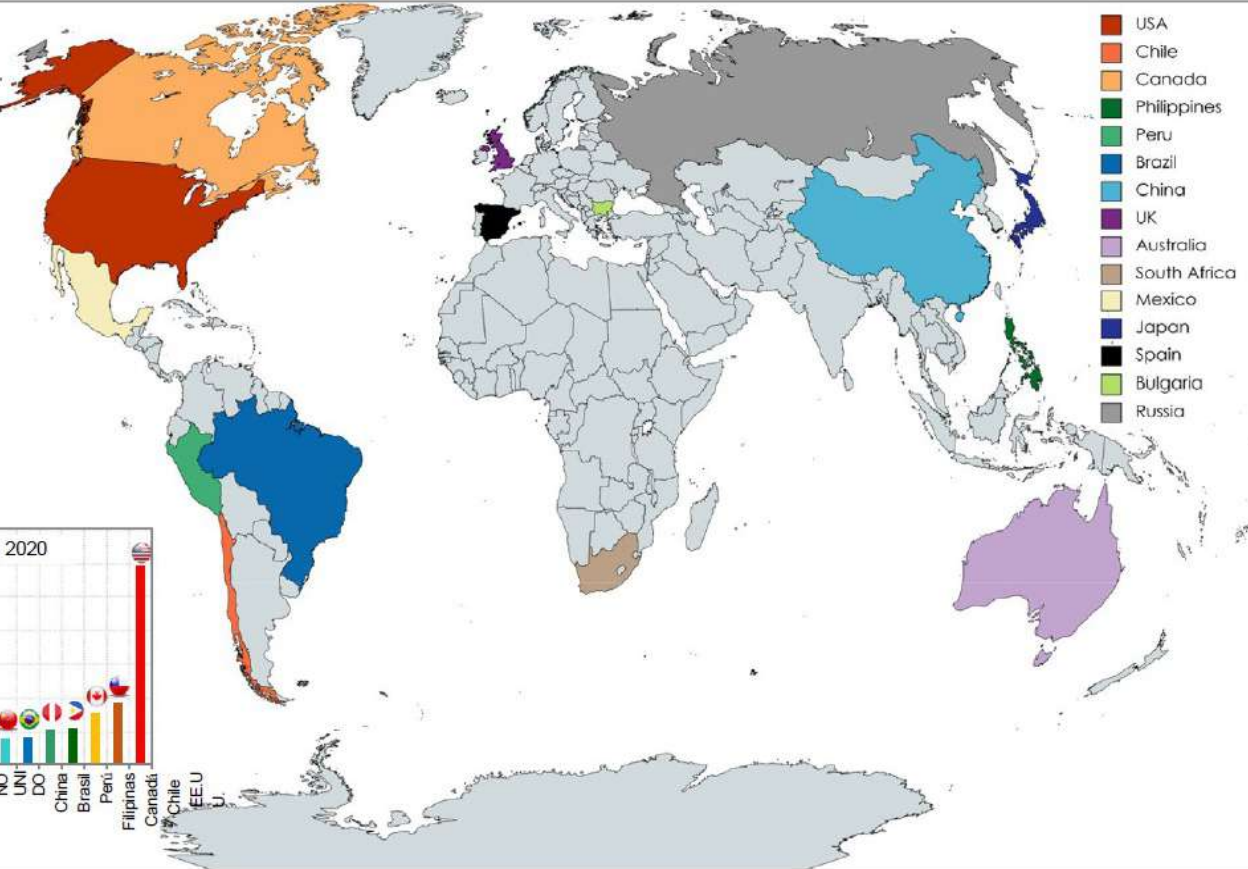
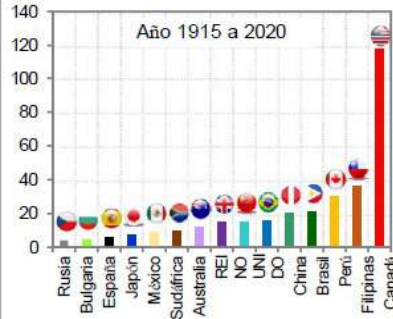
muerres conocidas (482 desde 2010)

