



AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE PRETRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS MEDIANTE REACTOR DE MEZCLA TRIFÁSICA®

Jorge Ipinza¹, Francisco García², Juan Ibáñez¹, Oscar Engdahl²

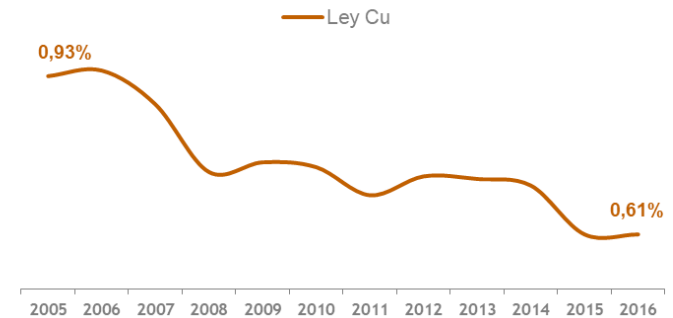
(1) Universidad Técnica Federico Santa María

(2) K+S Chile

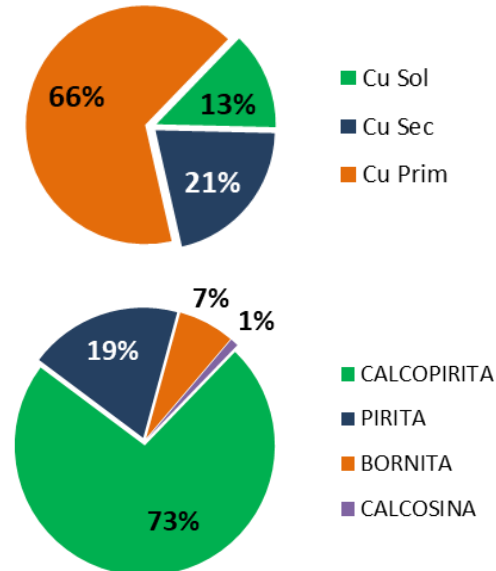


INTRODUCCIÓN

- El agotamiento de las reservas ha obligado a las mineras a recurrir a minerales mixtos y sulfuros de baja ley, que no pasaban la ley de corte a principios de la década pero que, poco a poco, se han ido volviendo rentables gracias a las nuevas tecnologías.
- Las bacterias termófilas (que operan en torno a los 70-80 °C) adaptadas a medios altos en cloruro, podrían ser una alternativa . El problema es que es muy difícil lograr esa temperatura en forma natural, en las enormes pilas de lixiviación de las faenas mineras y su cinética lenta.

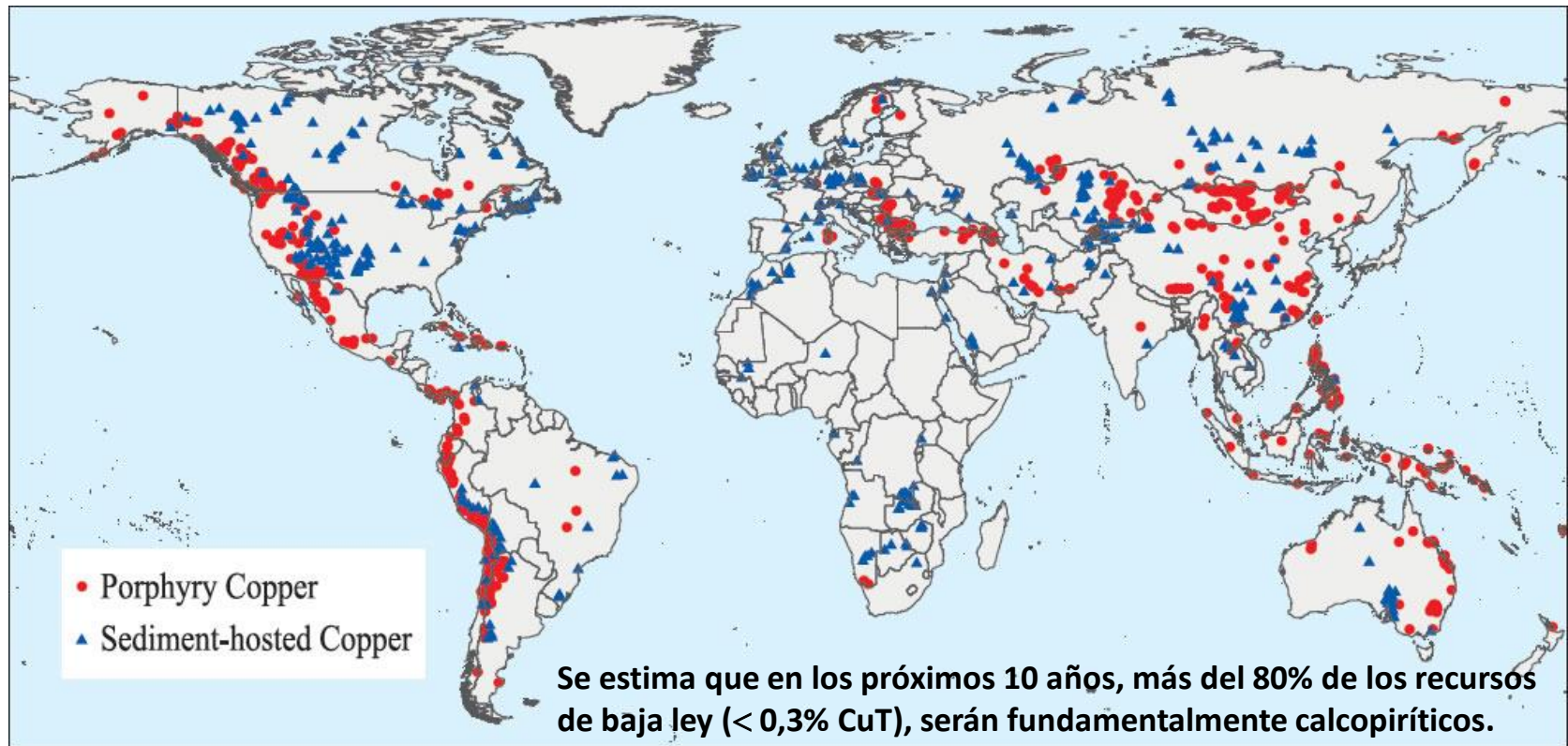


Ref. COCHILCO, Wood Mackenzie



INTRODUCCIÓN

Depósitos de calcopirita a nivel mundial.



