

Ciclo de charlas de graduados en Minería - Metalurgia de Universidades Chilenas

- 20 de Enero 2021

CON EL PATROCINIO DE:

Teck

SNF CHILE

Empírica®

CHK-ING
Ingeniería

AVR
CONSULTORES

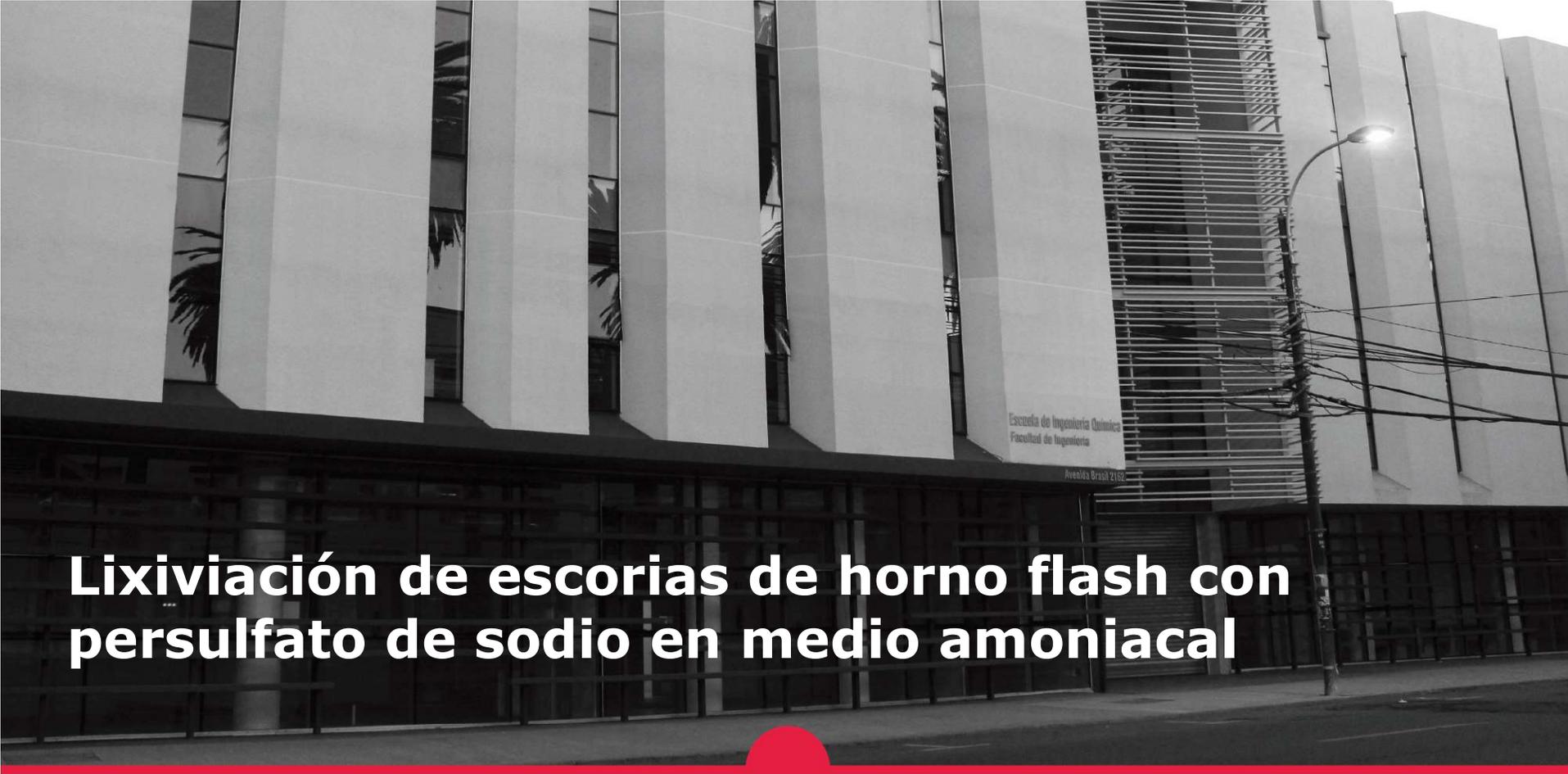
Optimiza®
Ingeniería y Desarrollo

RJR SALAR

AGS

Pares Alvarez
INGENIERIA Y PROYECTOS

LIAM



Lixiviación de escorias de horno flash con persulfato de sodio en medio amoniacal

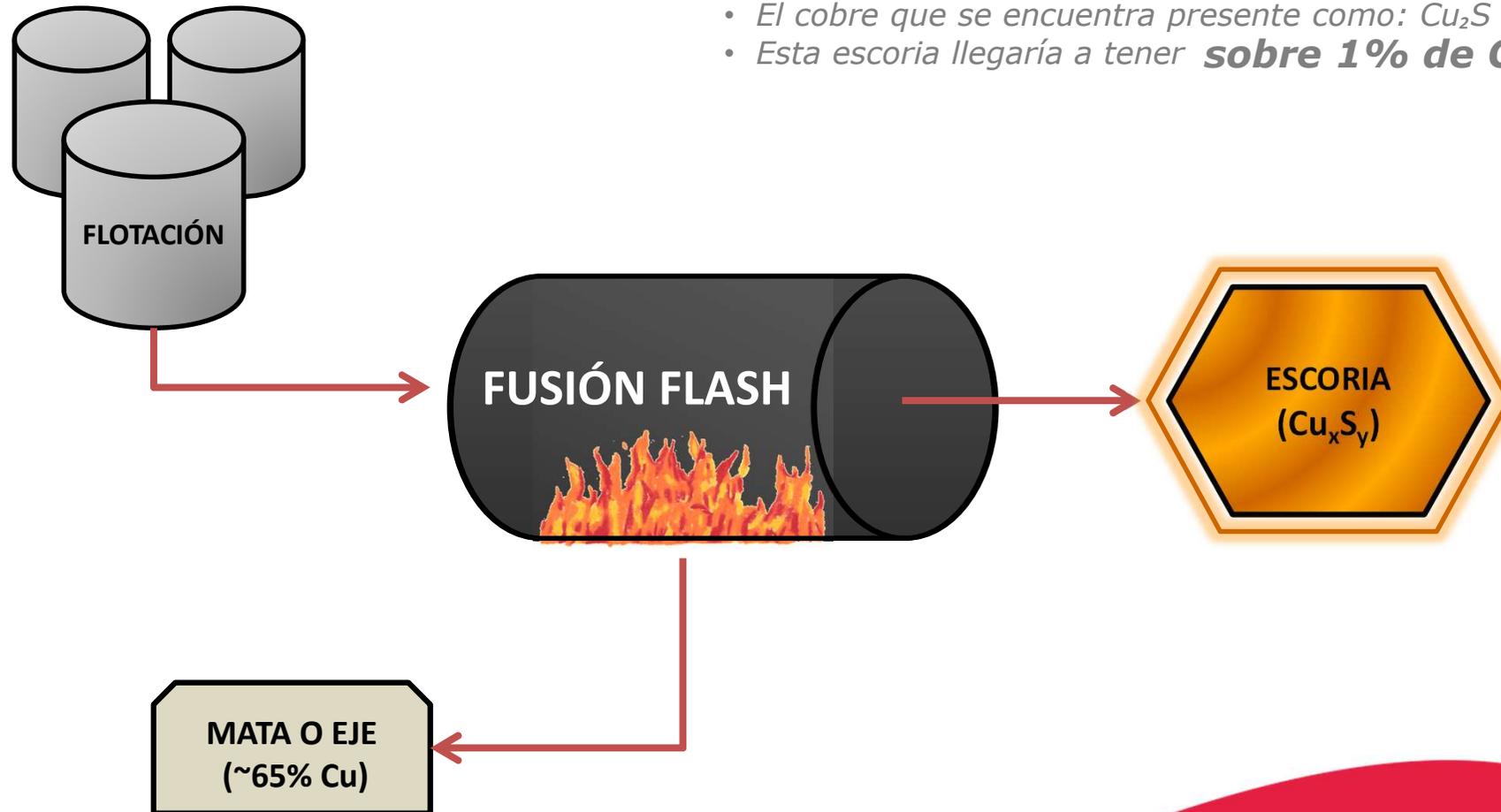
| Autor: Daniel Torres Urbina | dan.torresurbina@gmail.com
| Profesor Guía: Dr. Álvaro Aracena Caipa.

Valparaíso | 2021

Contenido

- Problemática con la escoria
- Análisis de estudios previos
- Objetivos Específicos
- Metodología de Trabajo
- Resultados y Discusión
- Conclusiones
- Proyección

PROBLEMÁTICA

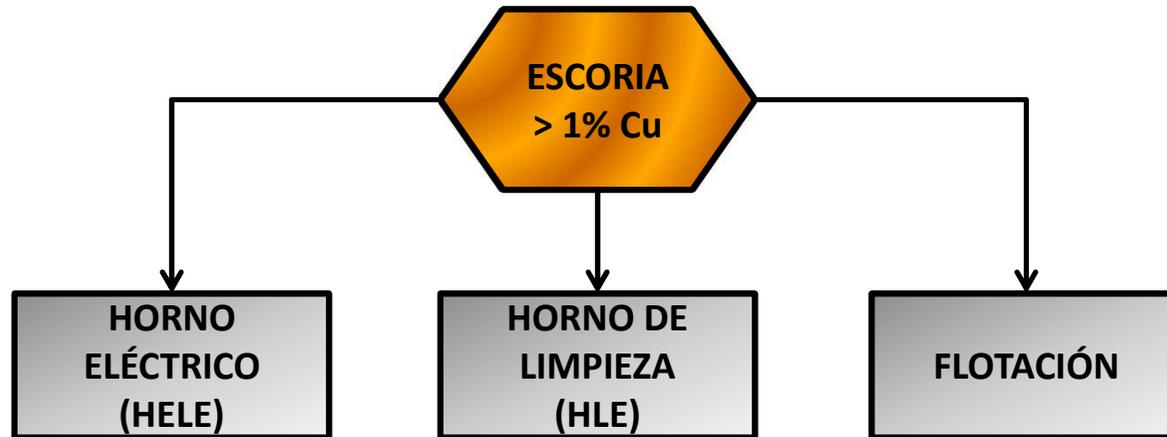


EN CUANTO A LA ESCORIA:

- La escoria posee sulfuros de cobre e impurezas.
- El cobre que se encuentra presente como: Cu_2S y CuS .
- Esta escoria llegaría a tener **sobre 1% de Cu.**

PROBLEMÁTICA

PROCESO PIROMETALÚRGICO DE TRATAMIENTO DE ESCORIA



¿QUÉ PROVOCAN?