275.000 millones

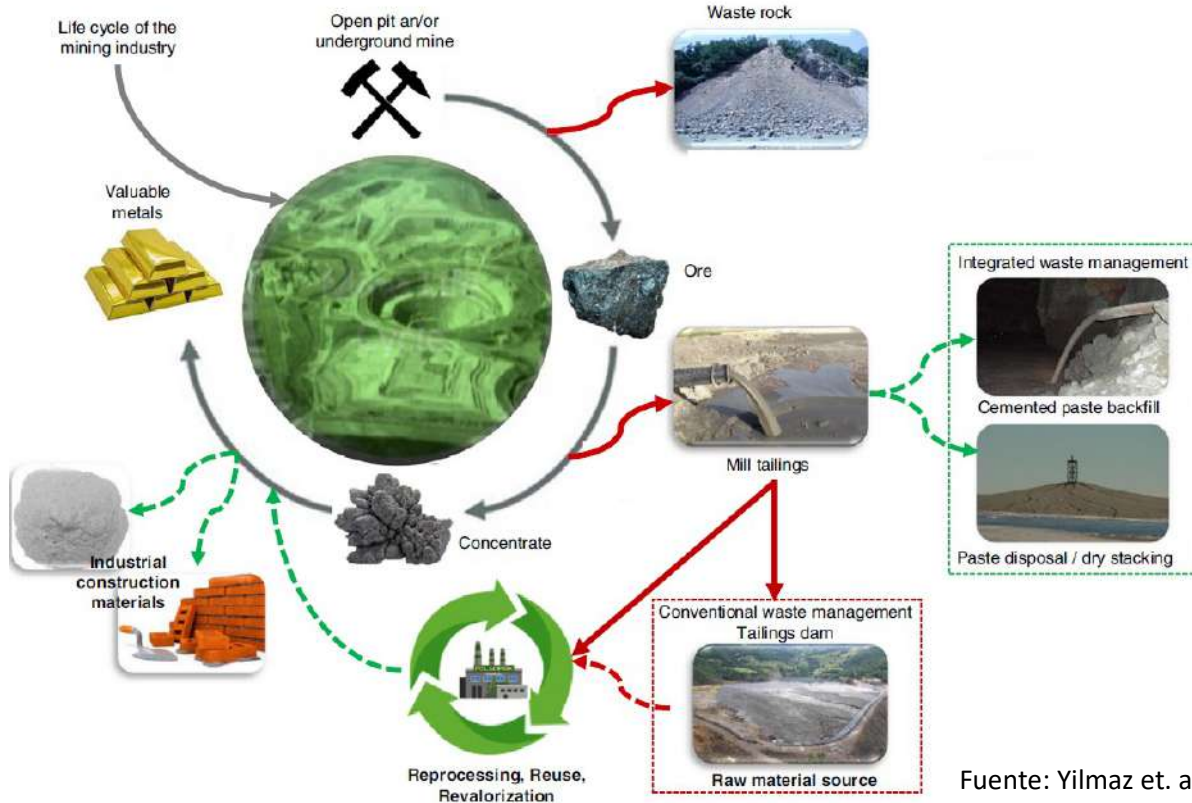
Más residuos vertidos (más de 100.000 millones de litros desde 2010)

4.000 km

Más de vías navegables dañadas (incluidos más de 2.100 km desde 2010)



¿ Qué son los nuevos enfoques de gestión de relaves?