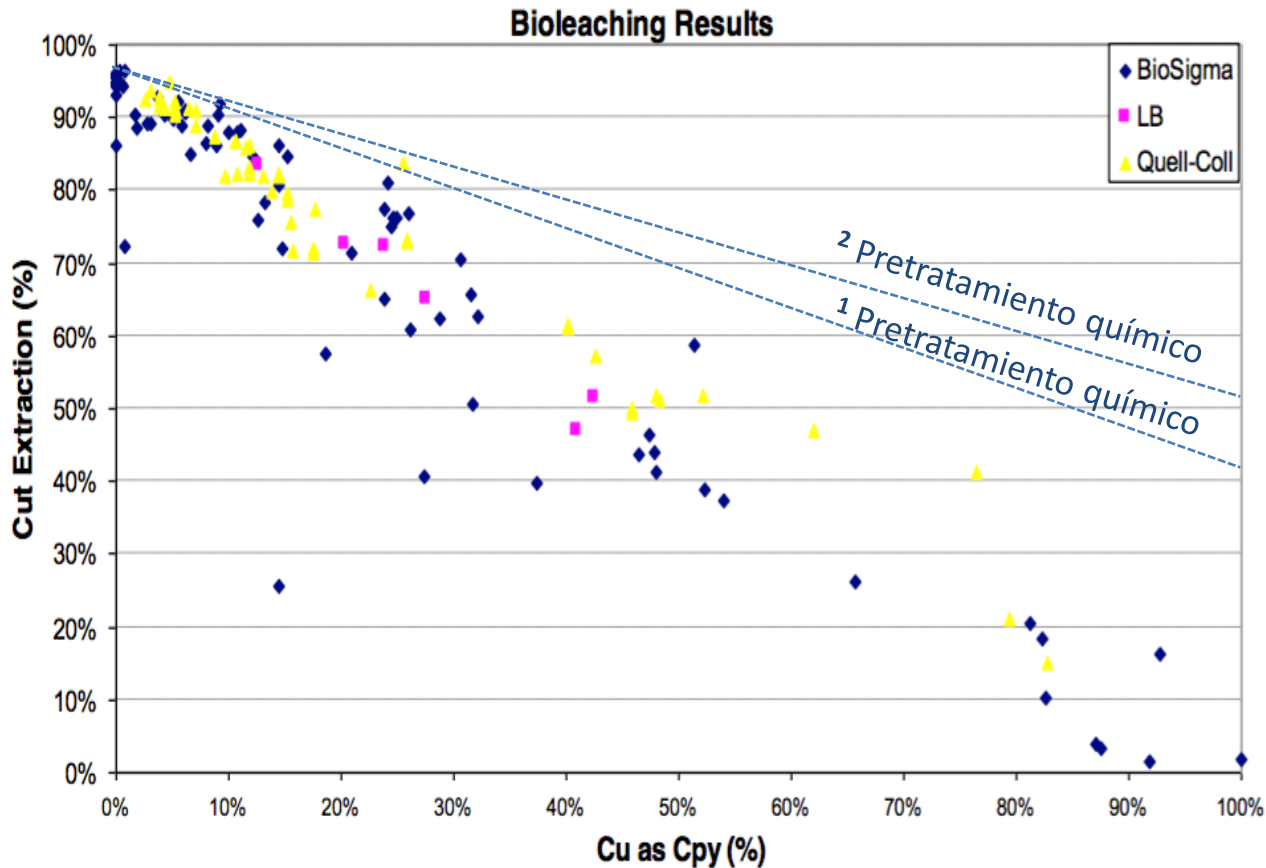
Ref. Baba et al. (2012). *A Review on Novel Techniques for Chalcopyrite Ore Processing*. International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing, 1(1): 1-16.

INTRODUCCIÓN

- Actualmente, no todos los sulfuros pueden ser lixiviados. Solamente aquellos que son secundarios, son lixiviables, tanto en medio NaCl-H₂SO₄, como con bacterias del grupo de las mesófilas.
- Los sulfuros primarios, como la calcopirita, son escasamente lixiviables con bacterias mesófilas. En este momento, la tecnología indica que se extrae entre un 5% a un 15% Cu, en un año desde la calcopirita.
- En estas condiciones, para un mineral de 0,15% de Cu se requiere tratar en botadero por 3 o más años, para extraer cerca del 30% del cobre contenido.



INTRODUCCION



(1) Test EMELA®
(2) RMT®

(1) Pretratamiento+Lavado

(2) Pretratamiento + Lavado →Pretratamiento + Lavado

Ref. Reghezza, Análisis de procesos IV (versión MGM), Antofagasta, Chile, 2013.



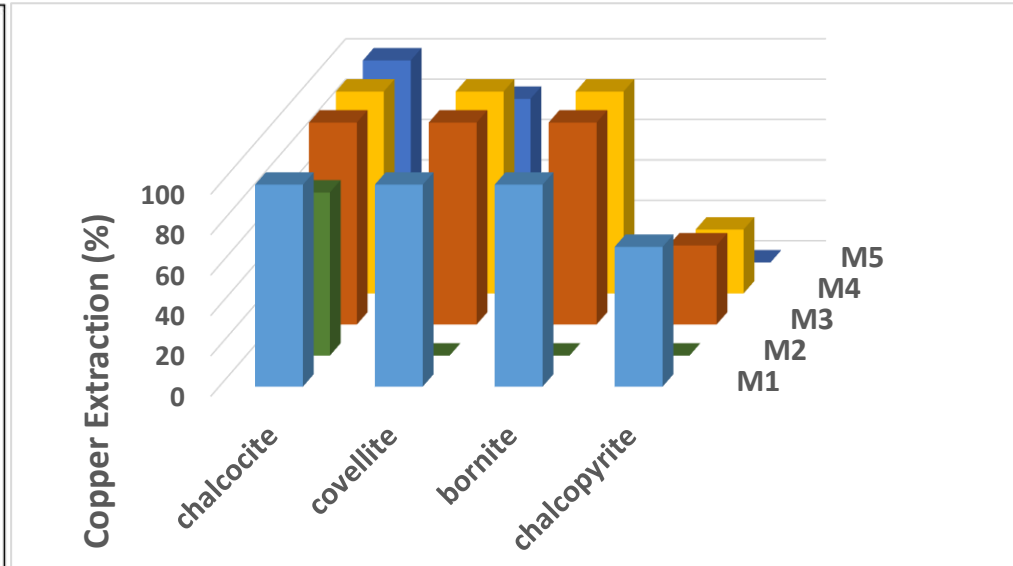
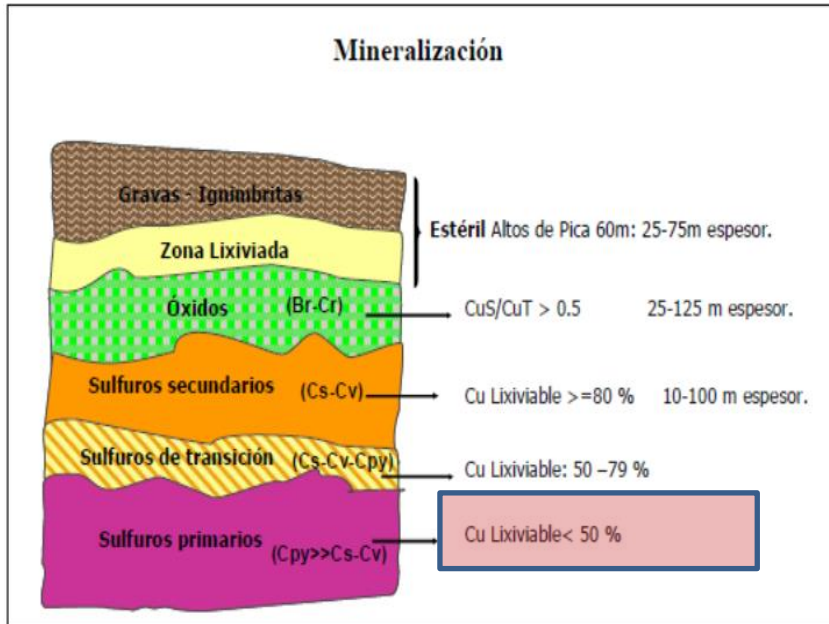
INTRODUCCIÓN