ALTO CONSUMO ENERGÉTICO
ALTOS COSTOS DE OPERACIÓN
PROBLEMAS AMBIENTALES

SOLUCIÓN

LIXIVIACIÓN

- ✓ BAJO CONSUMO ENERGÉTICO
- ✓ BAJOS COSTOS DE OPERACIÓN
- ✓ ALTA RECUPERACIÓN DEL METAL DE INTERÉS



PERSULFATO DE SODIO



MENOR IMPACTO AMBIENTAL



ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS



No se encontraron estudios de lixiviación de escorias utilizando persulfato de sodio en medio amoniacal.

Leaching and kinetic modeling of calcareous bornite in ammonia ammonium sulfate solution with sodium persulfate

Leaching kinetics of low-grade copper ore containing calcium-magnesium carbonate in ammonia-ammonium sulfate solution with persulfate

First-principle study on the oxidative leaching mechanism of sphalerite in Ammoniacal solution

AUTORES

Zhi Xiong Liu, Zhou Lan Yin, Shao Feng Xiong, Yi Guan Chen Qi Yuan Chen.

AUTORES

LIU Zhi-xiong, YIN Zhou-lan, HU Hui-ping, CHEN Qi-yuan.

AUTORES

Yaling Huang, Zhoulan Yin, Zhiying Dinga, Jiling Fenga,b, Chunxia Liu.

College of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Jishou University, CHINA (2014).

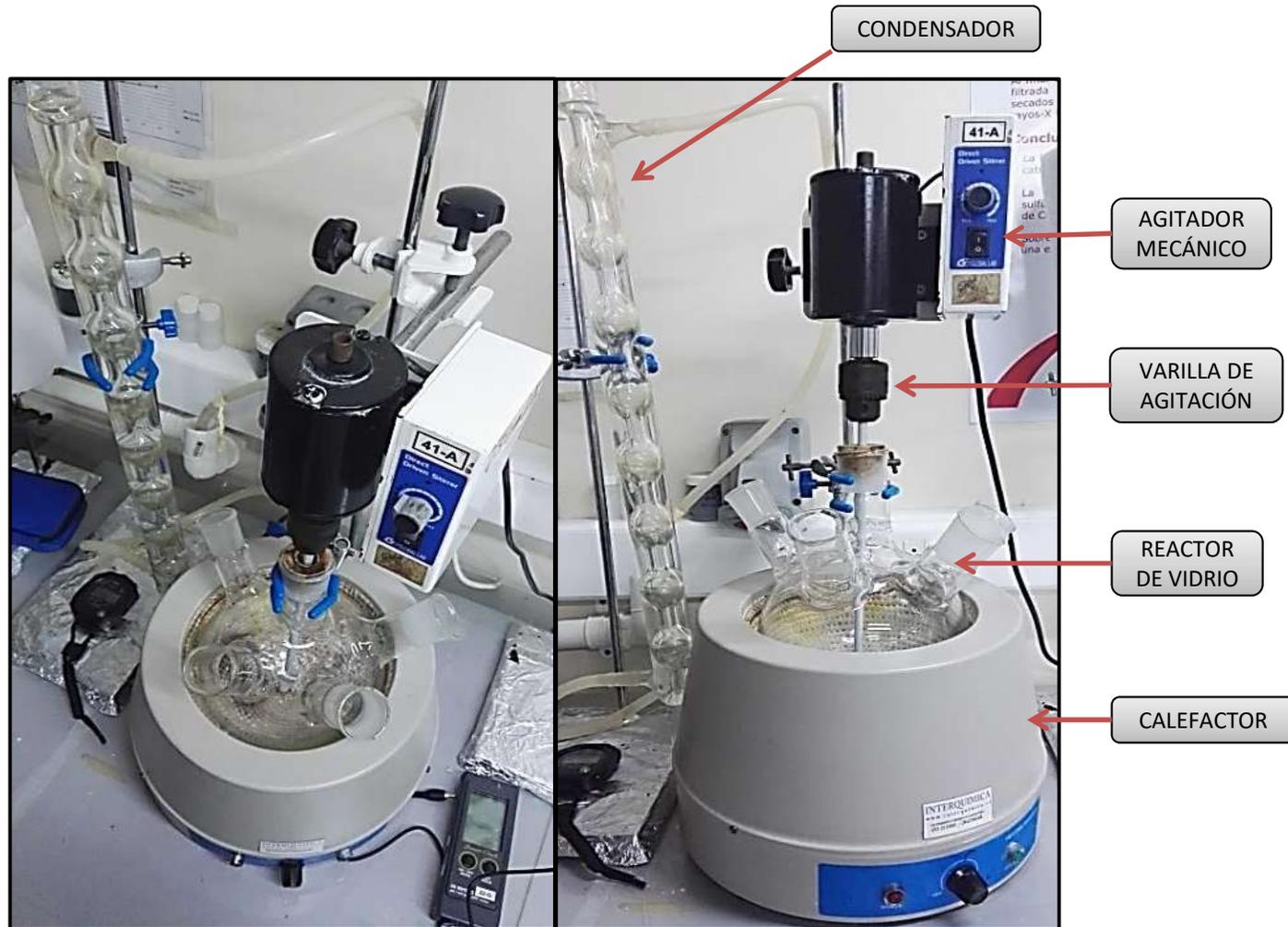
School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, CHINA (2012).

School of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, CHINA (2018).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la **condición de máxima disolución** del concentrado de sulfuro de cobre.
- Distinguir el **tamaño de partícula** de la escoria a tratar sobre la velocidad de disolución del sulfuro de cobre.
- Analizar el efecto de la **temperatura** sobre la velocidad de disolución del sulfuro de cobre presente en la escoria.
- Determinar el **efecto de pH**.
- Evaluar el comportamiento del sulfuro de cobre presente en la escoria en función de la **concentración de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$** .
- Indagar el efecto de la **concentración de NH_4OH** en la lixiviación de la escoria.
- Analizar el **nivel de agitación** de la solución.
- Lograr **representar las variables** y obtener los **parámetros cinéticos** como: Energía de activación y órdenes de reacción.

METODOLOGÍA



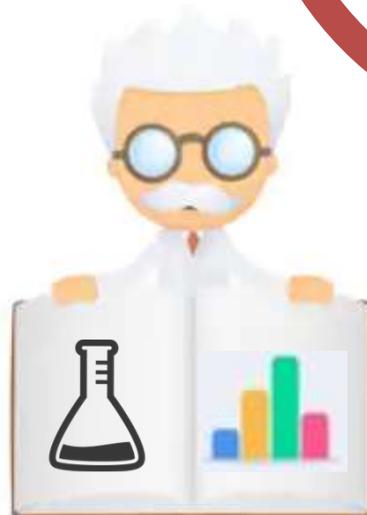
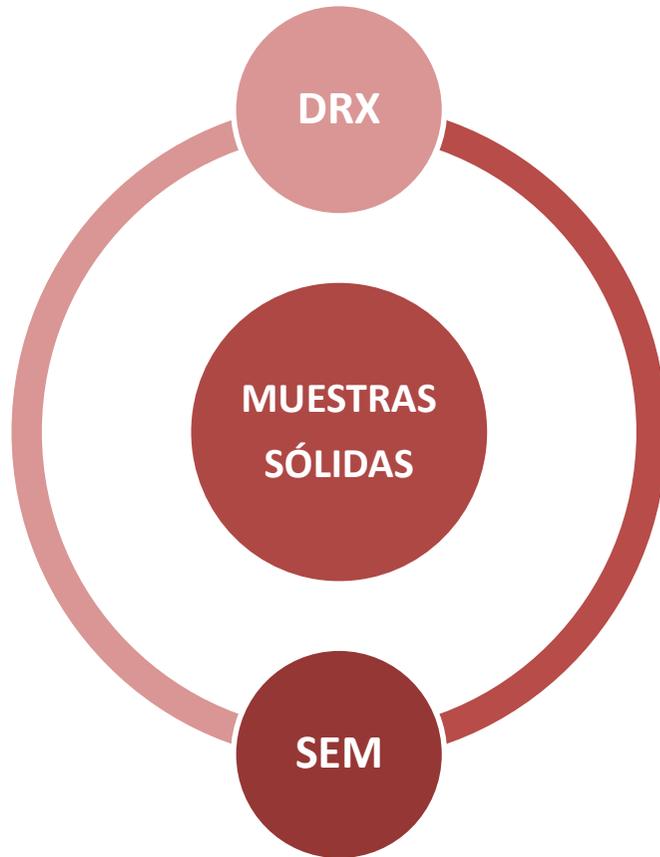
Reactor de vidrio de 5 bocas que se usará en laboratorio