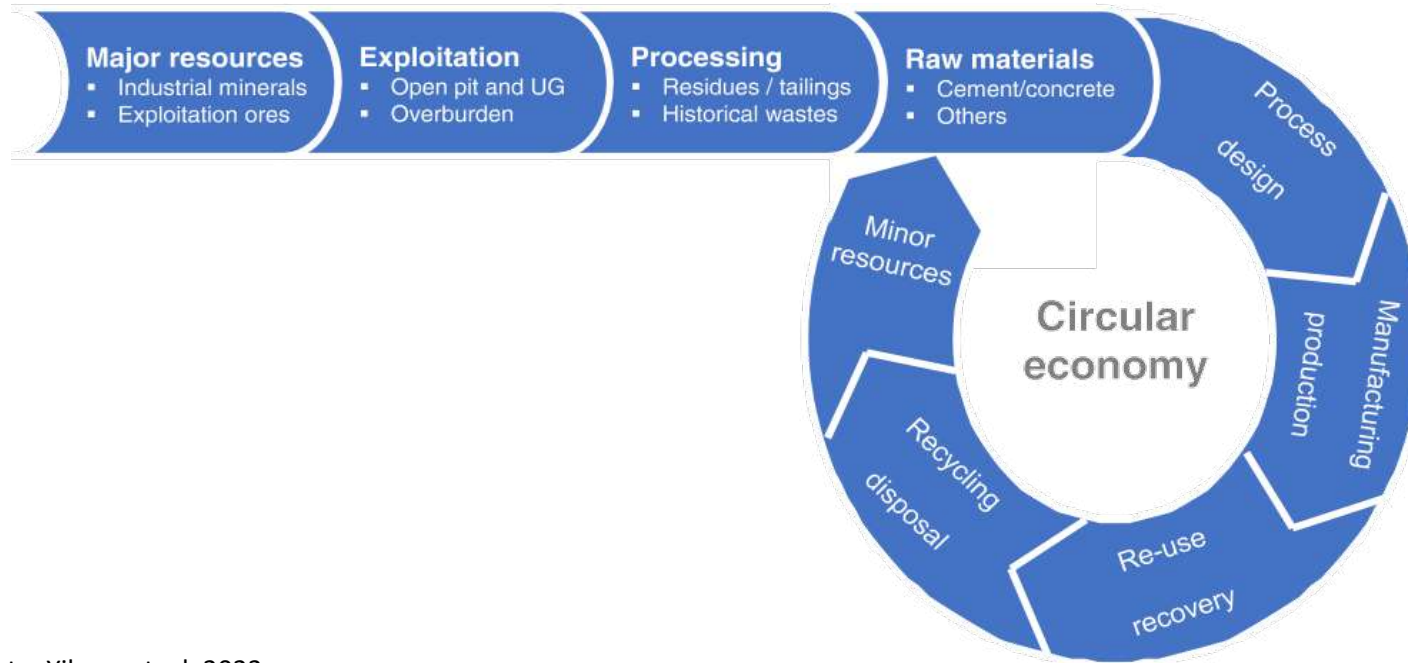


- (1) Relaves deshidratados
- (2) Reutilización, reciclaje y tratamiento de relaves
- (3) Gestión integrada proactiva de relaves



Fuente: Yilmaz et. al. 2023

La economía circular de los residuos mineros como materia prima para la sostenibilidad



Utilización de residuos mineros como materia prima en distintos sectores industriales