Disolución en medio ácido y cianuro de varios minerales de cobre.

Especie Mineral	Composición Aproximada	% Aproximado de Disolución	
		En Solución de Acido Sulfúrico	En Solución de Cianuro de Sodio
OXIDOS			
Atacamita	$\text{CuCl}_2(\text{OH})_3$	100	100
Azurita	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	100	100
Cuprita	Cu_2O	70	100
Crisocola	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	100	45
Malaquita	$\text{CuCO}_3 \text{Cu}(\text{OH})_2$	100	100
Cobre Nativo	Cu	5	100
Tenorita	CuO	100	100
SULFUROS SECUNDARIOS			
Calcosina	Cu_2S	8	100
Covelina	CuS	5	100
SULFUROS PRIMARIOS			
Bornita	Cu_2FeS_4	2	100
Calcopirita	CuFeS_2	2	7
Nota.- Las muestras serán pulverizadas finamente (100% malla -150) y el tiempo de reacción es una hora o menos			
Fuente: THE SEQUENTIAL COPPER ANALYSIS METHOD-GEOLOGICAL, MINERALOGICAL, AND METALLURGICAL IMPLICATIONS (G.A. Parkinson, Cambior USA, Inc. Englewood, CO, R.B. Bhappu, Mountain States R & D International Inc., Vail, AZ , FOR PRESENTATION AT THE sme Annual Meeting Denver, Colorado- March 6-9, 1995)			



INTRODUCCIÓN



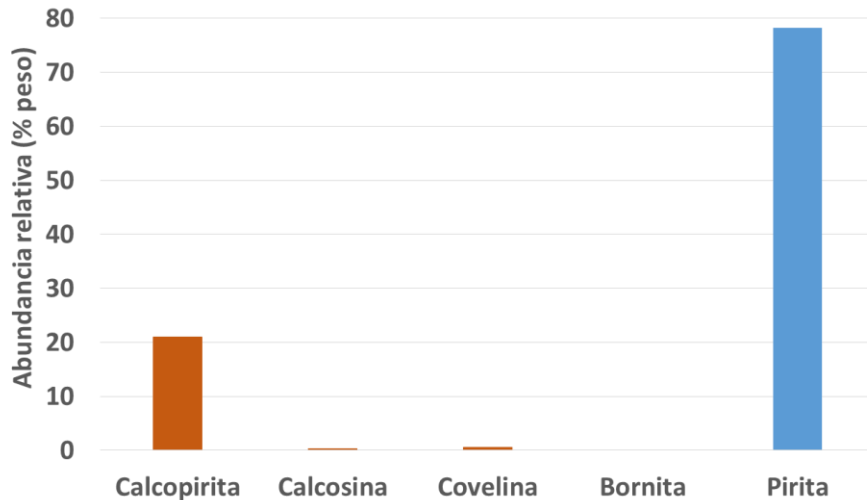
Definición de los diferentes tipos de mineralización presentes en el yacimiento de CMCC.

(ref. Hofmann A. (2012). Comportamiento de la mineralogía de la ganga en el proceso hidrometalúrgico en mina Cerro Colorado. Memoria de Título de Geólogo. Universidad de Chile).

- 7 a 20 kg NaCl/t
- 15 d reposo
- 70% Consumo estándar ácido
- 100 días lixiviación
- 20 g/L Cl⁻ en refino



METODOLOGIA EXPERIMENTAL



Propiedades	Medida
Humedad natural (%)	0,12
Humedad de impregnación (%)	36,3
Densidad absoluta (g mL ⁻¹)	2,80
CEA (kg t ⁻¹)	18,97
Cu total (%)	0,39
Cu soluble (%)	0,10



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EMELA®

El DIMM, desarrolló una técnica experimental denominada **Extracción Máxima de Especies por Lixiviantes Agresivos (EMELA®)** para determinar la máxima extracción de cobre desde minerales refractarios (óxidos complejos y sulfuros) a la lixiviación ácida convencional.

1

- Preparación de muestras representativa del mineral recibido y caracterización físico-química (Figura 1).

2

- Pretratamiento del mineral mezclado con la sal (NaCl), seguido de humectación con refino y adición de ácido sulfúrico concentrado, evitando las pérdidas de gases generados (Figura 2).

3

- Reposo del mineral durante un periodo definido (7, 15 o más días) con control de humedad diario para evitar el secamiento superficial (Figura 3).

4

- Cinética de lixiviación agitada del mineral durante 7 horas, con 6 puntos de análisis, en una salmuera con $20 \text{ gL}^{-1} \text{ Cl}^-$, 20% de sólidos, pH=1,0 y temperatura ambiente (medida).