METODOLOGÍA

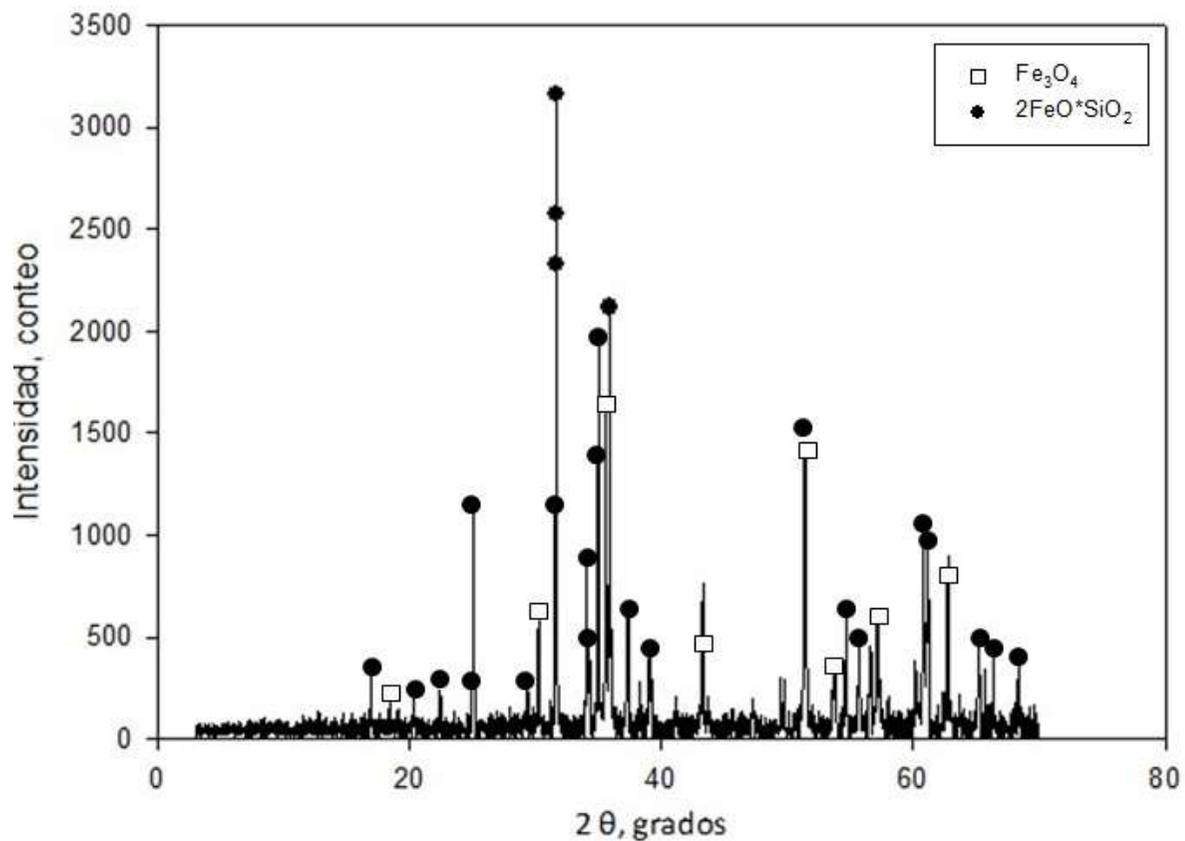
ANÁLISIS DE PARÁMETRO

Parámetro	Rango	Procedencia
Tamaño de partícula	48,5 – 253,5 μm	
Temperatura	8 – 60 °C	
pH	6 – 13	
RPM	0 – 400	
[Na ₂ S ₂ O ₈] (99%)	0,01 – 0,15 M	<i>Lobal Chemie</i>
[NH ₄ OH] (28 – 30%)	0,05 – 1 M	<i>Winkler</i>

ANÁLISIS EXPERIMENTAL



RESULTADOS MINERALÓGICOS



GRANULOMETRÍA Y LEY

253,5 μm
Ley Cu Total = 0,76%
Ley Fe Total = 26,80%

127 μm
Ley Cu Total = 0,89%
Ley Fe Total = 31,62%

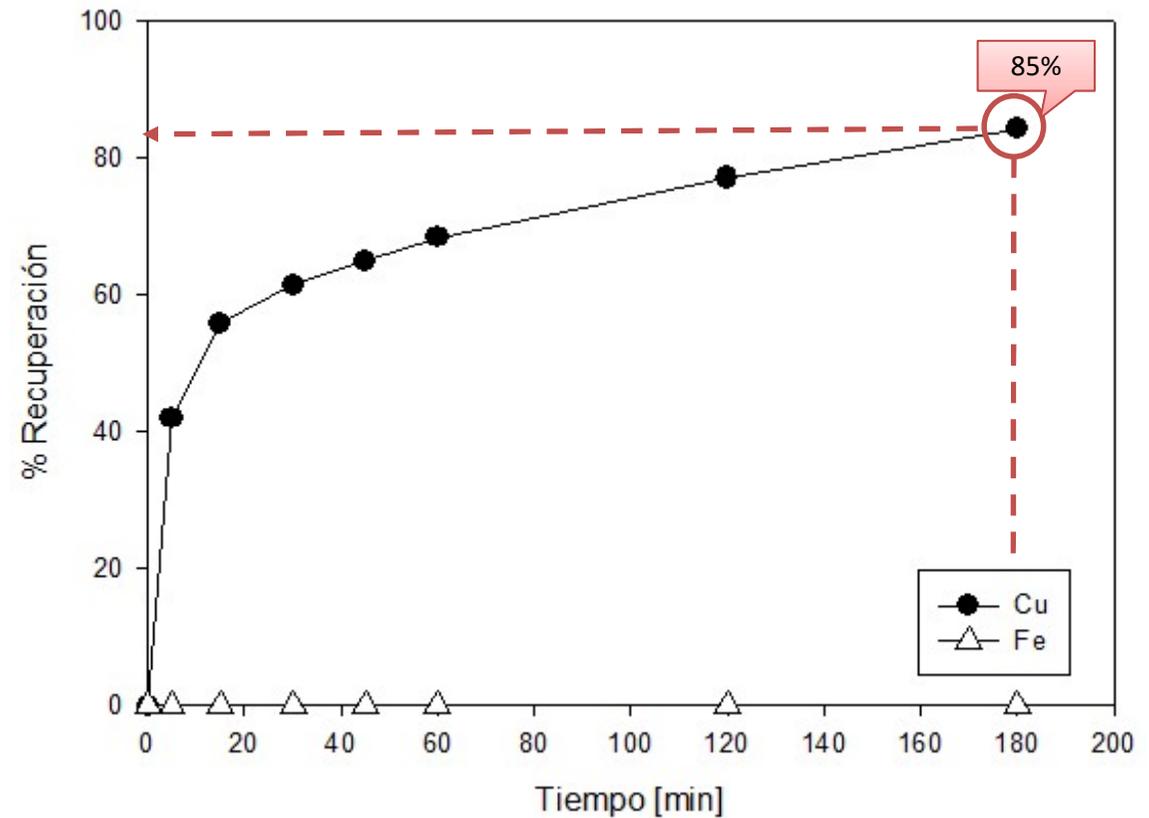
63,5 μm
Ley Cu Total = 0,96%
Ley Cu Soluble = 0,21%
Ley Fe Total = 32,45%

48,5 μm
Ley Cu Total = 1,54%
Ley Fe Total = 28,00%

RESULTADOS : MÁXIMA DISOLUCIÓN

CONDICIONES

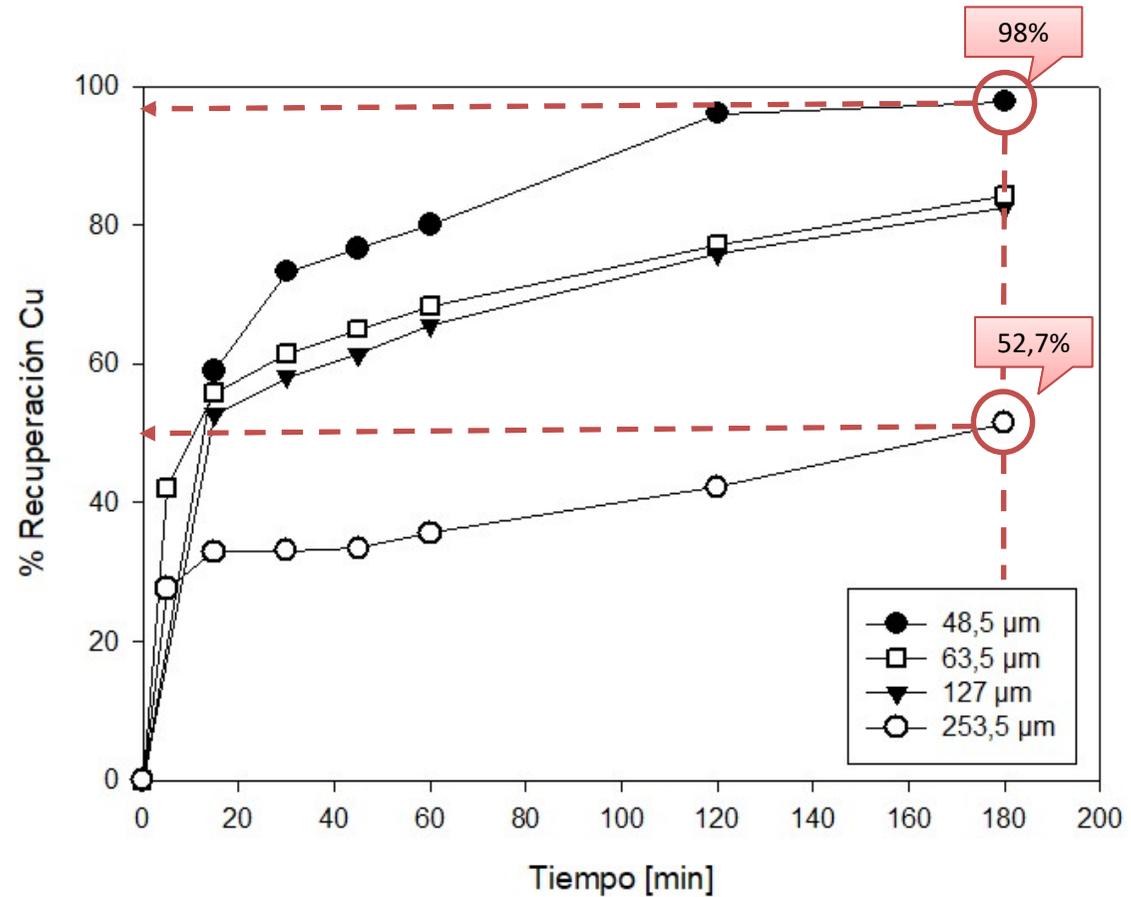
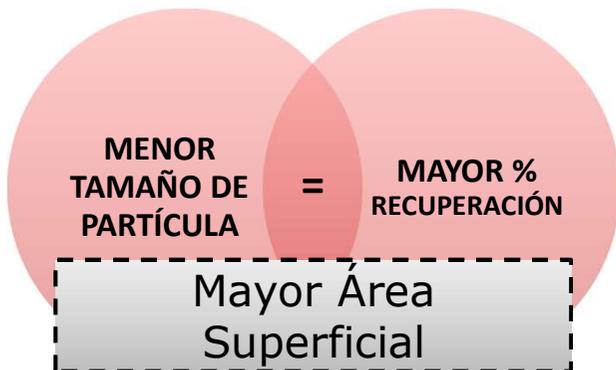
RPM	400
Temperatura	60°C
pH	10
Tamaño partícula	63,5 μm
[Na ₂ S ₂ O ₈]	0,15 M
[NH ₄ OH]	1 M