Reciclado y reutilización: enfoques recientes



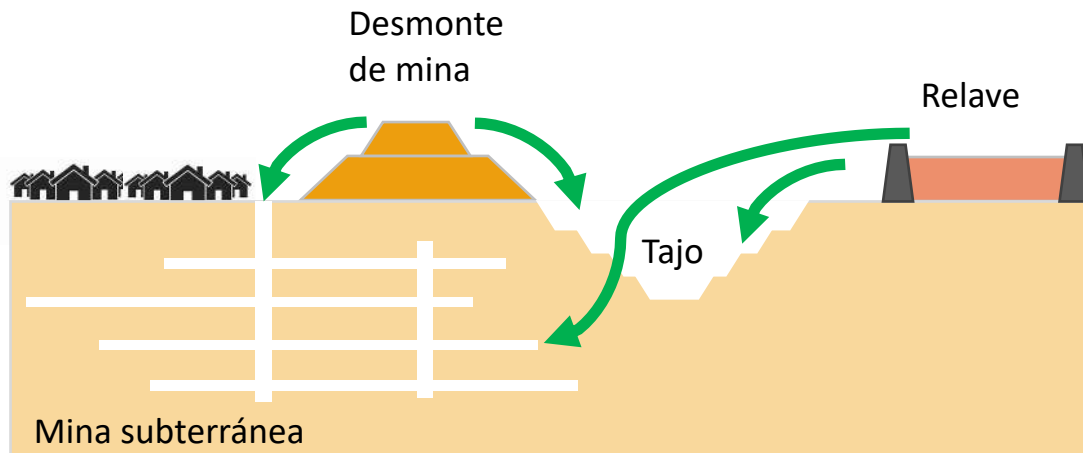
Uso de residuos mineros para el relleno de minas



Antes



Después



Principales técnicas de relleno “backfill” de minas y sus características



Characteristics	Rock backfill	Hydraulic backfill	Paste backfill
Solid content	100 wt% solids	60–75 wt% solids	75–85 wt% solids
Transport	Raise, mobile tools, single cement system	Borehole or pipeline via gravity	Borehole or pipeline via gravity
Cement addition	Cemented-uncemented	Cemented-uncemented	Cemented alone
Water/cement (w/c) ratio	Low w/c ratio, higher cement strength	High w/c ratio, very low cement strength	Low to high w/c ratio, low to high cement strength
Placement rate	100–400 tons/h	100–200 tons/h	50–200 tons/h
Segregation	Stockpile segregation, reduced strength	Slurry segregation, low strengths	No segregation
Stiffness	High stiffness	Low stiffness	Low to high stiffness
Strength	High	Low	Moderate
Grain size	>20 cm	>20 μm ($\geq 90\text{wt.}\%$)	<20 μm ($\geq 15\text{ wt.}\%$)
Capital costs	High	Low	High
Operating costs	High	Moderate	Low
Barricade	Not necessary	Expensive	Less expensive
Tight filling	Hard to tight fill	Cannot tight fill	Easy to tight fill

Ingredientes fundamentales del Relleno de pasta cementada “cemented paste backfill” (CPB)