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL EMELA[®]



Figura 1. Preparación de muestras representativas



Figura 2. Pretratamiento del mineral



Figura 3. Reposo del mineral con control horario de humedad (pérdida de peso)

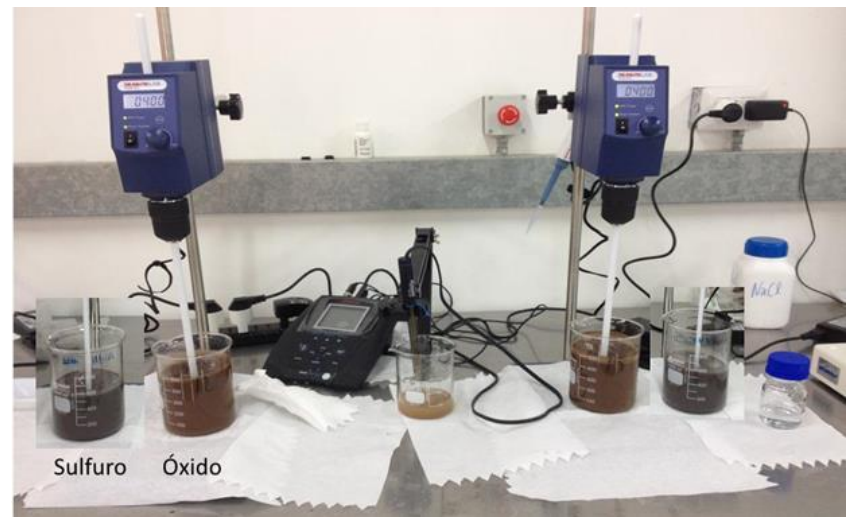
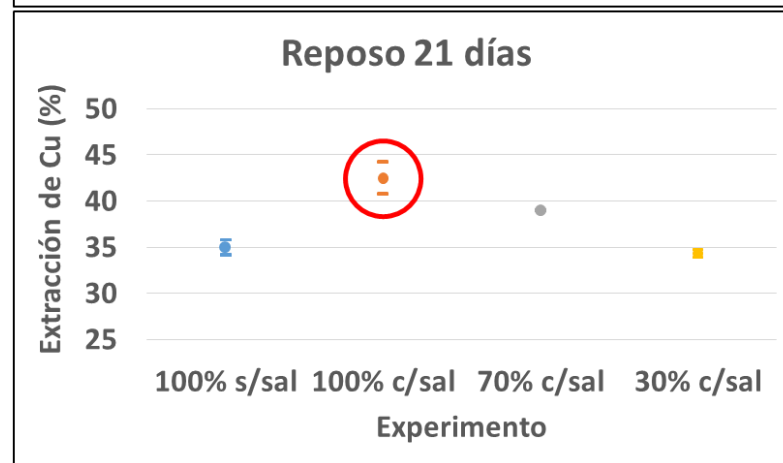
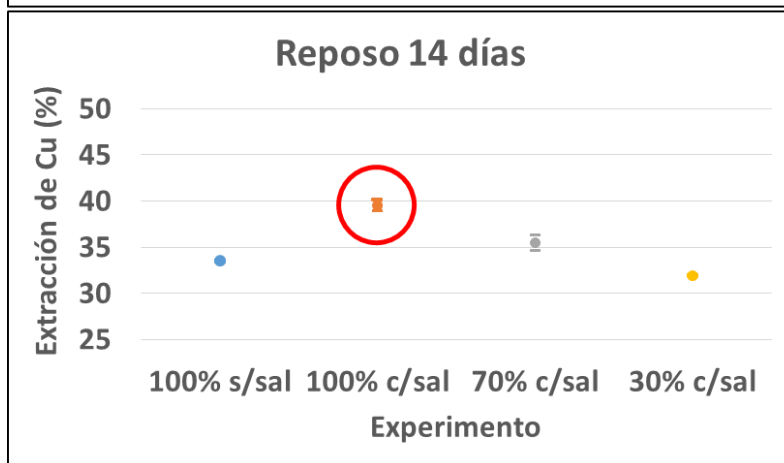
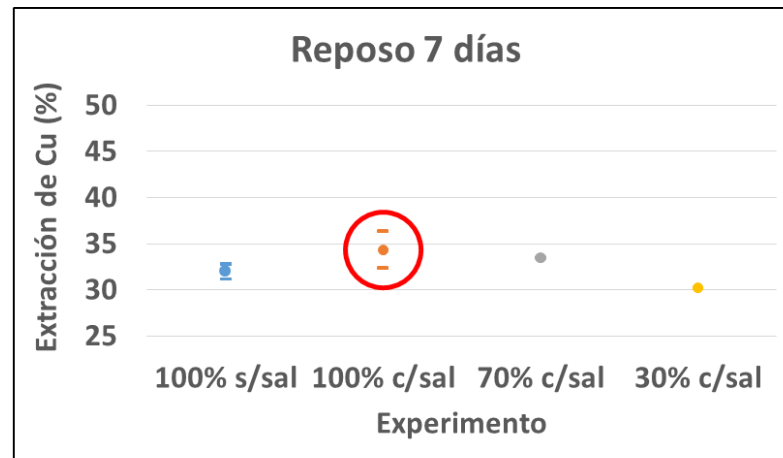
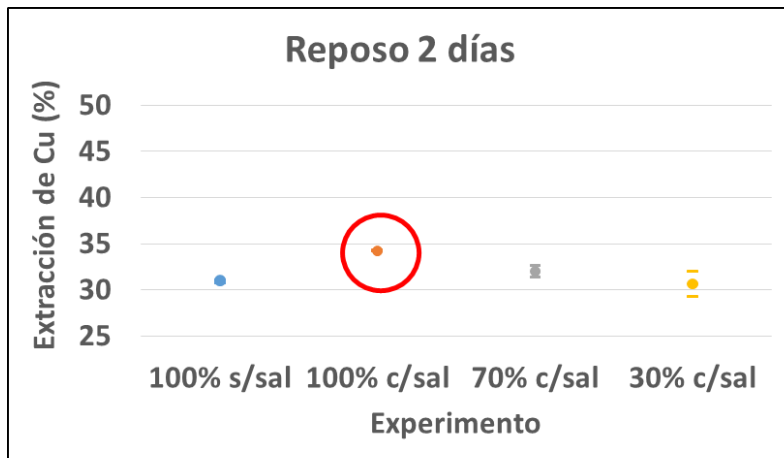


Figura 4. Lixiviación agitada del mineral en salmuera con $20 \text{ gL}^{-1} \text{ Cl}^{-}$