RESULTADOS : TAMAÑO DE PARTÍCULA

CONDICIONES

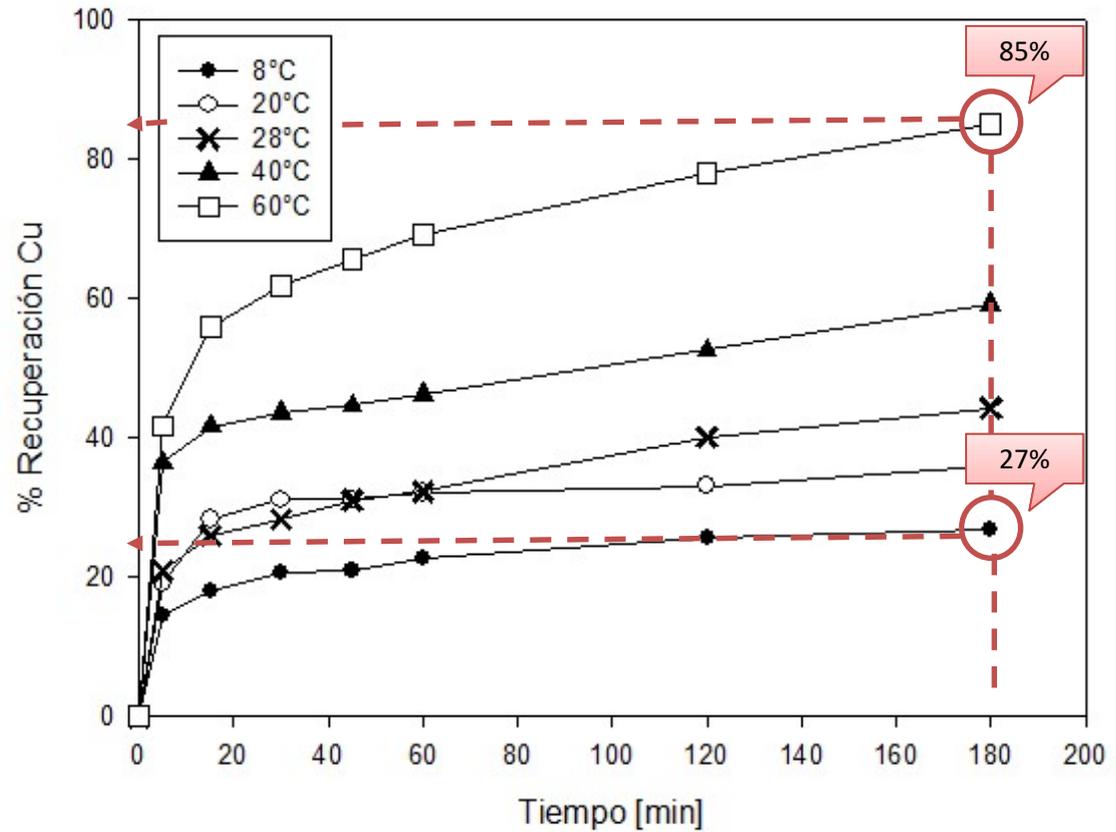
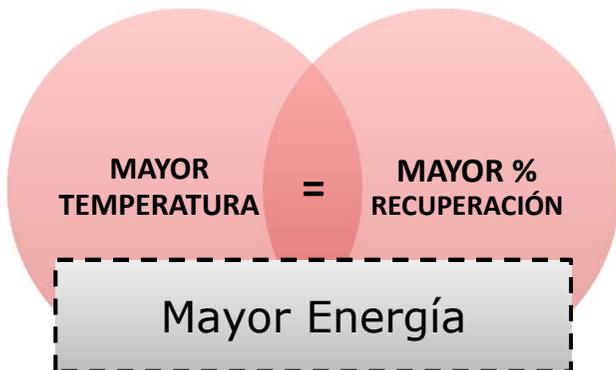
RPM	400
Temperatura	60°C
pH	10
[Na ₂ S ₂ O ₈]	0,15 M
[NH ₄ OH]	1 M



RESULTADOS : TEMPERATURA

CONDICIONES

RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
pH	10
[Na ₂ S ₂ O ₈]	0,15 M
[NH ₄ OH]	1 M



RESULTADOS : [Na₂S₂O₈]

CONDICIONES

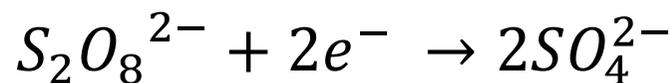
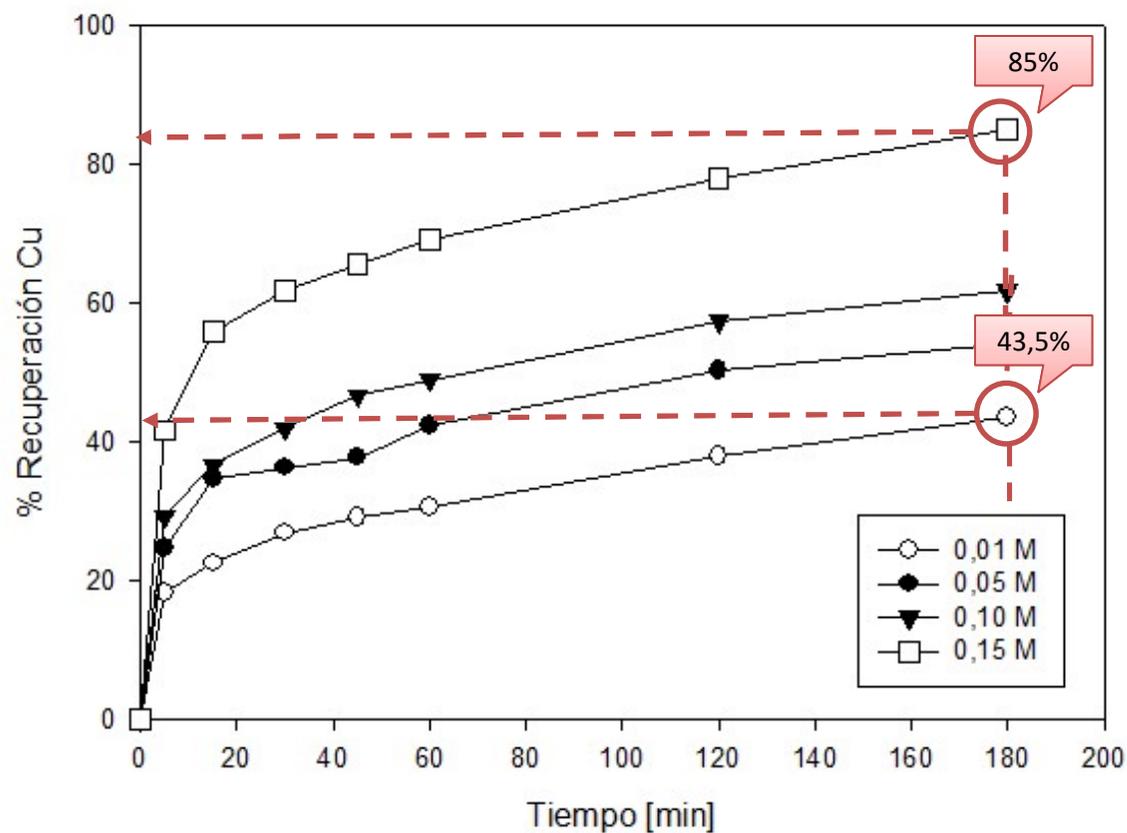
RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	60°C
[NH ₄ OH]	1 M
pH	10

MAYOR
[Na₂S₂O₈]

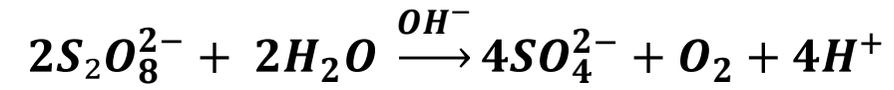
=

MAYOR %
RECUPERACIÓN

Proceso Electroquímico
Reacción REDOX



Furman ^[18] propone que el mecanismo de descomposición del persulfato en un ambiente alcalino es:

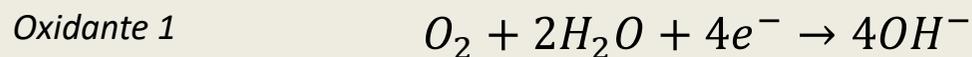
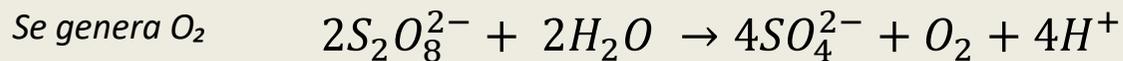


PERSULFATO
DE SODIO
Na₂S₂O₈

¿Quién es el
oxidante?