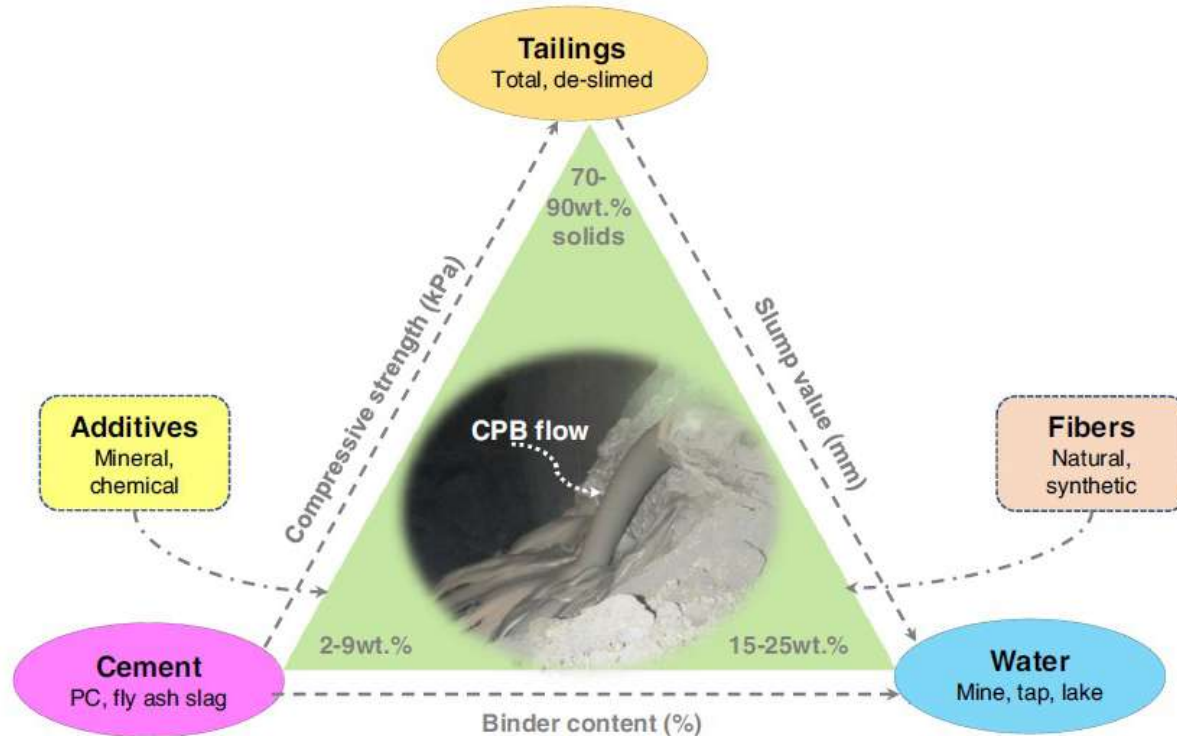