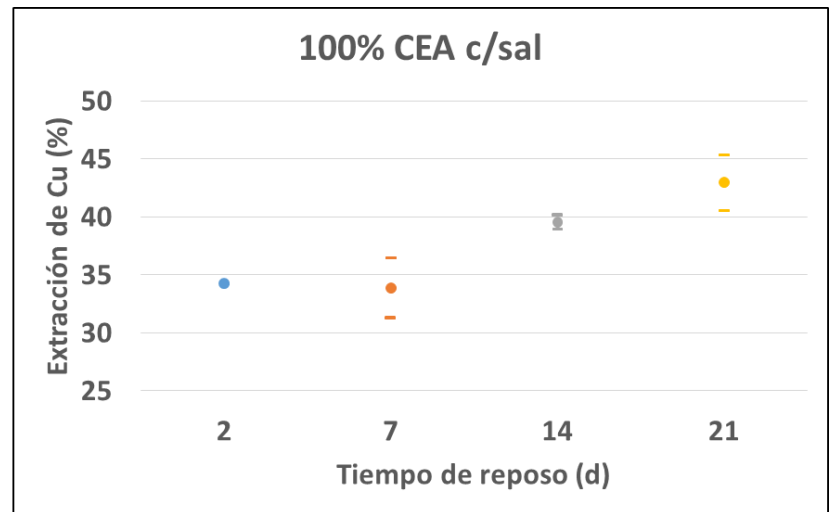
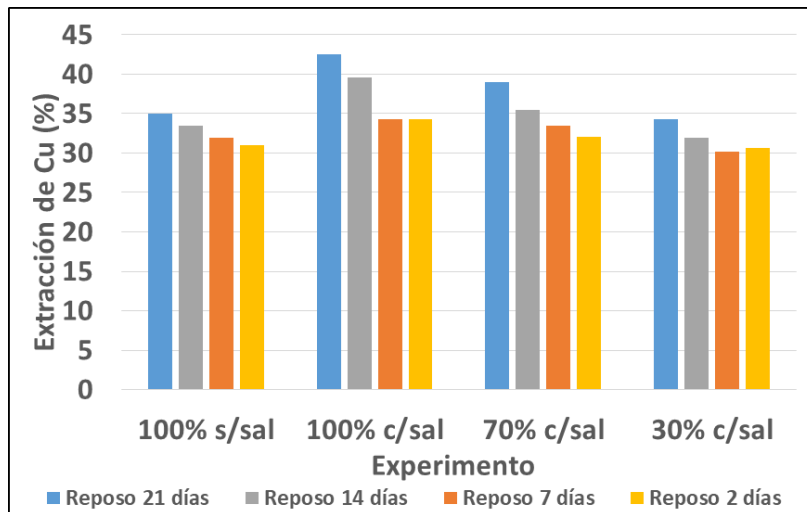
RESULTADOS TEST EMELA[®]



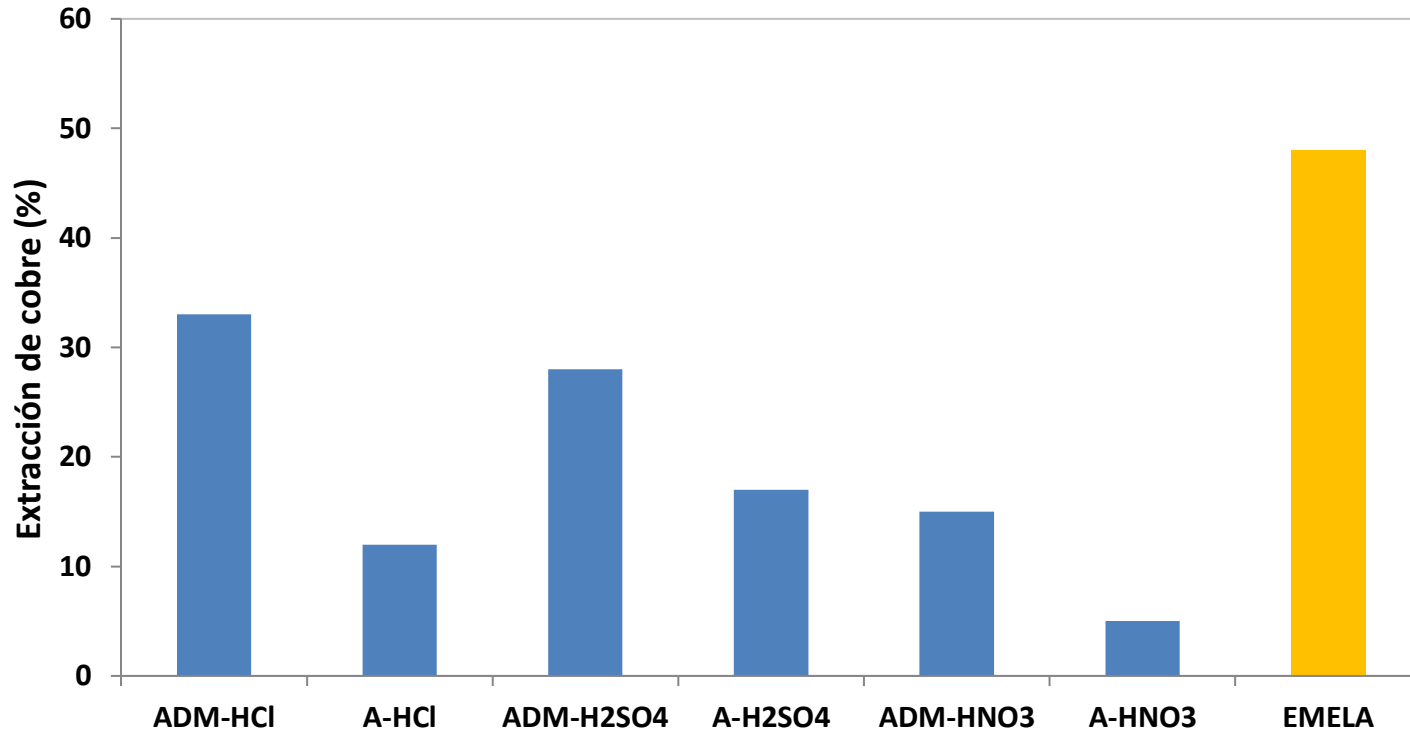
RESULTADOS TEST EMELA®

El resumen de resultados experimentales, muestra que la mayor extracción de cobre se logra con 100% CEA y con un reposo de 21 días.

Estas condiciones óptimas se utilizarán en los ensayos usando el RMT® en escala piloto, en Minera Amalia Catemu.