OXÍGENO
O₂

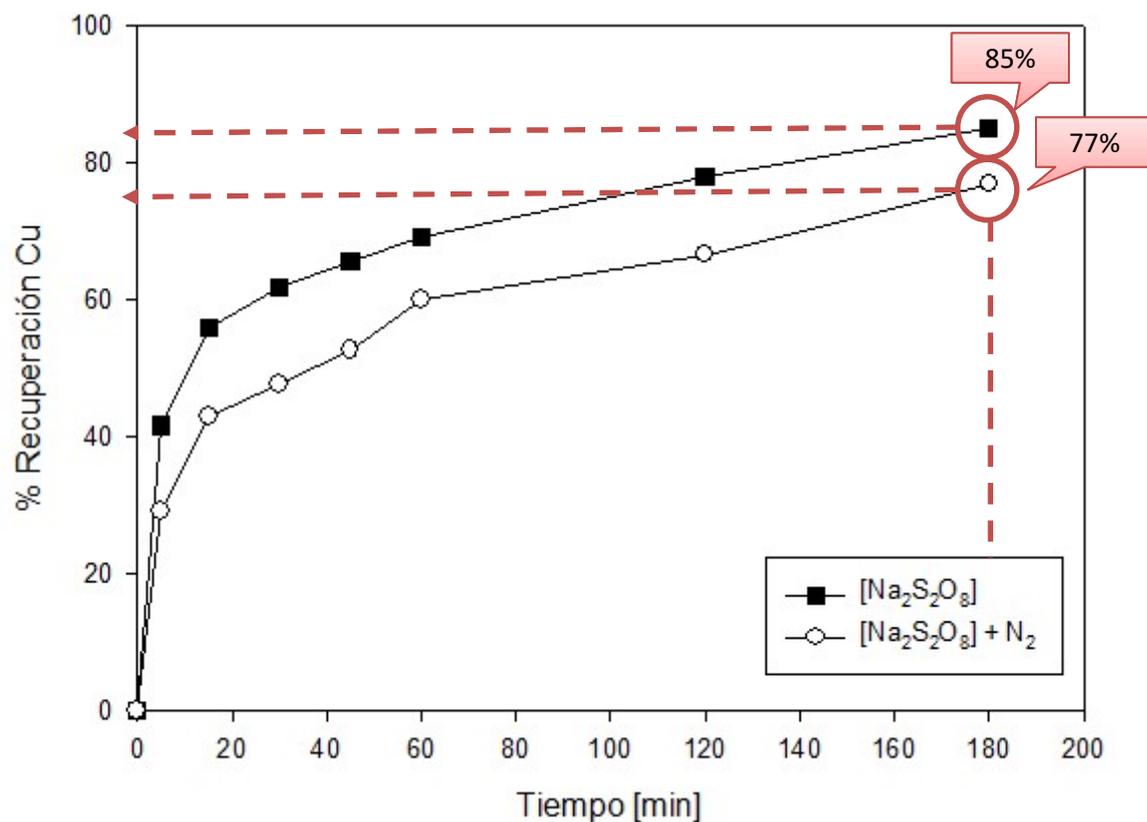
ANÁLISIS ANALÍTICO



ANÁLISIS EXPERIMENTAL

CONDICIONES

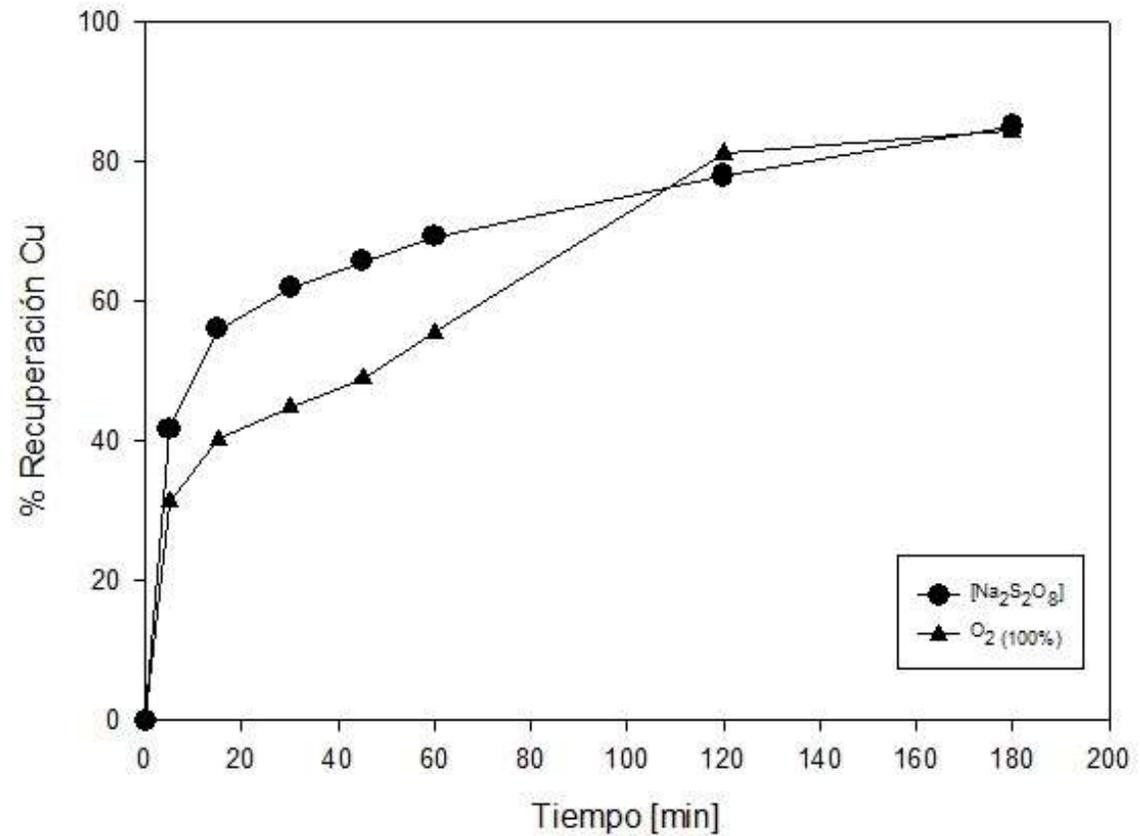
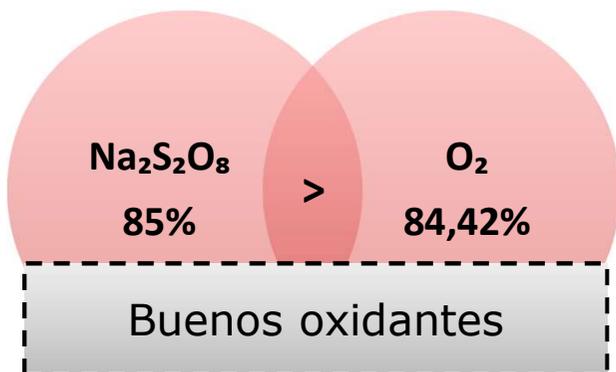
RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	60 $^\circ\text{C}$
$[\text{NH}_4\text{OH}]$	1 M
$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8]$	0,15 M



COMPARACIÓN $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ y O_2

CONDICIONES

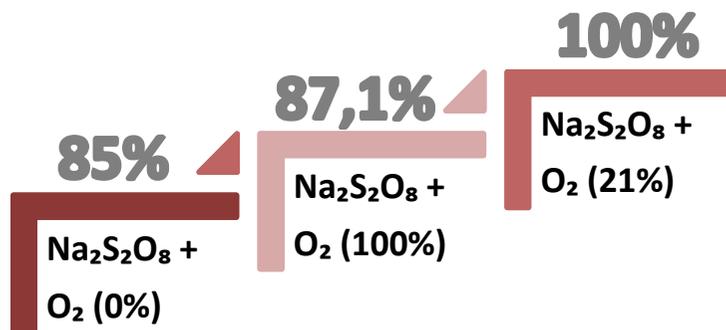
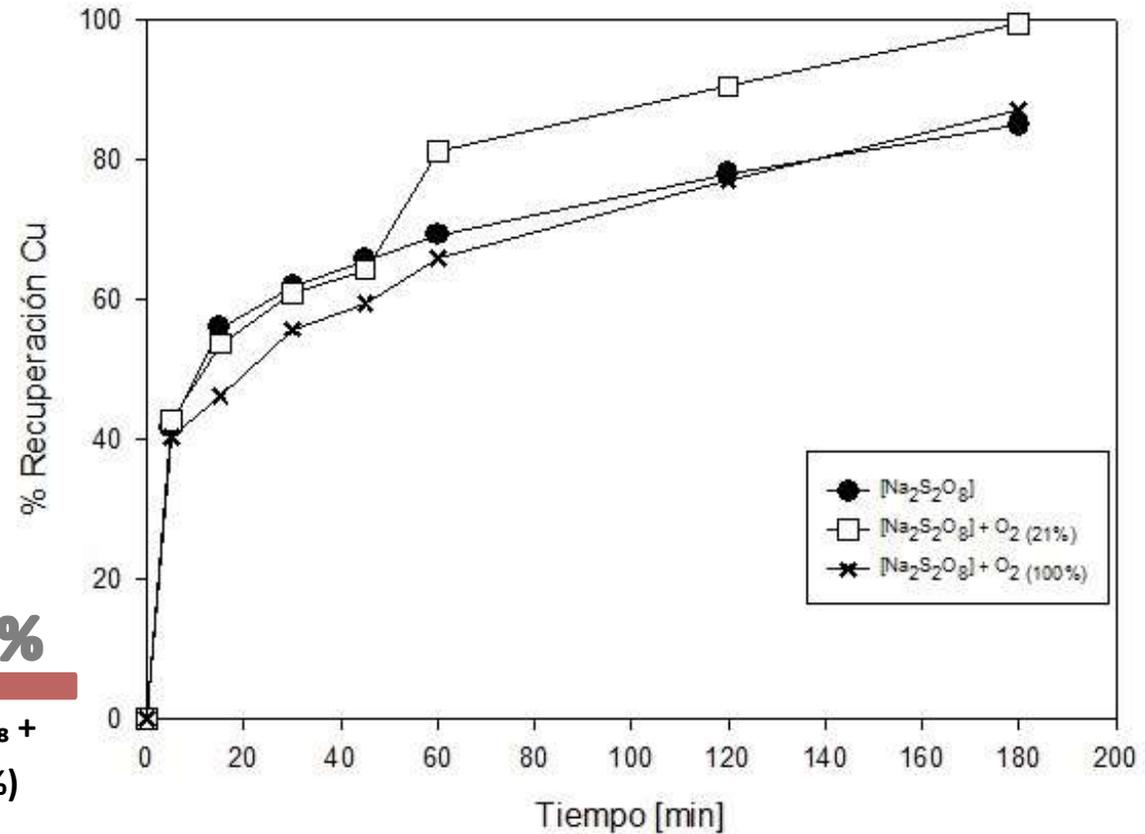
RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	60°C
$[\text{NH}_4\text{OH}]$	1 M
$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8]$	0,15 M
pH	10



INTERACCIÓN $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ y O_2

CONDICIONES

RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	60°C
$[\text{NH}_4\text{OH}]$	1 M
$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8]$	0,15 M
pH	10



RESULTADOS : pH

CONDICIONES

RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	60°C
[Na ₂ S ₂ O ₈]	0,15 mol/L
[NH ₄ OH]	1 mol/L

MENOR pH
[8,3 – 10,8]

=

**MAYOR %
RECUPERACIÓN**

Tetra-amina
de Cobre

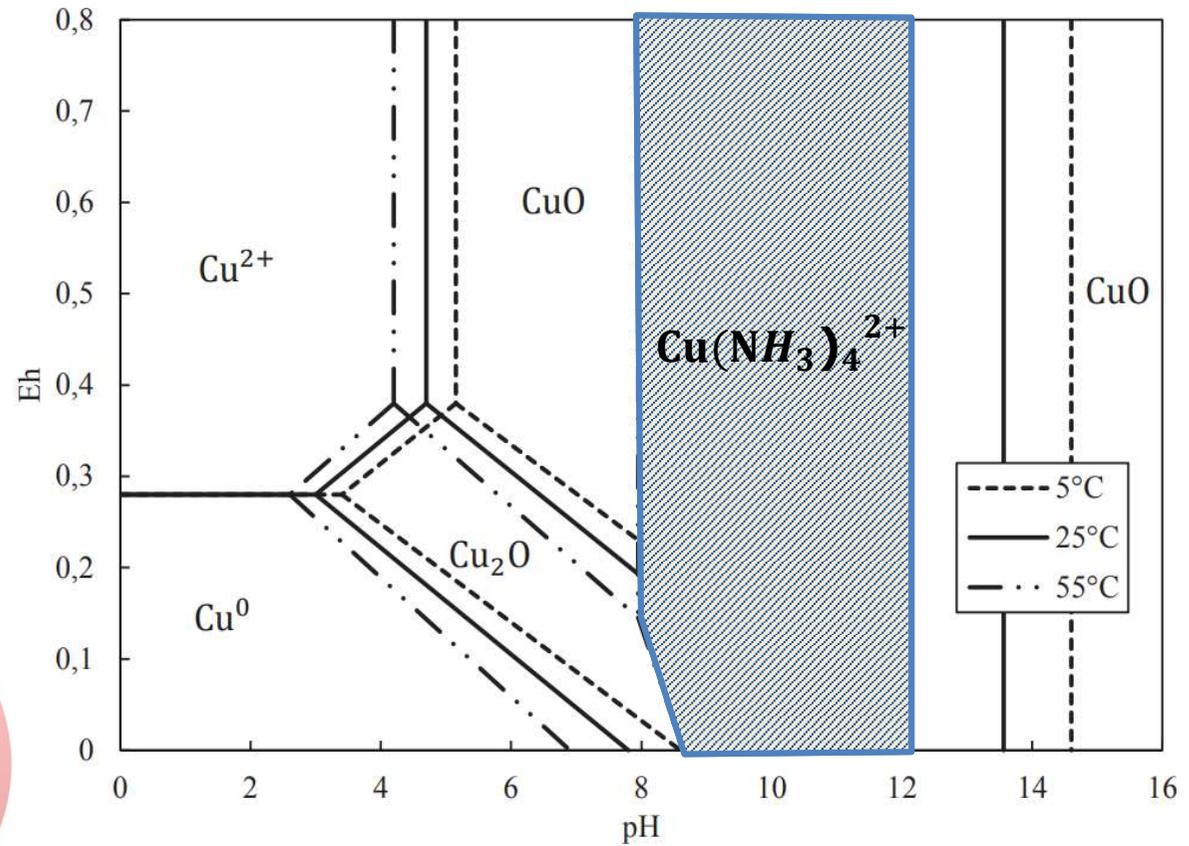
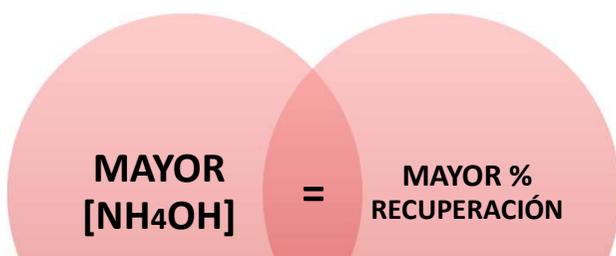