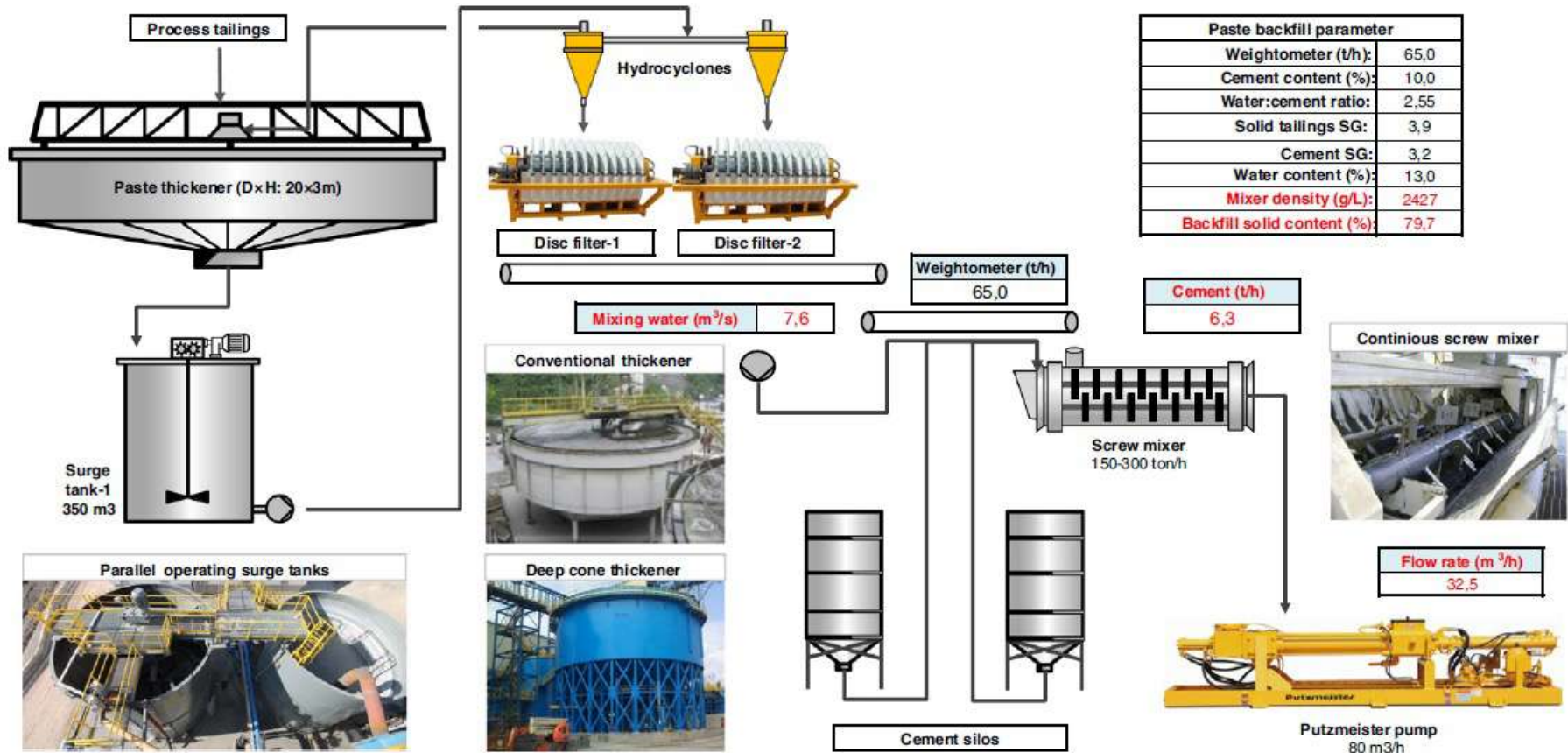