RESULTADOS EN TEST EMELA®

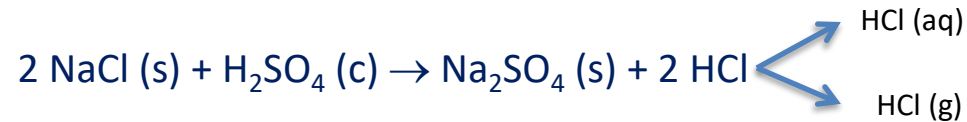


- Extracción de cobre desde un mineral usando agua de mar (ADM), agua destilada (AD), 168 h de lixiviación agitada (*Modificado de Hernández et al, 2015*).
- Pretratamiento, reposo de 15 d, lixiviación de 4 h en refino con $20 \text{ g L}^{-1} \text{ Cl}^-$.

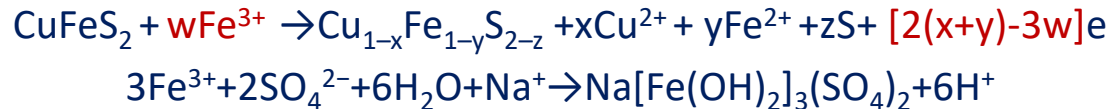


Mecanismo propuesto

- Mezcla de sólidos: mineral de calcopirita con NaCl. La adición de NaCl (kg/ton de mineral) depende de la dosis de H₂SO₄, de acuerdo con la reacción:



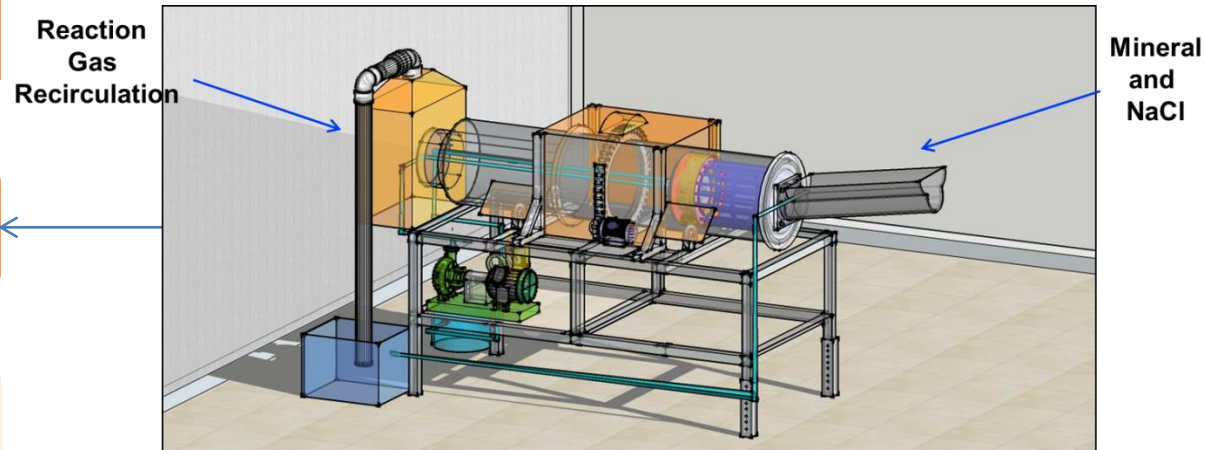
- El mecanismo más probable a la luz de los resultados experimentales es:



- En la salmuera durante la lixiviación del mineral pretratado podría ocurrir:



EL REACTOR DE MEZCLA TRIFÁSICA (RMT®)



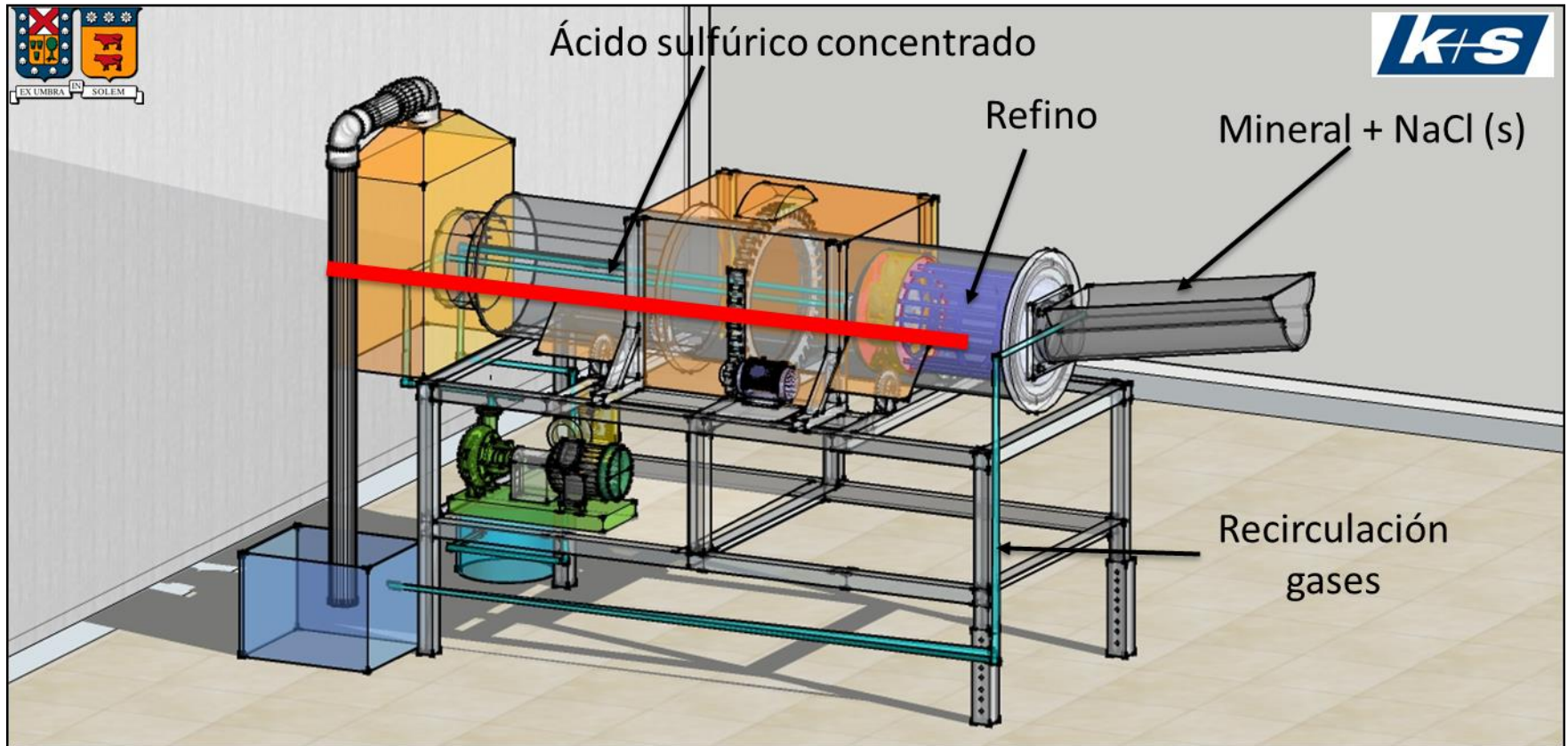
Concentrated sulfuric Acid and Water with copper contents from the process

Características del RMT®

- Tambor con dos cámaras
- Vapores y gases son recirculados junto con aire
- Ácido sulfúrico concentrado y refino son alimentados por la boca de descarga del tambor
- Tiempo de reposo: 15 a 30 días
- Ciclo de lixiviación: 100 días (lixiviación química)
- Extracción máxima de cobre: 70% (en dos etapas)

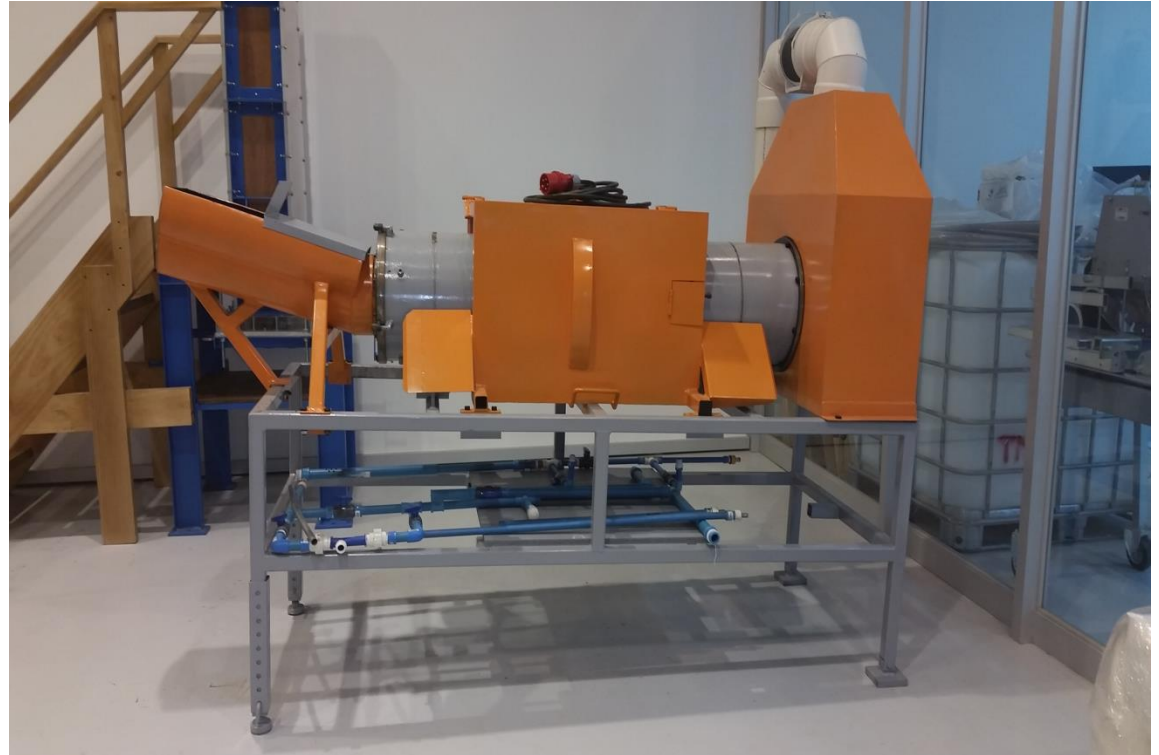


EL REACTOR DE MEZCLA TRIFÁSICA (RMT[®])



K+S Chile S.A. & Universidad Técnica Federico Santa María
Solicitud de Patente de Invención N°. 01298-2015
S/ref.: n/d
N/ref.: 72297

EL REACTOR DE MEZCLA TRIFÁSICA RMT[®]



Prototipo de reactor escalado 1:10 m, para pilotaje en Minera Amalia Catemu (Chile).

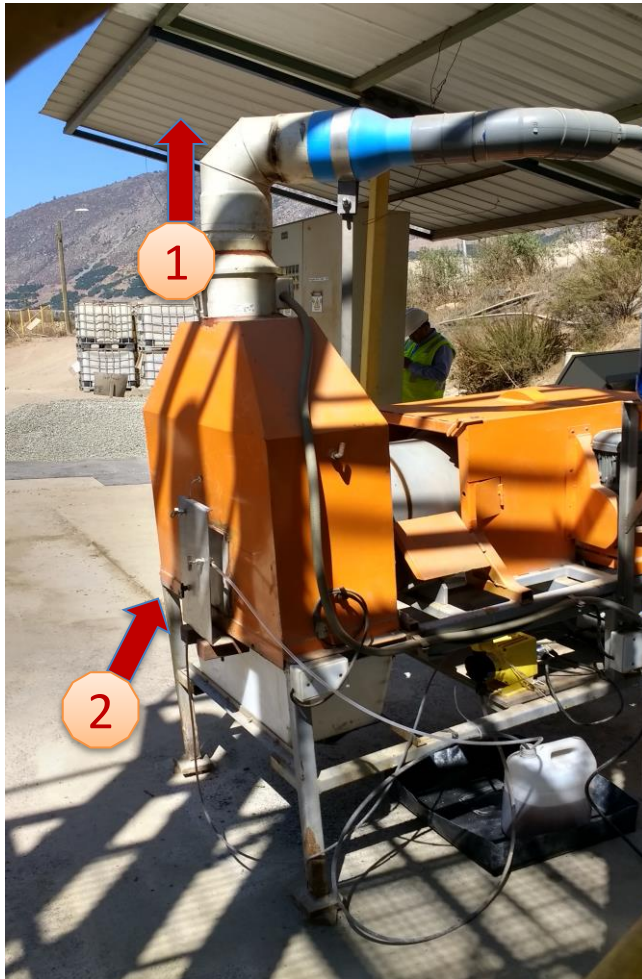
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL RMT®



Para homologar los ensayos a nivel de planta piloto, se construyó el RMT® a una escala 1:10 m.



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL RMT[®]



Inyección de ácido sulfúrico concentrado mediante boquillas especiales para atomizar el reactivo y favorecer el encuentro con el NaCl sólido y generar múltiples puntos de formación de HCl (en la interfase acuosa y como gas) en contacto con la roca mineralizada.

Las reacciones ocurren en las cercanías del extractor de gases, que rápidamente transporta los gases generados hacia el primer compartimento del reactor.

- (1) Extractor de gases
- (2) Inyección de H₂SO₄ concentrado

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL RMT[®]



Inyección de la solución refino en la primera cámara del RMT[®].

Se adiciona en proporción tal que el balance de líquidos no supere la humedad de impregnación del mineral.

- (1) Tubería de ácido sulfúrico concentrado
- (2) Tubería de solución refino con bomba peristáltica

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL RMT[®]



Sistema extractor de gases, que captura los Gases generados en la segunda cámara y los transporta hacia la primera cámara, en La que se alimenta el mineral con el NaCl.

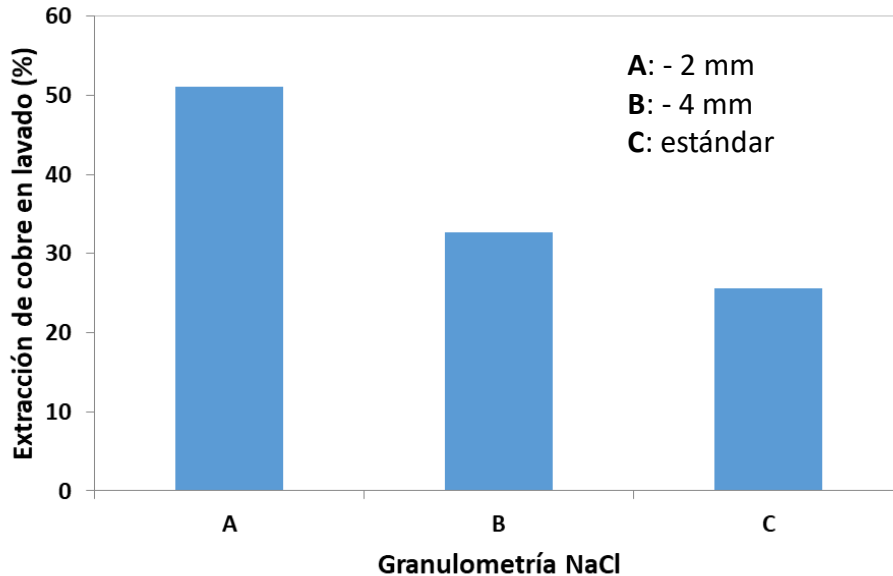
Los gases son impulsados con aire comprimido, lo que enriquece la mezcla con oxígeno, necesario para optimizar la reacción de formación de HCl.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL RMT®



El RMT® posee un tablero de control al que se irán incorporando nuevos sensores para el monitoreo en línea del proceso, como por ejemplo de temperatura, concentración de HCl gas en el entorno, entre otros.

RESULTADOS RMT®



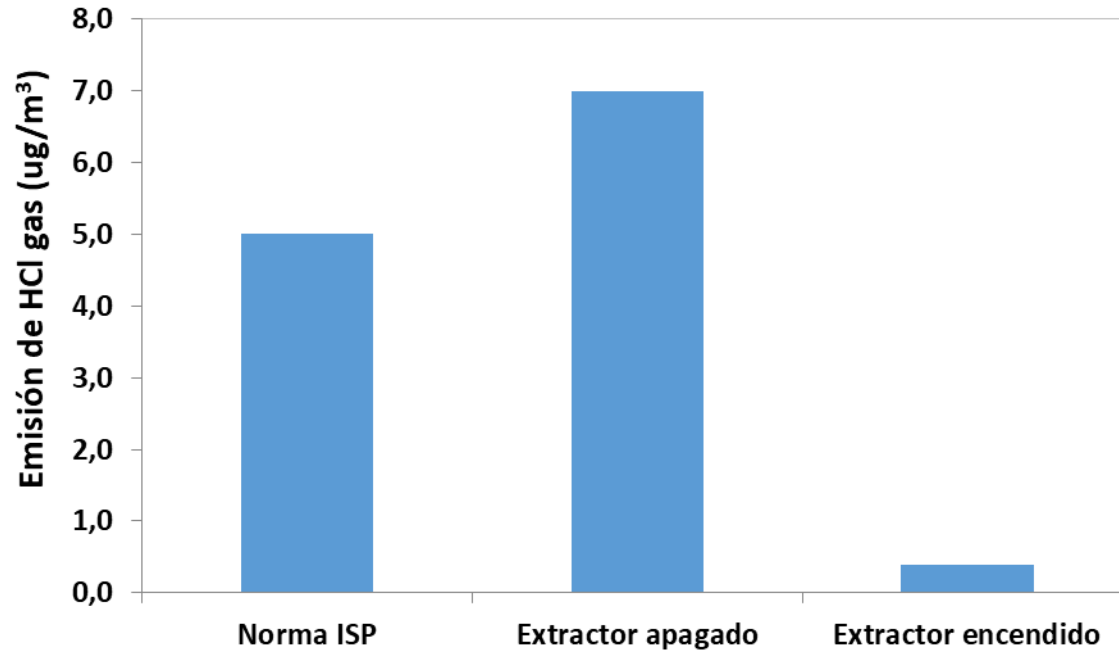
Parámetros	
Ácido Sulfúrico (mL/min)	18
Refino (mL/min)	252
NaCl (kg/h)	1,6
Mineral (kg/h)	100
Reposo (d)	21

La adición de ácido sulfúrico corresponde al 100% CEA, determinado por EMELA®.

La extracción de cobre en el lavado con 100% CEA, sin NaCl, es del orden de 28%.



RESULTADOS RMT[®]



CONCLUSIONES

- Las condiciones óptimas para el pretratamiento y reposo obtenidas a través del test EMELA[®] se reproducen a escala piloto con el RMT[®].
- Extracción de cobre en el lavado puede incrementarse sobre el 50%, si se aumenta la adición de H₂SO₄ sobre el CEA, complementado con mayor tiempo de reposo.
- La etapa siguiente de lixiviación en pilas puede reportar entre 15 y 25 puntos porcentuales de extracción de cobre, produciendo una extracción global de cobre entre 65 y 75%.



CONCLUSIONES

- El RMT[®] permite que el proceso de pretratamiento del mineral de calcopirita de baja ley, se pueda realizar en forma eficiente y ambientalmente sustentable.
- Las bajas emisiones de HCl en el entorno del reactor RMT[®], muy por debajo de la norma indicada por el ISP, hacen que operación sea segura para los operadores.
- El material en reposo no produce emisiones gaseosas, toda vez que las reacciones de formación de HCl gas, ocurren completamente.