Diagrama de estabilidad del sistema Cu-NH₃-H₂O a temperaturas de 5, 25 y 55°C. [22]

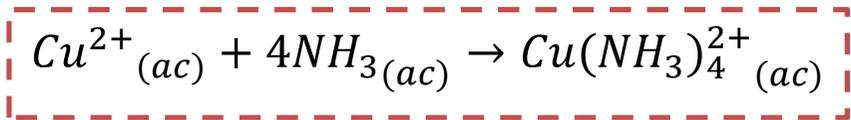
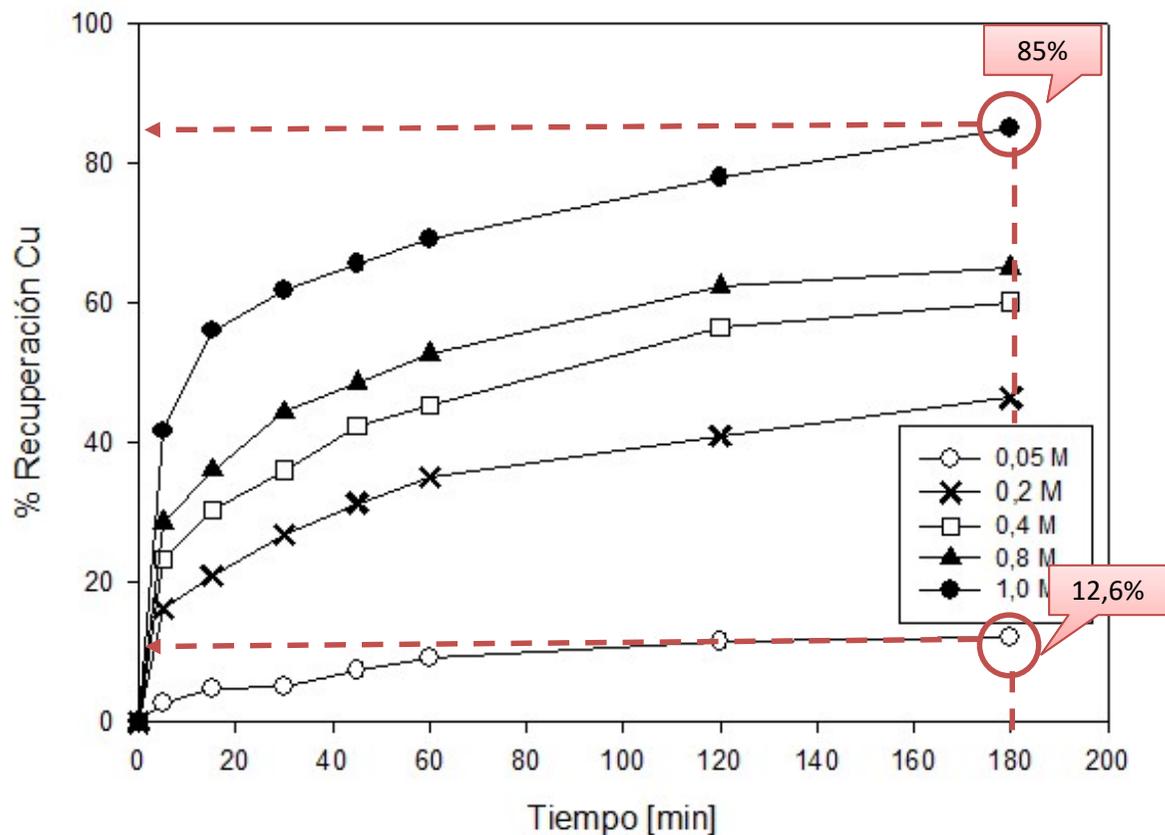
RESULTADOS : [NH₄OH]

CONDICIONES

RPM	400
Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	60°C
[Na ₂ S ₂ O ₈]	0,15 mol/L
pH	10



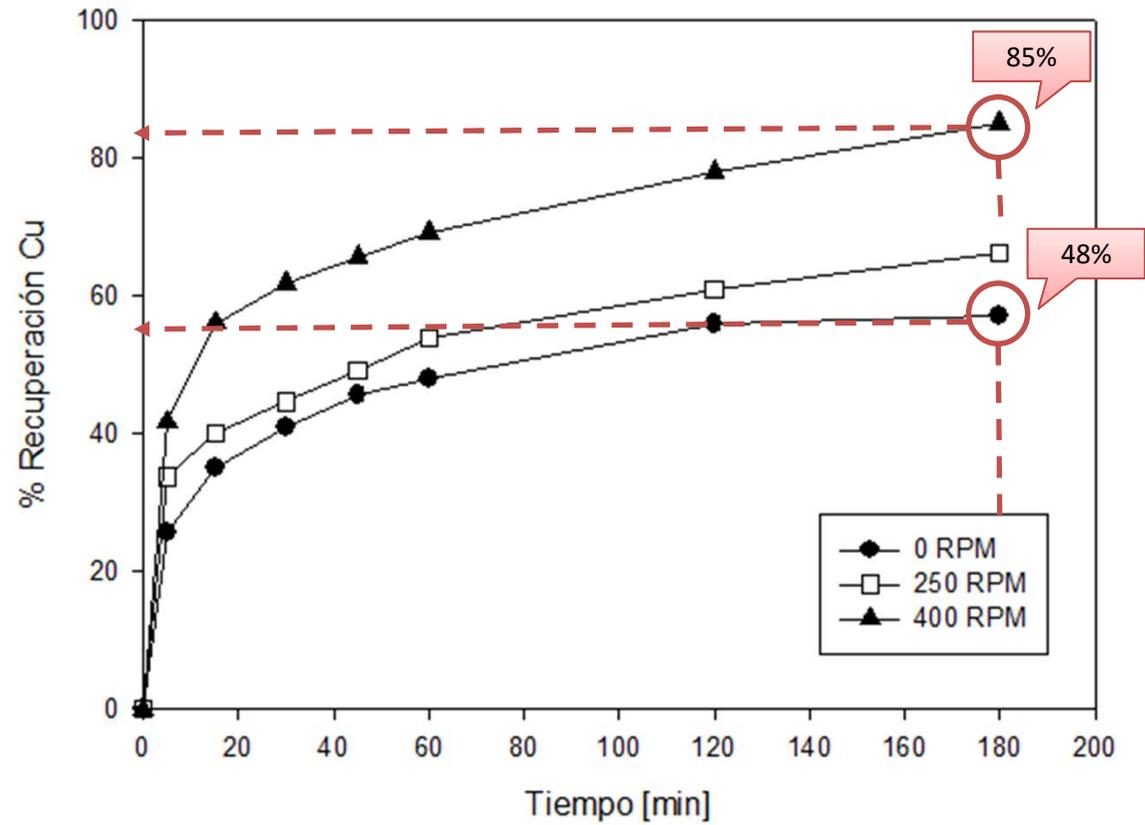
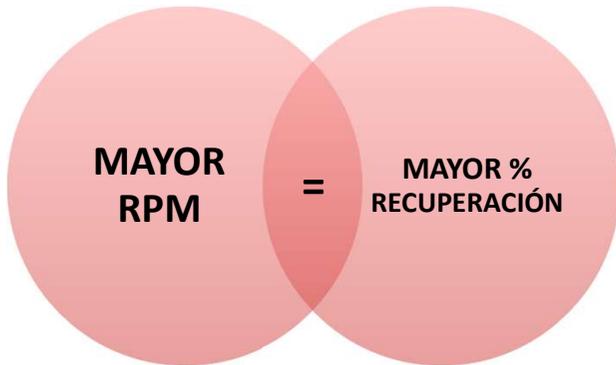
Mayor acomplejamiento
Cu²⁺



RESULTADOS : RPM

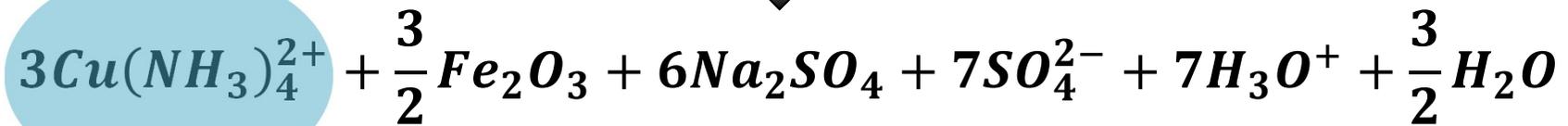
CONDICIONES

Tamaño partícula	63,5 μm
Temperatura	333 K
[Na ₂ S ₂ O ₈]	0,15 mol/L
[NH ₄ OH]	1 mol/L
pH	10



MECANISMO DE REACCIÓN

REACCIÓN GLOBAL:



CONCLUSIONES

- ✓ Se cumple el objetivo de **recuperar el 80% de Cobre** proveniente de la escoria.