Diagrama de flujo típico de una planta de pasta



Paste backfill parameter	
Weightometer (t/h):	65,0
Cement content (%):	10,0
Water:cement ratio:	2,55
Solid tailings SG:	3,9
Cement SG:	3,2
Water content (%):	13,0
Mixer density (g/L):	2427
Backfill solid content (%):	79,7

Mixing water (m³/s) 7,6

Weightometer (t/h) 65,0

Cement (t/h) 6,3

Flow rate (m³/h) 32,5

Cement silos

Putzmeister pump 80 m³/h



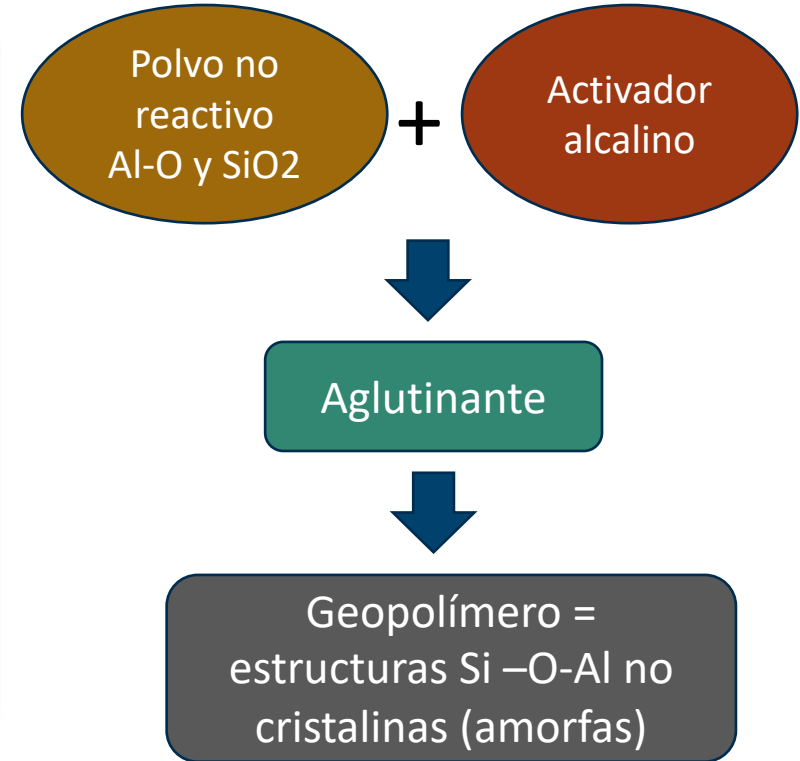
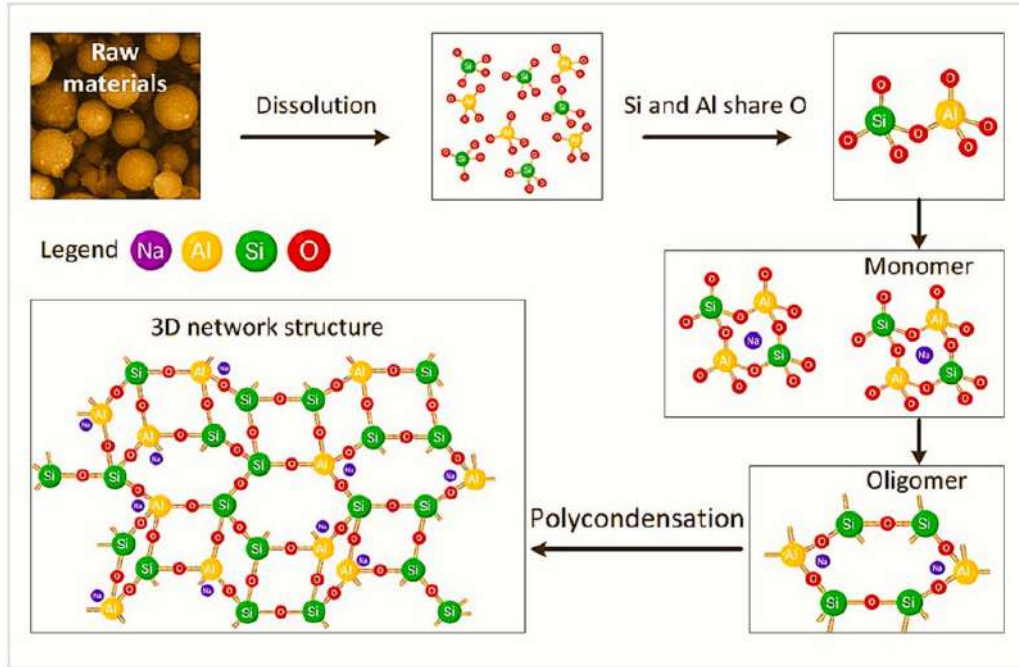
Relleno de minas por tuberías con CPB y construcción de barricadas