[Na₂S₂O₈]
FUNCIÓN OXIDANTE

[NH₄OH]
FUNCIÓN ACOMPLEJANTE

AUMENTA RECUPERACIÓN COBRE

↓
Tamaño de Partícula

↑
Temperatura

pH
[8,3 – 10,8]

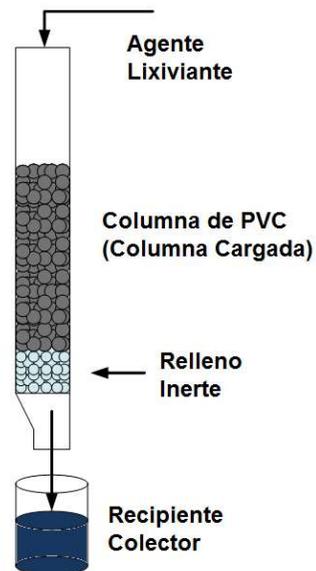
↑
[Na₂S₂O₈]

↑
[NH₄OH]

↑
RPM

PROYECCIÓN

- ✓ Columnas de lixiviación de 1 a 3 m en una planta piloto.
 - Velocidad de extracción.
 - Cantidad de cobre extraído.
 - Efecto de tamaño de partícula.
- ✓ Estudiar la interacción entre $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ y O_2 , planteado una hipótesis y los objetivos a investigar.



Lixiviación de escorias de horno flash con persulfato de sodio en medio amoniacal

Autores

Daniel Torres Urbina | dan.torresurbina@gmail.com

Profesor Guía

Dr. Álvaro Aracena Caipa

LIAM

Laboratorio de Investigación Aplicada en Metalurgia Extractiva



Muchas Gracias

CON EL PATROCINIO DE:

Teck

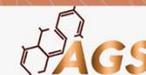


Empírica®

CHK-ING
Ingeniería



RJRSALAR



LIAM

MODELO CINÉTICO DE LIXIVIACIÓN DE LA ESCORIA

$$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{\frac{2}{3}} = \frac{6,66 \cdot 10^{-3} \cdot [Na_2S_2O_8]^{0,81} \cdot [NH_4OH]^{1,65} \cdot e^{\left(\frac{-46840}{RT}\right)} \cdot t}{r_o^2}$$

[Na₂S₂O₈] : Concentración de persulfato de sodio en M

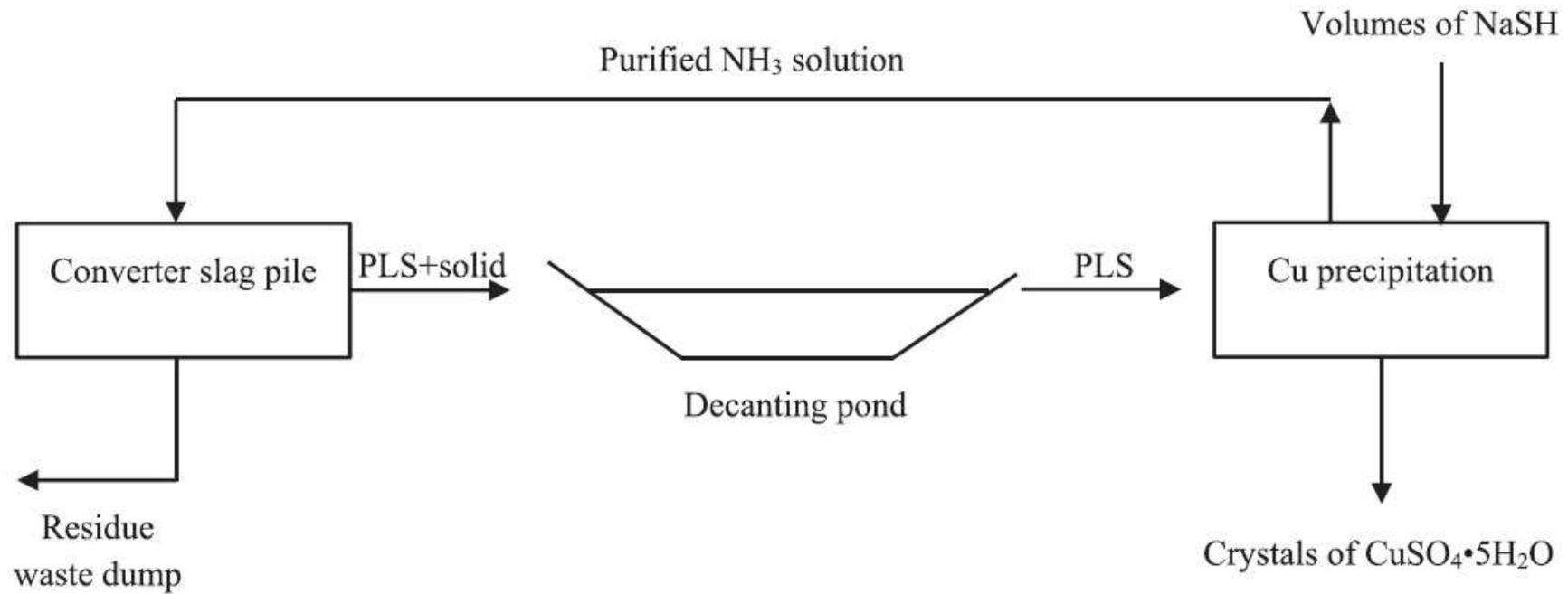
[NH₄OH] : Concentración hidróxido de amonio en M

r_o : Tamaño de partícula

R : Constante de gases ideales (8,314 J/mol K)

T : Temperatura (K)

t : Tiempo



RESULTADOS MINERALÓGICOS

Escoria lixiviada

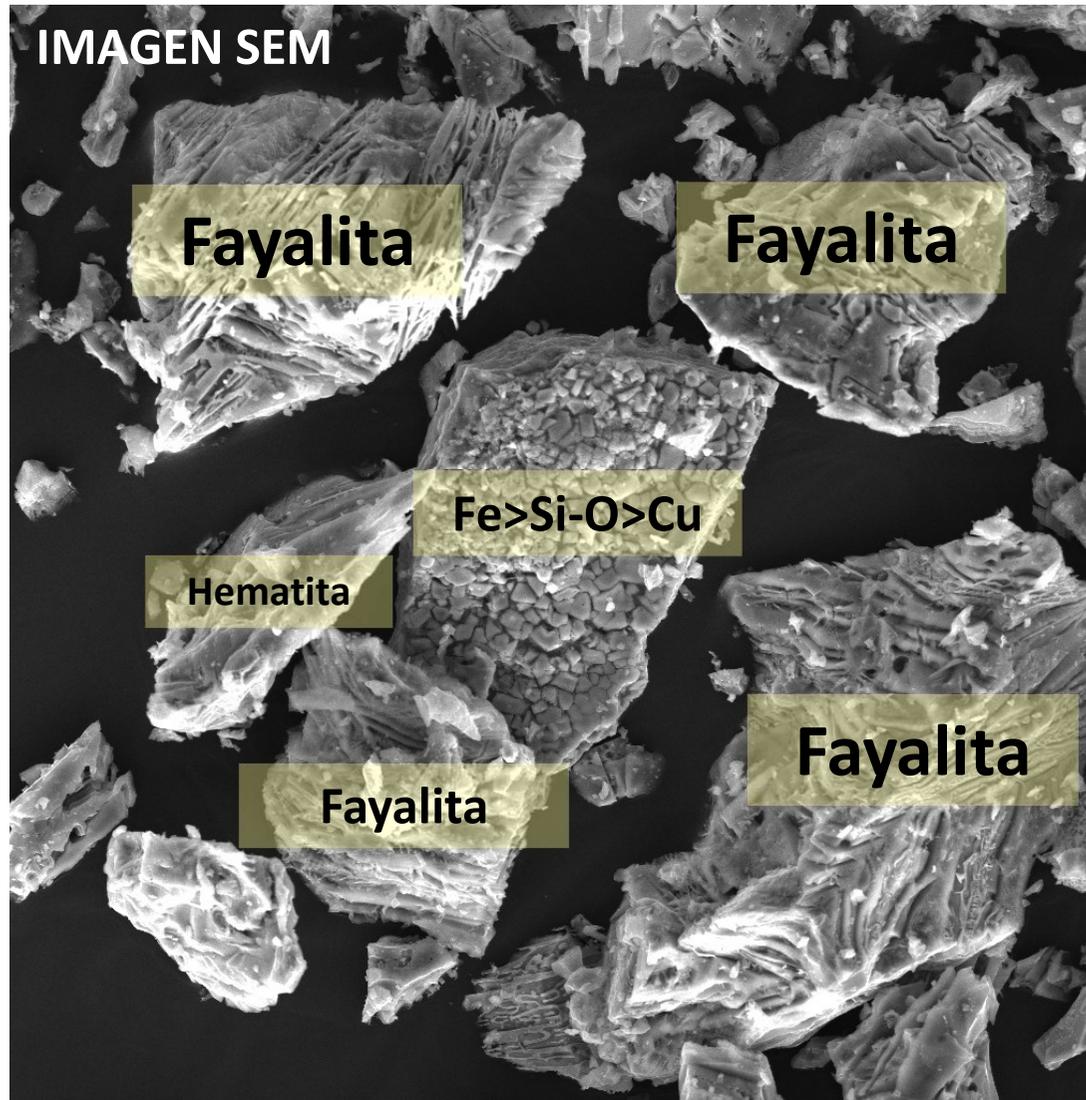


DIAGRAMA DE POURBAIX

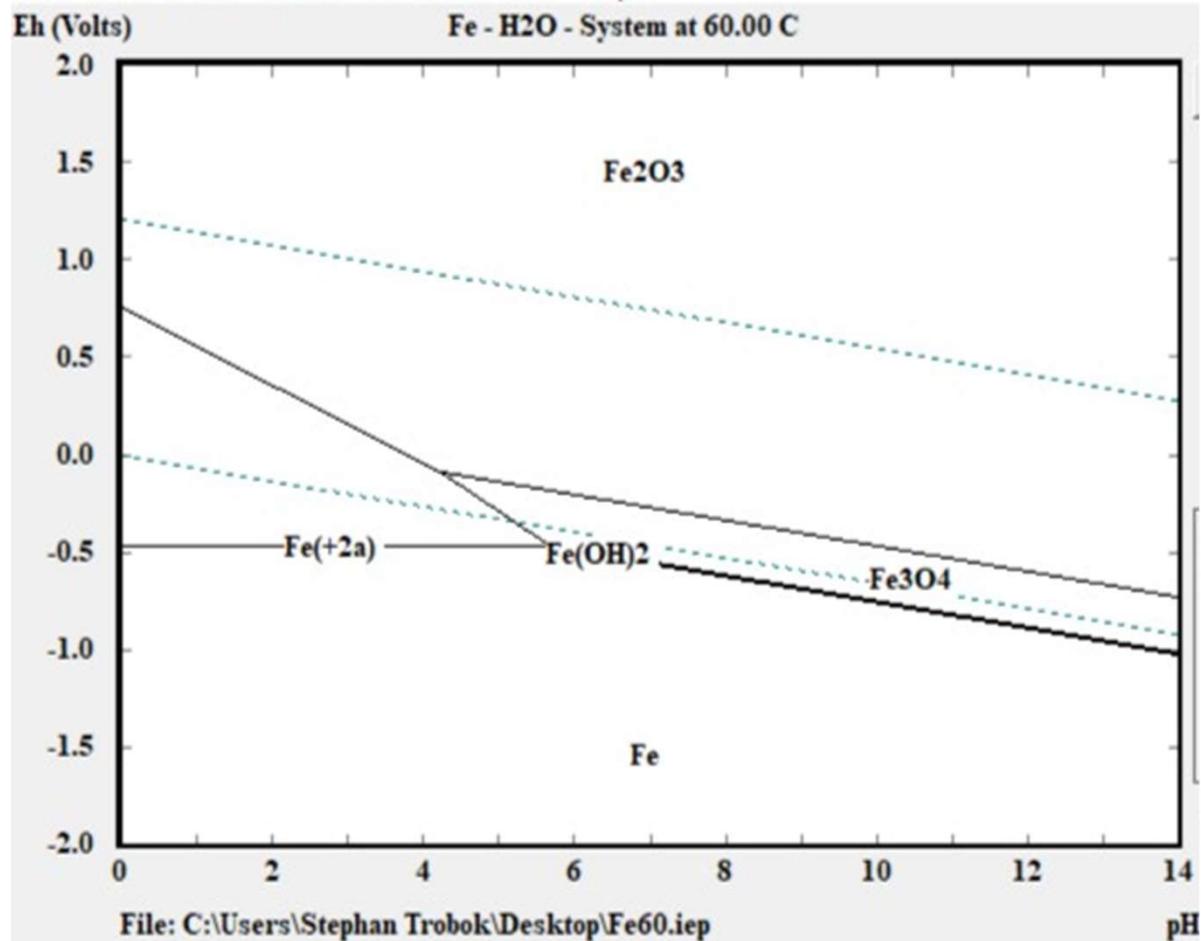
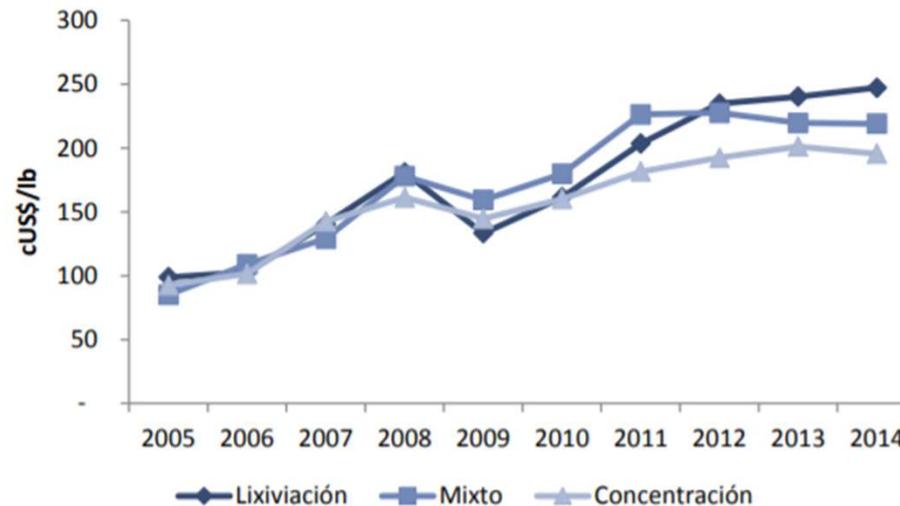


Diagrama de Pourbaix para sistema Fe-H₂O a 60°C, con una actividad de 1×10^{-4} . [12]

COSTOS

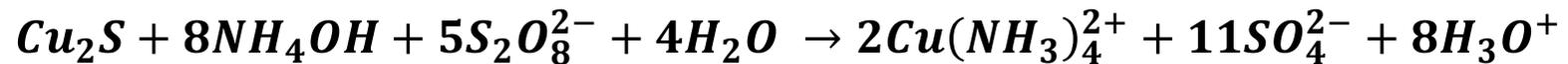
- ✓ Los costos fijos referidos a los hornos de limpieza de escorias, situándose en Chuquicamata en el año 2017 un valor aproximadamente de 3.200.000 [US\$/año]. Para el caso del proceso de flotación el costo está representado por la cantidad de escoria tratada, es decir, el costo por flotación es de 21 [US\$/ton]. El consumo de energía específica de un horno de limpieza de escoria es de 134-175 [kWh/ton]. Esto representa el 30% del total de los costos del tratamiento de escorias.



Caracterización de los costos de la gran minería del cobre, Comisión Chilena del Cobre. 2015.

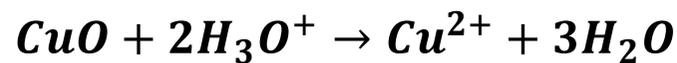
MECANISMO DE REACCIÓN

Sulfuro de Cobre (Cu₂S)

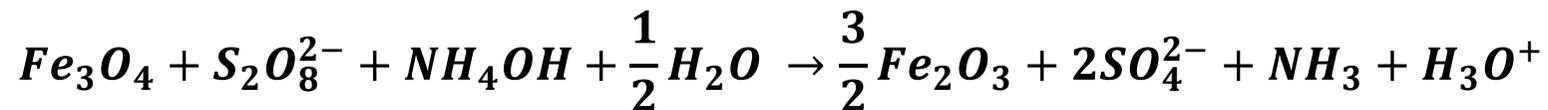


Óxido de Cobre (CuO)

Según Aracena et al. [22] en la lixiviación de tenorita (CuO) en ambiente amoniacal, propone que:



Magnetita (Fe₃O₄)



Se toma en consideración el costo de los materiales y energía requeridos para la realizada investigación.

La tabla 8 muestra el costo de los reactivos empleados para las pruebas de lixiviación con persulfato de sodio en medio amoniacal:

Tabla 8. Costo de reactivos para desarrollar la lixiviación.

Reactivo	Fórmula	Proveniencia
Hidróxido de Amonio	NH_4OH	Winkler
	<i>Costo NH_4OH - 2,5 L</i>	\$4,284
	<i>Concentración requerida [M]</i>	0.45
	<i>Volumen requerido [mL]</i>	60.4
COSTO TOTAL [CLP]		\$104
Persulfato de Sodio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$	Lobal Chimie
	<i>Costo $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ - 500 gr</i>	\$11,880
	<i>Concentración requerida [M]</i>	0.15
	<i>$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ utilizado [gr]</i>	21.64
COSTO TOTAL [CLP]		\$514
Hidróxido de Sodio	NaOH	Merck
	<i>Costo NaOH - 1 kg</i>	\$16,600
	<i>NaOH utilizado [gr]</i>	5
COSTO TOTAL [CLP]		\$80
Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	Vimaroni
	<i>Costo H_2SO_4 -2,5 L</i>	\$14,280
	<i>H_2SO_4 utilizado [mL]</i>	5
COSTO TOTAL [CLP]		\$29
Agua destilada	H_2O	-
	<i>Costo agua destilada 5 L</i>	\$850
	<i>Agua destilada utilizada, [mL]</i>	939.6
COSTO TOTAL [CLP]		\$160
Costo Total por pruebas		\$887
<i>Número de pruebas</i>		30
COSTO TOTAL DE REACTIVOS [CLP]		\$26,610



Luego se muestra el análisis asociado al costo de energía empleada tanto en la manta calefactora como en el agitador mecánico para desarrollar la lixiviación dado en la tabla 9:

Tabla 9. Costo del consumo eléctrico para desarrollar la lixiviación.

Equipo	Potencia [kW]	Tiempo [hr]	Energía [kWh]
Agitador mecánico	0.05	5	0.25
Manta calefactora	0.35	5	1.75
<i>TOTAL ENERGÍA [kWh]</i>			2
<i>Costo electricidad [CLP/kWh]</i>			105
<i>Número de pruebas</i>			30
COSTO TOTAL DE ENERGÍA [CLP]			\$6,300

Se considera además en la tabla 10 los costos vinculados al cilindro de gases que poseen distintas concentraciones para las pruebas de lixiviación realizadas:

Tabla 10. Costo de cilindro de gases.

N° Cilindro	Descripción	Costo [CLP]
1	21% O ₂ + 79% N ₂ , 8.5 m ³	\$150,215
2	100% O ₂ , 8.5 m ³	\$150,215
3	100% N ₂ , 8.5 m ³	\$49,630
COSTO TOTAL DE GASES [CLP]		\$350,060

En resumen, el costo total que implicó la realización de la lixiviación de escoria con persulfato de sodio en medio amoniacal se encuentra expresado en la tabla 11:

Tabla 11. Costo total de las pruebas de lixiviación

Ítem	Costo [CLP]
Reactivos	\$26,610
Consumo eléctrico	\$6,300
Gases	\$350,060
COSTO TOTAL	\$382,970

- Ionización del NH_4OH



- Hidrolización del ion amonio, NH_4^+



CÁLCULO RECUPERACIÓN:

Cu en solución en 5 minutos de prueba

$$Cu_{solucion} = \frac{Cu_{M1,mg/L}}{1000} \cdot \left(V_i - \frac{V_{M1}}{1000} \right)$$

$$\%Cu_{extraído} = \frac{Cu_{solución}}{Cu_{inicial}}$$

Cu en solución en 15 minutos de prueba

$$Cu_{solucion} = \left[\frac{Cu_{M2,mg/L}}{1000} \cdot \left(V_i - \frac{[V_{M1} + V_{M2}]}{1000} \right) \right] + \left[\frac{Cu_{M1,mg/L}}{1000} \cdot \frac{V_{M1}}{1000} \right]$$

Cu en solución en 30 minutos de prueba

$$Cu_{solucion} = \left[\frac{Cu_{M3,mg/L}}{1000} \cdot \left(V_i - \frac{[V_{M1} + V_{M2} + V_{M3}]}{1000} \right) \right] + \left[\frac{Cu_{M1,mg/L}}{1000} \cdot \frac{V_{M1}}{1000} \right] + \left[\frac{Cu_{M2,mg/L}}{1000} \cdot \frac{V_{M2}}{1000} \right]$$

V_m "n" = Volúmenes de muestras sacadas del reactor.