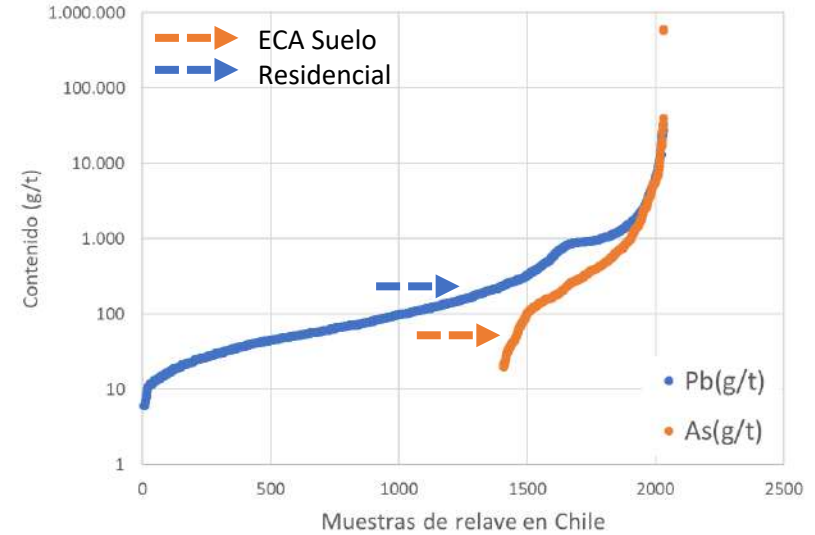
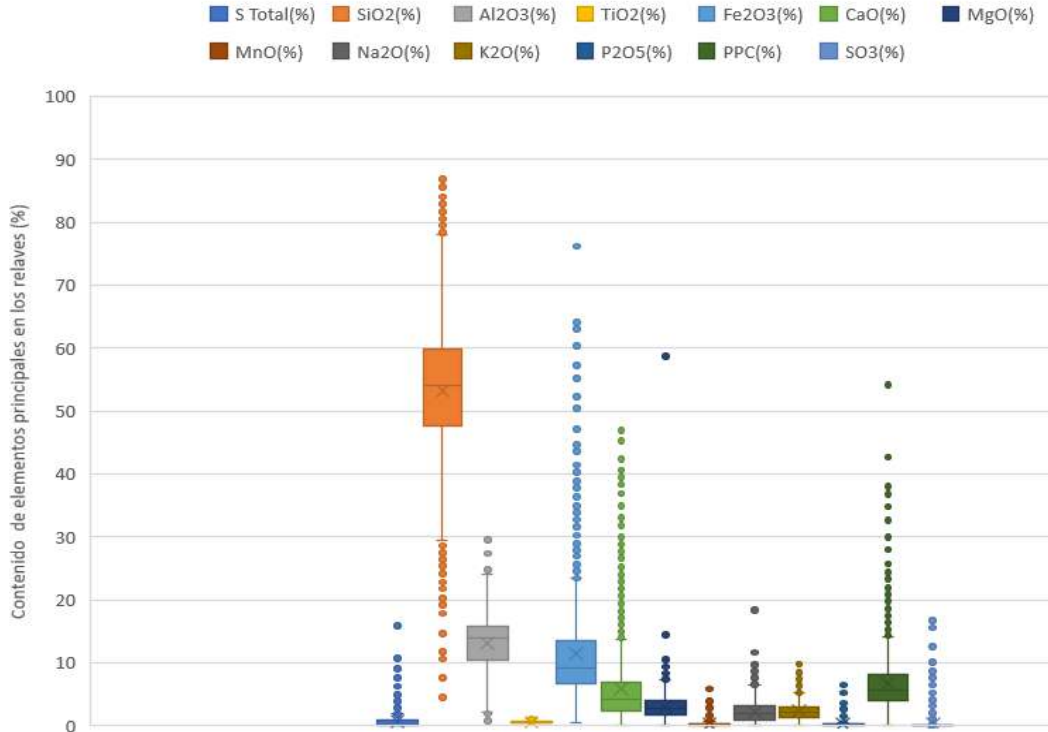
- (A) Colgadores de tubería
- (B) Relleno de pasta
- (C) Preparación de barrera
- (D) Malla metálica, perno de resina y hormigón proyectado

Fuente: Yilmaz et. al. 2023, modificado

Uso de relaves mineros para la producción de geopolímeros



Características químicas de relaves en Chile



Fuente: G. Pérez y elaboración propia, en base de datos geoquímicos de 642 relaves en Chile, SERNAGEOMIN 2020

Impresión 3D con hormigón libre de cemento usando geopolímeros en base de escorias



Fuente: MC-Bauchemie, Alemania

Recuperar elementos de valor desde residuos mineros



ReMiningPlus

A facility for the recovery of valuable materials from sulphide rinsing tailings and their sustainable remediation



© Thürigen/G.E.O.S.



© Bode/HZDR



© Thürigen/G.E.O.S.



© Müller/HZDR



© Müller/HZDR

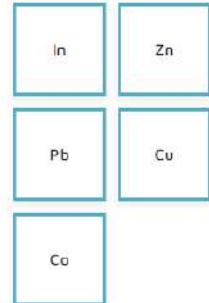
R & D Locations

- Freiberg – Davidschacht

Pollutants



Resources



<https://www.recomine.de/>

Gracias por su atención.

Achim Constantin

Director del proyecto MinSus-BGR

Para más información, consulte: <http://minsus.net/>

¿Preguntas, dudas o recomendaciones?

Escríbanos a: achim.constantin@bgr.de



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT