

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella en la Cía. Minera Cerro SAC. - Pasco - 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Rafael Aldo PANEZ VARA

Asesor:

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella en la Cía. Minera Cerro SAC. - Pasco - 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
MIEMBRO

Dr. Cayo PALACIOS ESPIRITU
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 356-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro
de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella
en la Cía. Minera Cerro SAC. - Pasco - 2024**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Rafael Aldo, PANEZ VARA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Eusebio, ROQUE HUAMÁN

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

14 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 4 de diciembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605048 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.12.2025 08:32:48 -05:00

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación
llamada tesis se lo dedico a mis padres,
hermanos por su constante apoyo recibido
en mi formación profesional

AGRADECIMIENTO

Mediante la presente trabajo de tesis deseo expresar mis sinceros agradecimientos a mis padres, hermanos y amigos por la constancia.

Asimismo, deseo expresar mis agradecimientos a los ingenieros, obreros de la Empresa Administradora Cerro SAC. De Volcán Compañía Minera.

Por otro lado, expreso mis agradecimientos a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar su comportamiento metalúrgico de minerales sulfuros de calcopirita con contenido de ley baja de plata y oro acumulados en los Stock Piles de propiedad de la E.A. CERRO SAC, se realizaron pruebas de lixiviación en botella con un compósito formados por muestras de taladros con contenido de plata de 4 onzas, muestreados, preparados por el Área de Geo Metalurgia. Cuyo objetivo específico de estas pruebas está enfocado en observar la extracción (disolución) de Plata y Oro, de mineral sulfuro con contenido de Cobre y Fierro y de valores económicos de Plata y Oro, para lo cual se aplica la tecnología de Lixiviación en botella.

Para tal efecto se realizad pruebas de lixiviación estándar con y sin lavado de la pulpa, con P80 de 54 micras, con la finalidad de eliminar las interferencias y observar su desviación o influencia en la extracción de valores económicos de plata y consumo de reactivos al cianurar hasta 48 horas. Teniendo como resultado un análisis de ley de cabeza de este compósito de plata de 4,4 oz/t (136 g/t), 0,70 g/t en oro, 0,22 % de cobre y 33,67% de Fierro. Después del tratamiento se tiene como resultado donde se indica que al realizar el lavado de la pulpa después de la molienda, se incrementa la extracción de Plata en 1,7% y se reduce el consumo de cianuro sodio en 1,4 kg/t y de cal en 21,2 kg/t; con respecto al lixiviar sin realizar el lavado de la pulpa, en cuanto al oro no es tan significativo el incremento, ya que se lograr 0,8% de extracción, A continuación, se detalla los resultados obtenidos.

1. Al realizar el lavado de la pulpa después de la molienda a granulometría de 54 micras se obtuvieron los siguientes resultados:

La extracción obtenida en **Plata es de 47,9 %**, **en Oro es de 71,8 %** y la disolución del cobre en cianuro sódico 46.9%. teniendo el consumo de reactivos: Al realizar el lavado y luego lixiviar a 54 micras el consumo de **cianuro sódico es de 5,6 kg/t y de cal es de 6,7 kg/t.**

2. Al no realizar el lavado de la pulpa y lixiviar a granulometría de 54 micras se obtuvieron los siguientes resultados:

La extracción obtenida en **Plata es de 46,2 %**, **en Oro es de 71,0 %** y la disolución del cobre en cianuro sódico 60,1%. teniendo el consumo de reactivos: sin lavar la pulpa y luego lixiviar a 54 micras el consumo de **cianuro sódico es de 7,1 kg/t y de cal es de 27,9 kg/t.**

Por otro lado, la adición del oxidante fue constante en todas las pruebas de lixiviación, por lo que el consumo de Peróxido de Hidrogeno es de 9,2 kg/t equivalente a 2,2 kg/t de Oxígeno.

Palabra clave: Extracción, Tecnología de lixiviación en botella.

ABSTRACT

In order to evaluate the metallurgical behavior of chalcopyrite sulfide minerals with low grade silver and gold content accumulated in the Pile Stocks owned by E.A. CERRO SAC, bottle leaching tests were carried out with a composite formed by samples of drills with silver content of 4 ounces, sampled, prepared by the Geo Metallurgy Area. The specific objective of these tests is focused on observing the extraction (dissolution) of Silver and Gold, of sulfide ore with Copper and Iron content and of economic values of Silver and Gold, for which the technology of Leaching in Bottle is applied.

For this purpose, standard leaching tests with and without pulp washing are carried out, with P80 of 54 microns, in order to eliminate interferences and observe their deviation or influence on the extraction of economic values of silver and consumption of reagents when cyaniding for up to 48 hours. The result was a head grade analysis of this silver composite of 4.4 oz/t (136 g/t), 0.70 g/t in gold, 0.22% copper and 33.67% in iron. After treatment, the result is that when washing the pulp after milling, silver extraction is increased by 1.7% and sodium cyanide consumption is reduced by 1.4 kg/t and lime by 21.2 kg/t; with respect to leaching without washing the pulp, as for gold, the increase is not so significant, since 0.8% of extraction is achieved, The results obtained are detailed below.

1. When washing the pulp after grinding to a granulometry of 54 microns, the following results were obtained: The extraction obtained in Silver is 47.9%, in Gold it is 71.8% and the dissolution of copper in sodium cyanide is 46.9%. having the consumption of reagents: When washing and then leaching to 54 microns, the consumption of sodium cyanide is 5.6 kg/t and lime is 6.7 kg/t.

By not washing the pulp and leaching at a granulometry of 54 microns, the following results were obtained:

2. The extraction obtained in Silver is 46.2%, in Gold it is 71.0% and the dissolution of copper

in sodium cyanide is 60.1%. Having the consumption of reagents: without washing the pulp and then leaching to 54 microns, the consumption of sodium cyanide is 7.1 kg/t and lime is 27.9 kg/t.

On the other hand, the addition of the oxidant was constant in all leaching tests, so the consumption of Hydrogen Peroxide is 9.2 kg/t equivalent to 2.2 kg/t of Oxygen.

Keyword: Extraction, Bottle Leaching Technology.

INTRODUCCIÓN

La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite la recuperación de metales de interés mediante la disolución selectiva de estos en soluciones acuosas. En el caso de minerales que contienen oro y plata asociados a sulfuros de cobre, este proceso es complejo debido a la naturaleza refractaria de estos minerales, que tienden a encapsular los metales preciosos, dificultando su extracción directa.

La lixiviación en botella es una técnica de laboratorio diseñada para estudiar la cinética de disolución y evaluar las condiciones óptimas para extraer oro y plata de minerales sulfurados. Esta tecnología se lleva a cabo en un recipiente cerrado (generalmente una botella de vidrio o plástico) que contiene una cantidad específica de mineral finamente triturado, agua, y reactivos lixiviantes, como cianuro de sodio o tiosulfato, dependiendo del proceso. El objetivo principal es lograr una disolución eficiente de los metales de interés, separándolos de la matriz mineralógica mediante la acción química del lixivante.

El trabajo de investigación consta de un formato que está diseñado por el reglamento de grados y títulos donde se incluye lo siguiente:

Capítulo I. Problema de investigación: identificación y determinación del problema, formulación del problema, formulación de objetivos, justificación de la investigación, limitaciones de la investigación.

Capítulo II. Marco teórico: antecedentes de estudio, bases teóricas – científicas, definición de términos básicos, formulación de hipótesis, identificación de variables, definición operacional de variables e indicadores.

Capítulo III. Metodología y técnicas de investigación: tipo de investigación, métodos de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, tratamiento estadístico, selección validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación, orientación ética.

Capítulo IV. Resultados y discusión: descripción del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de resultados, prueba de hipótesis, discusión de resultados.

Las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

INDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación.	3
1.3. Planteamiento del problema	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos:	3
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación de la investigación.	4
1.6. Limitaciones de la investigación.	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.2. Bases teóricas y científicas	8
2.2.1. Mercado del Cobre	8

2.2.2. Fundamentos de la lixiviación del cobre	10
2.2.3. Características de los minerales de cobre	12
2.2.4. Minerales de cobre.....	14
2.2.5. Ganga del mineral de la calcopirita	15
2.2.6. Importancia de la química de soluciones, la termodinámica y la cinética en hidrometalurgia.....	17
2.2.7. Elementos de cinética química aplicables en hidrometalurgia:	19
2.2.8. Factores influyentes sobre la cinética	22
2.2.9. Modelo cinético del núcleo sin reaccionar	24
2.3. Definición de términos básicos	27
2.4. Formulación de hipótesis.....	28
2.4.1. Hipótesis general	28
2.4.2. Hipótesis específicas.....	28
2.5. Identificación de variables.....	28
2.5.1. Variable Dependiente	28
2.5.2. Variable Independiente	28
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	30
3.2. Nivel de investigación	30
3.3. Métodos de investigación.....	30
3.4. Diseño de investigación.....	31
3.5. Población y muestra	31
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	32
3.8. Tratamiento estadístico.....	33
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	33

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	34
4.1.1. Procedencia de muestra	34
4.1.2. Preparación de la muestra.....	35
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	35
4.2.1. Pruebas de lixiviación Sin Lavado:	35
4.2.2. Pruebas de Lavado y lixiviación.....	35
4.2.3. Condiciones de pruebas.	36
4.2.4. Leyes de cabeza del compósito	37
4.3. Prueba de Hipótesis	37
4.3.1. Extracción de Plata.	37
4.3.2. Extracción de Oro.....	39
4.4. Discusión de resultados	40
4.4.1. Contenido de metales en la Soluciones.	40
4.4.2. Leyes Finales de Ag, Au y Cu en Soluciones.....	41
4.4.3. Concentración de NaCN Final.....	41
4.4.4. Leyes de Colas de la Muestra.	42
4.4.5. Consumo de Reactivos.	42

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Análisis Químico de Cabeza – PyAgLG.....	37
Tabla 2. Cinética de Extracciones de Plata – PyAgLG.....	38
Tabla 3. Cinética de Extracciones de Oro – PyAgLG	40
Tabla 4. Contenido de metales en la Solución Final	41
Tabla 5. Leyes en la Solución – PyAgLG.....	41
Tabla 6. NaCN Final en la Solución – PyAgLG.....	41
Tabla 7. Leyes de Colas – PyAgLG.....	42
Tabla 8. Consumo de Reactivos – PyAgLG	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina.
Figura 1. Etapas de Prueba de Cianuración	35
Figura 2. Etapas de Pruebas de Lavado y Cianuración.....	36
Figura 3. Cinética de Extracción de Plata – PyAgLG	39
Figura 4. Cinética de Extracción de Oro – PyAgLG	40

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La extracción de plata y oro de minerales sulfurados de cobre puede ser un desafío complejo debido a la naturaleza de los minerales involucrados y la presencia de impurezas o compuestos asociados. A continuación, se describen algunos de los problemas más comunes en este proceso:

1. Complejidad de los minerales:

- **Minerales complejos:** Los minerales sulfurados de cobre, como la calcopirita, suelen contener metales valiosos como la plata y el oro, pero estos metales están encerrados en una matriz mineral compleja. Esto dificulta su liberación y separación.
- **Minerales refractarios:** El oro y la plata pueden estar atrapados en minerales refractarios como la pirita y la arsenopirita, lo que impide su recuperación mediante procesos convencionales de cianuración.

2. Interferencias en la flotación:

- En muchos casos, el oro y la plata están asociados a minerales de sulfuro de cobre (calcopirita, bornita) y a otros minerales sulfurados (pirita, esfalerita, etc.), lo que dificulta la separación selectiva.
- Depresores inadecuados: Los reactivos utilizados en la flotación pueden no ser efectivos para deprimir ciertos minerales, como la pirita, lo que reduce la recuperación de plata y oro.

3. Cianuración complicada:

- Minerales con cianicidas: Algunos minerales sulfurados pueden contener compuestos que consumen cianuro durante el proceso de cianuración, lo que reduce la eficiencia de la lixiviación del oro y la plata.
- Sulfuros reactivos: Los minerales sulfurados tienden a interferir en la cianuración, ya que pueden reaccionar con el cianuro y formar compuestos que dificultan la disolución de oro y plata.

4. Pérdidas en las colas:

- Durante el tratamiento de minerales sulfurados de cobre, pueden ocurrir pérdidas de oro y plata en las colas de flotación, especialmente si estos metales no se liberan adecuadamente de la ganga o si se forman partículas ultrafinas difíciles de recuperar.

5. Costos operativos elevados:

- Procesos complejos: Para recuperar la plata y el oro de los minerales sulfurados de cobre, a menudo es necesario combinar varios procesos (flotación, tostación, lixiviación), lo que incrementa los costos operativos.

- Consumo elevado de reactivos: El uso de grandes cantidades de cianuro, cal, oxígeno y otros reactivos químicos eleva el costo del tratamiento, especialmente si los minerales son refractarios o difíciles de procesar.

1.2. Delimitación de la investigación.

La planta de lixiviación de Cerro SAC, se encuentra ubicada en el distrito de Simón Bolívar en la región Pasco.

El trabajo de investigación se plantea realizar en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio del presente año.

El trabajo de investigación se realizará mediante la tecnología de lixiviación por botellas, tomando en cuenta la dosificación de reactivos, tiempo y recuperación de los iones de plata y oro.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo podemos hacer la extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella?

1.3.2. Problemas específicos:

- a. ¿Cuál será el resultado de la lixiviación estándar con lavado de la pulpa del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella?
- b. ¿Cuál será el resultado de la lixiviación estándar sin lavado de la pulpa del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar la extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Analizar el resultado de la lixiviación estándar con lavado de la pulpa del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella.
- b. Analizar el resultado de la lixiviación estándar sin lavado de la pulpa del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella.

1.5. Justificación de la investigación.

Técnica. En las actividades de procesamiento de minerales para la concentración del mineral de interés se pueda realizar por flotación o por lixiviación, en nuestro trabajo de investigación vamos a emplear la tecnología de lixiviación en botella.

Económica. Si se considera que la tecnología de lixiviación en botella es más eficiente en comparación de la lixiviación en columnas y que se pueda muestrear constantemente para ir determinando la recuperación de Plata y oro del mineral de calcopirita.

Medio ambiente. Visto que la molienda es un proceso de reducción de tamaño para liberar la partícula de valor económico para el proceso de flotación en la tecnología de la lixiviación de plata y Oro de un mineral de cobre la reducción del tamaño es importante ya que estos elementos son invisibles.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Limitación teórica. El tratamiento de los minerales por la tecnología de la lixiviación en botella es una tecnología poco difundida y es necesario controlar algunas variables lo cual dificulta el tratamiento del mineral.

Limitación práctica. En la limitación que se presenta en el trabajo en la tecnología de la lixiviación en botella se presenta como escases de la botella para llevar a cabo el trabajo de investigación en laboratorio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

El bachiller Becky Denisse Rodríguez Carreño (2018) en la Universidad de Chile, cuyo título del trabajo de tesis es “Ensayos de lixiviación en medio inundado, a escala de laboratorio, para minerales mixtos de óxido-sulfuro de cobre”, cuyo resumen es: Los procesos de lixiviación en la industria actual cuentan con pruebas que permiten mantener un control lento de los procesos productivos, pues se requiere de períodos muy extensos de pruebas piloto para entregar datos que puedan usarse en la toma de decisiones operacionales a diario, y la evaluación de tecnologías propias de cada empresa. A través de este trabajo se estudia la lixiviación de minerales mixtos de óxido sulfuro de cobre a escala de laboratorio considerando tres aspectos relevantes: la implementación y posterior evaluación de un protocolo ya existente, el estudio de la cinética de lixiviación y como ésta varía dependiendo de la granulometría del mineral y los agentes lixiviantes; y la determinación de los valores de los parámetros cinéticos de lixiviación relevantes para ser usados a mayor escala. Se realizaron pruebas de lixiviación a escala de laboratorio en lecho inundado. Los experimentos revelan que la

velocidad de extracción no siempre será mayor para las muestras que poseen una distribución de tamaño del mineral más fina, debido a problemas de agitación del medio o en el lecho. Para el caso de estudio, no es posible establecer una relación clara de cómo afecta el medio lixiviante, sin embargo, es posible afirmar que la presencia del ion cloruro (Cl^-) favorecerá la disolución de cobre para el mineral tratado. A las curvas de datos experimentales obtenidos de la extracción de cobre en el tiempo, se aplicó el ajuste de un modelo a los datos experimentales: el modelo de núcleo sin reaccionar. Este modelo separa el proceso en distintas etapas, donde las etapas controlantes más comunes son la reacción química y la difusión en la capa de ceniza. Los resultados muestran que el modelo que posee un mejor ajuste es el de control por difusión, para todos los casos trabajados. Ensayos-de-lixivación-en-medio-inundado-a-escala-de-laboratorio-para-minerales-mixtos-de-óxido-sulfuro-de-cobre.pdf.

El Bach. Rossel Wilson Mamani Huanca (2018), en la tesis sustentada en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna, titulada “Estudio de la cinética de consumo de ácido sulfúrico y la lixiviación de minerales oxidados de cobre” cuyo resumen manifiesta: El presente trabajo es desarrollado en el laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería, la lixiviación de minerales oxidados de cobre, de la zona de Sama Inclán, tiene por finalidad de evaluar el consumo de ácido y la solubilidad del cobre. Las especies mineralógicas en mayor proporción son las siguientes: crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y malaquita [$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$], y en menor proporción azurita [$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$], pirita (FeS_2) y cuprita (Cu_2O). Como resultado principal del estudio se encontró que la velocidad de consumo de ácido y de disolución de cobre aumenta a medida que se disminuye el tamaño de grano en el rango de 1,27 mm ($\frac{1}{2}$ ”) – 2,54 mm (1”). También se comprobó que la cinética del proceso está controlada por la difusión de protones, en el interior de las partículas en el todo el rango de acidez

estudiado. El valor del tiempo de reacción completa está dado por cinética de lixiviación de cobre alcanzando una recuperación hasta el 86,93 % a los 30 días de tratamiento con el mineral de 0,0127 m ($\frac{1}{2}$ ”).
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f39f6602-5b43-4816-91b4-7fc79cc3e84e/content>

Bach. Jeanpierre Jhanmarco Alaya Misahuamán (2019) en la tesis sustentada en la Universidad Privada del Norte, en la facultad de ingeniería cuyo título es “Influencia del tamaño de partícula de mineral oxidado y concentración del lixivante en extracción de oro mediante lixiviación en columna, Sayapullo - La Libertad” en su resumen da a conocer que: La presente investigación tiene como objetivo mejorar la extracción de oro en un proceso de lixiviación por percolación, en este caso en columnas, utilizando la técnica de investigación experimental trifactorial, evaluando parámetros de lixivante, concentración de lixivante y la granulometría en la extracción de oro de un mineral oxidado de la de la Compañía Minera Sayapullo S.A., caserío de Huancajanga, distrito de Sayapullo, provincia de Gran Chimú, departamento de La Libertad. El lixivante Sandioss se presenta como una alternativa en la industria de la minería, es por lo cual se está utilizando este lixivante, lo cual ofrece una extracción similar a la extracción de oro tradicional por cianuro de sodio, lo que se puede afirmar que es el lixivante que remplazará al cianuro de sodio. La hipótesis de esta investigación es: A mayor tamaño de partícula de mineral y a mayor concentración de lixivante se obtendrá una mayor extracción de oro mediante lixiviación en columna, lo cual en los resultados obtenidos se tiene que a mayor concentración de lixivante y a la mayor granulometría la extracción de oro es más alta, que para los diferentes casos de concentración y tamaño de granulometría. Las diferentes variables influyen den la extracción de oro, por ejemplo, los resultados obtenidos nos muestran que a 700 ppm la extracción es más

alta, alcanzando a 92.12% y por ende el tipo lixivante también influye, en esta investigación los resultados al extraer oro son muy similar al trabajar con diferente tipo de lixivante. Además, se logra hacer un cuadro comparativo de costos utilizando estos dos tipos de lixivante para extraer oro, la cual ustedes lo podrán lograr ver y analizar, pues en este resultado que se obtiene, el lixivante sandioss es más económico y es más amigable con el medio ambiente. Alaya Misahuamán Jeanpierre Jhanmarco.pdf

2.2. Bases teóricas y científicas

2.2.1. Mercado del Cobre

El mercado del cobre es un sector vital en la economía global, con un valor aproximado de 30,000 millones de dólares anuales. Este metal es transaccionado principalmente en tres mercados internacionales: la Bolsa de Metales de Londres, el COMEX de Nueva York, y la Bolsa de Metales de Shanghai. En estos mercados, se fijan precios basados en la oferta y la demanda, y se realizan operaciones tanto al contado como a futuro (<https://www.codelco.com/innovacion/nuevos-usos-del-cobre/comercio-mercado-del-cobre>)

Evolución de Precios y Demanda: En 2023, el precio promedio del cobre fue de US\$ 3,85 por libra, lo que representa un aumento del 3,5% respecto a 2022. Sin embargo, este año estuvo marcado por una desaceleración en la actividad industrial en los principales mercados consumidores, como China y Europa. La demanda se ha visto afectada por factores como el ciclo inflacionario en Estados Unidos y una disminución en las expectativas de crecimiento en China <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/como-es-el-2>

Factores Clave:

- **Demanda Global:** China es el mayor consumidor, representando más del 34% de las importaciones mundiales. La creciente demanda en sectores como la construcción y la electrificación, especialmente con el auge de los vehículos eléctricos, está impulsando el mercado <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/copper-market>.
- **Condiciones del Mercado:** Los precios del cobre tienden a aumentar cuando la demanda es fuerte. En 2022, los precios alcanzaron máximos superiores a US\$ 10,000 por tonelada, pero desde entonces se han estabilizado alrededor de US\$ 8,200 por tonelada. <https://www.cepal.org/pt-br/node/22771>

Perspectivas Futuras:

Se espera que el mercado del cobre continúe creciendo a una tasa compuesta anual del 6% hasta 2027, impulsado por la demanda en sectores clave como la construcción y la industria eléctrica. Las proyecciones sugieren que las economías emergentes, especialmente en Asia-Pacífico, jugarán un papel crucial en este crecimiento debido a su desarrollo industrial y urbano <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/copper-market>.

Desafíos:

A pesar del potencial de crecimiento, el mercado enfrenta desafíos significativos:

- **Sustitutos Materiales:** El uso creciente de materiales alternativos como plásticos.
- **Regulaciones Ambientales:** Presiones para hacer la minería más sostenible pueden afectar la producción.

- Condiciones Económicas Globales: Cambios en las políticas monetarias y fluctuaciones económicas pueden impactar la demanda <https://www.cepal.org/pt-br/node/22771>

El futuro del cobre parece prometedor, con una necesidad creciente en aplicaciones tecnológicas y energéticas que subrayan su importancia en la transición hacia economías más sostenibles y electrificadas.

2.2.2. Fundamentos de la lixiviación del cobre

La lixiviación del cobre es un proceso hidrometalúrgico fundamental para la extracción de este metal a partir de minerales. A continuación, se presentan los fundamentos de este proceso, incluyendo sus mecanismos, condiciones y factores que influyen en su eficiencia.

Proceso de Lixiviación:

La lixiviación implica la disolución del cobre contenido en los minerales mediante el uso de soluciones químicas, principalmente ácido sulfúrico para minerales oxidados y sulfato férrico para minerales sulfurados. Este proceso se lleva a cabo en varias etapas:

1. Chancado: El mineral es triturado para aumentar la superficie de contacto.
2. Curado: Se rocían las pilas de mineral con una solución de agua y ácido sulfúrico, iniciando la disolución del cobre.
3. Lixiviación: La solución se distribuye sobre el mineral en pilas, donde se produce la disolución del cobre en un proceso que puede durar varias semanas.

Mecanismos de Lixiviación:

Los mecanismos de lixiviación incluyen:

- Físico: Implica la disolución del cobre en el líquido.

- Químico: Reacciones entre el ácido y el mineral que facilitan la liberación del cobre.
- Electroquímico: Transferencia de electrones que ocurre durante las reacciones redox.

Reacciones Químicas:

Para los minerales sulfurados, como la calcopirita, la reacción básica puede representarse como:



En presencia de ión férrico (Fe^{3+}), las reacciones se aceleran, mejorando la eficiencia del proceso. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>

Factores que Afectan la Lixiviación:

Concentración de Ácido: Un aumento en la concentración de ácido sulfúrico incrementa la velocidad de disolución del cobre, aunque también puede aumentar el consumo de ácido por parte de otros componentes del mineral.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>

pH y Potencial Redox: Mantener un pH adecuado (generalmente bajo) es crucial para maximizar la solubilidad del cobre. Un pH más bajo favorece condiciones oxidantes que son necesarias para la lixiviación efectiva.

<https://www.revistageomimet.mx/2021/08/cinetica-de-lixiviacion-de-cobre-en-un-mineral-mixto-de-baja-ley/>

Temperatura: Aumentar la temperatura puede acelerar las reacciones químicas involucradas en el proceso.

Tamaño de Partícula: Un menor tamaño de partícula aumenta el área superficial disponible para la reacción, lo que mejora la lixiviación.

Tiempo de Contacto: La duración del contacto entre el mineral y la solución lixiviante influye directamente en el grado de extracción del cobre. https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005316/lixiviacion_media_tecnico_080119.pdf

La lixiviación del cobre es un proceso complejo que depende de múltiples variables químicas y físicas. Optimizar estos factores es esencial para mejorar la eficiencia económica y técnica del proceso, permitiendo una recuperación efectiva del metal a partir de sus minerales. La investigación continua en este campo busca mejorar las técnicas existentes y reducir costos asociados con el consumo de reactivos.

2.2.3. Características de los minerales de cobre

Los minerales de cobre presentan una variedad de características que los hacen esenciales en la industria y la tecnología. A continuación, se detallan sus principales propiedades físicas y químicas.

Propiedades Físicas:

- **Color y Brillo:** El cobre tiene un color rojizo brillante y un brillo metálico. Su apariencia puede cambiar al oxidarse, pasando de un color rojo salmón a tonos violáceos y finalmente a negro debido a la formación de óxidos como el óxido cuproso (Cu_2O) y el óxido cúprico (CuO) (<https://mineriaenlinea.com/metales/cobre-14/>)
- **Conductividad:** Es uno de los mejores conductores de electricidad y calor, solo superado por la plata. Esto lo hace ideal para aplicaciones eléctricas y térmicas (<https://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>)
- **Ductilidad y Maleabilidad:** El cobre es altamente dúctil, lo que significa que puede ser estirado en hilos finos, y maleable, permitiendo que se forme en

láminas delgadas. Estas propiedades son cruciales para la fabricación de cables y componentes eléctricos (<https://concepto.de/cobre/>).

- Resistencia a la Corrosión: Este metal es resistente a la corrosión en ambientes húmedos y salinos, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones industriales y arquitectónicas (<https://www.totalmateria.com/es/propiedades/propiedades-del-cobre/>).
- Dureza: En la escala de Mohs, el cobre tiene una dureza de 3, lo que indica que es un metal relativamente blando, pero su resistencia puede ser mejorada mediante aleaciones (<https://www.totalmateria.com/es/propiedades/propiedades-del-cobre/>).

Propiedades Químicas:

- Estados de Oxidación: El cobre comúnmente presenta estados de oxidación +1 y +2. Estos estados son importantes en diversas reacciones químicas, especialmente en procesos de lixiviación (<https://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>).
- Reactividad: Aunque el cobre es menos reactivo que otros metales, puede reaccionar con ácidos fuertes como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico. La exposición al aire provoca su oxidación, formando capas de óxido que pueden proteger al metal subyacente (<https://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>).
- Antibacteriano: El cobre tiene propiedades antimicrobianas, inhibiendo el crecimiento de bacterias como E. coli, lo que lo hace útil en aplicaciones donde se requiere higiene (<https://www.cuerpamente.com/guia-vitaminas-minerales/cobre>).

Aplicaciones:

Debido a sus características únicas, los minerales de cobre son utilizados en una amplia gama de aplicaciones:

- Electrónica: Se emplea en cables eléctricos, circuitos y componentes electrónicos.
- Construcción: Utilizado en tuberías y techos debido a su resistencia a la corrosión.
- Aleaciones: Forma parte de bronces y latones, mejorando las propiedades mecánicas para usos específicos.

En resumen, las características físicas y químicas del cobre lo convierten en un material versátil y valioso en múltiples industrias. Su capacidad para conducir electricidad y calor, junto con su resistencia a la corrosión y facilidad para ser moldeado, son fundamentales para su uso en tecnología moderna.

2.2.4. Minerales de cobre

Los minerales de cobre son fundamentales en la industria metalúrgica y se caracterizan por diversas propiedades físicas y químicas. A continuación, se presentan los principales tipos de minerales de cobre, sus características y aplicaciones.

Tipos de Minerales de Cobre:

1. Minerales Oxidados:

- Cobre nativo (Cu)**: Es el cobre en su forma elemental, que se encuentra en la naturaleza en estado puro. Tiene un color rojizo y es altamente conductivo.
- Óxido cuproso (Cu_2O): Presenta un color rojo brillante y es menos común. Se utiliza principalmente en la producción de cobre metálico.
- Malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$): Un mineral verde que contiene carbonato de cobre. Es utilizado como piedra ornamental y en la producción de pigmentos.

2. Minerales Sulfurados:

- Calcopirita (CuFeS_2): El mineral más importante para la producción de cobre, con un color dorado y una alta concentración de cobre. Es el principal mineral extraído en las minas.
- Covelita (CuS): Un mineral oscuro que contiene sulfuro de cobre, utilizado en procesos de lixiviación.
- Calcosina (Cu_2S): Un mineral que también contiene sulfuro, caracterizado por su alta ley de cobre.

2.2.5. Ganga del mineral de la calcopirita

La ganga en el mineral de la calcopirita (CuFeS_2) se refiere a los minerales que no tienen valor económico y que acompañan a este mineral en los depósitos. Estos minerales de ganga son importantes porque afectan la recuperación y el procesamiento del cobre durante la extracción.

Principales Minerales de Ganga Asociados a la Calcopirita:

1. Cuarzo (SiO_2):

- Es uno de los minerales de ganga más comunes en depósitos de calcopirita.
- No tiene valor económico, pero su presencia puede influir en los métodos de concentración.

2. Pirita (FeS_2):

- A menudo se encuentra junto a la calcopirita y puede ser un mineral secundario.
- Puede complicar el proceso de flotación debido a su similitud en propiedades físicas.

3. Hematita (Fe_2O_3):

- Un óxido de hierro que puede estar presente en cantidades variables.
- Su interacción con soluciones ácidas durante la lixiviación puede afectar el consumo de ácido sulfúrico.

4. Limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$):

- También un mineral de hierro, que puede influir en la química del proceso de lixiviación.

5. Carbonatos:

- Minerales como la calcita (CaCO_3) pueden estar presentes y afectar el pH del proceso de lixiviación.
- Importancia de la Ganga
- Impacto en la Recuperación: La ganga puede disminuir la ley del mineral, haciendo que sea más difícil y costoso extraer el cobre.
- Procesos Metalúrgicos: Durante la concentración, los minerales de ganga deben ser separados eficientemente para maximizar el rendimiento del cobre.
- Consumo de Reactivos: La presencia de ciertos minerales en la ganga, como hematita y limonita, puede aumentar el consumo de ácido sulfúrico durante la lixiviación, afectando así la economía del proceso.

(<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG17-157.pdf>)

Dicho en otras palabras, aunque los minerales de ganga no tienen valor económico directo, su composición y cantidad pueden influir significativamente en los procesos metalúrgicos utilizados para extraer el cobre de la calcopirita.

2.2.6. Importancia de la química de soluciones, la termodinámica y la cinética en hidrometalurgia

La hidrometalurgia es un proceso clave en la extracción de metales, especialmente el cobre, y su éxito depende de la interacción de la química de soluciones, la termodinámica y la cinética. A continuación, se detalla la importancia de cada uno de estos aspectos.

Química de Soluciones:

La química de soluciones es fundamental en hidrometalurgia porque determina cómo los metales se disuelven y se transportan en soluciones acuosas. Algunos puntos clave incluyen:

- Agentes Lixiviantes: La elección del agente lixiviante (como el ácido sulfúrico para minerales oxidados) influye en la eficiencia de la disolución del metal. La concentración del lixiviante afecta directamente la velocidad y el grado de extracción del cobre
(<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>).
- Diagramas de Pourbaix: Estos diagramas ayudan a entender las condiciones bajo las cuales los metales permanecen en solución o precipitan, lo que es crucial para optimizar el proceso de lixiviación
(<https://www.revistageomimet.mx/2021/08/cinetica-de-lixiviacion-de-cobre-en-un-mineral-mixto-de-baja-ley/>).
- pH y Potencial Redox: Mantener un pH adecuado y un potencial redox favorable es esencial para maximizar la solubilidad del cobre y minimizar la formación de compuestos no deseados (<https://www.revistageomimet.mx/2021/08/cinetica-de-lixiviacion-de-cobre-en-un-mineral-mixto-de-baja-ley/>)

Termodinámica:

La termodinámica proporciona una base para comprender las energías involucradas en las reacciones químicas durante el proceso hidrometalúrgico:

- Equilibrio Químico: La termodinámica permite predecir si una reacción será espontánea bajo ciertas condiciones. Esto es crucial para determinar si el proceso de lixiviación puede llevarse a cabo eficientemente (<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>)
- Efecto de la Temperatura: La temperatura afecta las constantes de equilibrio y, por ende, la solubilidad de los metales. Un aumento en la temperatura puede incrementar la velocidad de reacción, aunque también puede afectar negativamente algunas reacciones. (<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>)
- Energía Libre: La variación de energía libre (ΔG) ayuda a evaluar la viabilidad termodinámica de los procesos involucrados en la lixiviación y precipitación (<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>)

Cinética:

La cinética se refiere a la velocidad a la que ocurren las reacciones químicas y es crucial para el diseño y optimización de procesos hidrometalúrgicos:

- Velocidad de Lixiviación: Comprender los mecanismos que controlan la velocidad a la que se disuelven los metales permite ajustar las condiciones del proceso para mejorar la eficiencia. Factores como el tamaño de partícula, concentración del lixivante y temperatura son determinantes (<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>).
- Control por Difusión: En muchas reacciones, especialmente aquellas que involucran sólidos, el control por difusión puede ser un factor limitante. Esto

implica que el movimiento de reactivos hacia el mineral o productos hacia fuera del mineral puede restringir la velocidad global del proceso (<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>).

- Modelos Cinéticos: El uso de modelos cinéticos permite predecir cómo variaciones en las condiciones operativas (como concentración de ácido o temperatura) afectarán la recuperación del metal. (<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>)

Es decir, la integración efectiva de la química de soluciones, termodinámica y cinética es esencial para optimizar los procesos hidrometalúrgicos. Comprender cómo interactúan estos factores permite mejorar la eficiencia en la extracción de metales como el cobre, reducir costos operativos y maximizar la recuperación del metal deseado. Esto es vital en un contexto donde los recursos minerales son cada vez más escasos y costosos de procesar.

2.2.7. Elementos de cinética química aplicables en hidrometalurgia:

La cinética química es un aspecto crucial en la hidrometalurgia, ya que determina la velocidad y eficiencia de los procesos de extracción de metales a partir de minerales. A continuación, se presentan los elementos clave de la cinética química aplicables en este campo.

1. Velocidad de Reacción:

La velocidad a la que ocurren las reacciones químicas es fundamental para el diseño de procesos hidrometalúrgicos. Esta velocidad puede ser influenciada por varios factores:

- Concentración de Reactivos: Un aumento en la concentración del agente lixivante, como el ácido sulfúrico, generalmente incrementa la velocidad de

lixiviación del cobre. Esto se debe a que hay más moléculas disponibles para reaccionar con el mineral

(<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>).

- Temperatura: Aumentar la temperatura puede acelerar las reacciones al proporcionar más energía a las moléculas, facilitando así el proceso de disolución (https://minas.medellin.unal.edu.co/images/Centro-Editorial/Hidrometalurgia_aplicada.pdf).
- Tamaño de Partícula: La reducción del tamaño de las partículas del mineral aumenta el área superficial expuesta al lixivante, lo que mejora la velocidad de reacción (<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>).

2. Mecanismos de Reacción

Entender los mecanismos que controlan las reacciones es esencial para optimizar los procesos. En hidrometalurgia, las reacciones pueden ser:

- Heterogéneas: Involucran interacciones entre fases sólidas y líquidas, como en la lixiviación de minerales donde el sólido (mineral) se disuelve en una solución acuosa (https://minas.medellin.unal.edu.co/images/Centro-Editorial/Hidrometalurgia_aplicada.pdf).
- Homogéneas: Ocurren en una sola fase, como en reacciones donde todos los reactivos están disueltos en solución.

3. Ley de Acción de Masas

La ley de acción de masas establece que la velocidad de una reacción química es proporcional a las concentraciones de los reactivos. Este principio es vital para modelar y predecir el comportamiento del sistema durante la lixiviación.

4. Control Cinético

Las reacciones pueden estar controladas por diferentes mecanismos:

- Control Químico: La velocidad está determinada por la reacción química misma.
- Control por Difusión: La velocidad puede estar limitada por la difusión del reactivo hacia el mineral o del producto hacia fuera del mineral. Este aspecto es crítico en sistemas donde se forma una capa pasivante sobre el mineral que impide una reacción más rápida

(<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>)

5. Modelos Cinéticos

El uso de modelos cinéticos permite predecir cómo variaciones en las condiciones operativas afectan la recuperación del metal. Algunos modelos comunes incluyen:

- Modelo del Núcleo Sin Reaccionar: Utilizado para describir la disolución de partículas sólidas donde el núcleo permanece sin reaccionar hasta que se disuelve completamente.
- Modelos Diferenciales e Integrales: Se utilizan para analizar datos experimentales y determinar parámetros cinéticos como orden y constante de reacción.

(<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>)

Se puede decir que la cinética química es esencial para optimizar los procesos hidrometalúrgicos, permitiendo mejorar la recuperación y eficiencia en la extracción de metales como el cobre. Comprender cómo interactúan los factores que afectan la velocidad y mecanismo de reacción ayuda a diseñar procesos más efectivos y económicos en la industria metalúrgica.

2.2.8. Factores influyentes sobre la cinética

La cinética química es fundamental para entender y optimizar las reacciones en diversos procesos, incluida la hidrometalurgia. A continuación, se presentan los principales factores influyentes sobre la cinética de las reacciones químicas, extraídos de los resultados de búsqueda.

1. Temperatura

La temperatura tiene un impacto significativo en la velocidad de reacción. Un aumento en la temperatura generalmente incrementa la energía cinética de las moléculas, lo que resulta en:

- Mayor frecuencia de colisiones: Las moléculas se mueven más rápido, aumentando el número de interacciones.
- Aumento en la fracción de colisiones exitosas: Más moléculas alcanzan o superan la energía de activación necesaria para que ocurra una reacción. Por ejemplo, un incremento de 10 °C puede duplicar la velocidad de muchas reacciones químicas.

(https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34940/1/TEMA_3.pdf)

2. Concentración de Reactivos

La concentración de los reactivos también afecta la velocidad de reacción. A mayor concentración:

- Mayor frecuencia de colisiones: Hay más partículas disponibles en un volumen dado, lo que aumenta las posibilidades de que colisionen y reaccionen (https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34940/1/TEMA_3.pdf).
- Esto es especialmente relevante en soluciones líquidas y gases, donde un aumento en la concentración puede provocar reacciones más rápidas.

3. Presión

La presión afecta principalmente a los sistemas gaseosos. Un aumento en la presión:

- Incrementa la energía cinética: Las moléculas se comprimen, lo que aumenta su movimiento y, por ende, la velocidad de reacción. (https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/54394/mod_resource/content/1/cineticaqui/transparencias-de-los-temas/transparencias_tema_09.pdf)
- En sistemas donde los reactantes son sólidos o líquidos, el efecto de la presión es mínimo.

4. Área Superficial

El estado físico y el área superficial del reactante son cruciales:

- Mayor área superficial: En el caso de sólidos, una mayor área expuesta al medio reaccional (por ejemplo, al ser triturados) permite más colisiones y una reacción más rápida. (https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/54394/mod_resource/content/1/cineticaqui/transparencias-de-los-temas/transparencias_tema_09.pdf).
- Esto es particularmente importante en procesos como la lixiviación, donde el mineral debe estar adecuadamente dividido para maximizar su contacto con el lixivante.

5. Naturaleza de los Reactantes

Las propiedades intrínsecas de los reactantes influyen en su reactividad:

- Estructura molecular: Reactantes con enlaces más débiles o estructuras que favorecen interacciones rápidas tienden a reaccionar más rápidamente.
- Estado físico: Las reacciones en fase gaseosa o disuelta suelen ser más rápidas que aquellas que involucran sólidos debido a la mayor movilidad de las partículas [4][5].

6. Catalizadores

Los catalizadores son sustancias que aumentan la velocidad de reacción sin ser consumidas:

- Disminuyen la energía de activación: Permiten que más moléculas alcancen la energía necesaria para reaccionar, aumentando así la velocidad (https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/54394/mod_resource/content/1/cineticaqui/transparencias-de-los-temas/transparencias_tema_09.pdf).
- Los catalizadores pueden ser homogéneos (en la misma fase que los reactivos) o heterogéneos (en una fase diferente), y son específicos para cada tipo de reacción.

Es como se manifiesta que estos factores son interdependientes y pueden influir significativamente en la cinética de las reacciones químicas. Comprender cómo afectan cada uno a las velocidades de reacción es esencial para optimizar procesos industriales, incluyendo aquellos utilizados en hidrometalurgia para mejorar la extracción eficiente de metales como el cobre.

2.2.9. Modelo cinético del núcleo sin reaccionar

El modelo de núcleo sin reaccionar (también conocido como modelo de núcleo decreciente) es un concepto fundamental en la cinética de reacciones sólido-fluido,

especialmente en procesos no catalíticos. Este modelo describe cómo las reacciones químicas ocurren en partículas sólidas que están expuestas a un fluido reactante, y se basa en la idea de que, durante la reacción, un núcleo de material permanece sin reaccionar mientras que la parte exterior se convierte en productos.

Principios del Modelo

Estructura del Proceso

1. **Reacción en la Superficie:** La reacción comienza en la superficie exterior de la partícula sólida. A medida que el reactivo (por ejemplo, un gas) penetra, se produce una conversión parcial del sólido en productos.
2. **Núcleo Sin Reaccionar:** A medida que avanza la reacción, se forma una capa de productos (cenizas) alrededor del núcleo sin reaccionar. Este núcleo se va reduciendo en tamaño a medida que más material se convierte en productos.
3. **Etapas del Proceso:**
 - **Difusión Externa:** El reactivo debe difundir desde el fluido hasta la superficie de la partícula.
 - **Difusión Interna:** Una vez en la superficie, el reactivo debe penetrar a través de la capa de cenizas hasta llegar al núcleo.
 - **Reacción Química:** La reacción tiene lugar en la superficie interna del núcleo.
 - **Difusión de Productos:** Los productos formados deben difundir hacia afuera a través de la capa de cenizas y luego hacia el fluido.

Ecuaciones Cinéticas

El modelo puede describirse mediante ecuaciones que relacionan el tiempo, el tamaño del núcleo y la concentración del reactivo. Por ejemplo, para partículas esféricas

de tamaño constante, se pueden derivar ecuaciones que permiten calcular el radio del núcleo sin reaccionar (R) en función del tiempo y la conversión:

$$R(t) = R_o (1 - \alpha)$$

Donde R_o es radio inicial y α es la fracción de conversión

Aplicaciones

Este modelo es aplicable a diversas reacciones industriales donde las partículas sólidas deben ser convertidas por contacto con un fluido. Es especialmente útil en:

- Hidrometalurgia: En procesos como la lixiviación de minerales, donde los sólidos deben reaccionar con soluciones acuosas.
- Tratamiento de Residuos: En procesos donde los sólidos contaminantes deben ser tratados mediante reacciones químicas.

Limitaciones

Aunque el modelo es ampliamente utilizado, tiene algunas limitaciones:

- Simplicidad: Asume que todas las reacciones ocurren en una interfaz clara entre el sólido y el fluido, lo cual puede no ser cierto en sistemas más complejos.
- No Aplicable a Catalizadores: Este modelo no es adecuado para sistemas donde los catalizadores están presentes, ya que estos suelen reaccionar a lo largo de todo su volumen.

Podemos decir que el modelo de núcleo sin reaccionar proporciona una representación útil para entender y predecir el comportamiento cinético de reacciones sólido-fluido. Su aplicación permite optimizar procesos industriales al identificar los factores que limitan la velocidad de reacción y al diseñar estrategias para mejorar la eficiencia en la conversión de materiales sólidos.

2.3. Definición de términos básicos

Extracción: La extracción de minerales es el proceso mediante el cual se separan los minerales de la corteza terrestre para ser procesados y utilizados

Disolución: La **disolución** en el contexto de la minería y el tratamiento de minerales es un proceso químico en el cual un mineral sólido se convierte en iones o moléculas disueltas en un solvente, generalmente agua.

Preparación del mineral: El mineral se tritura y se pulveriza para aumentar su superficie de contacto.

Adición del solvente: Se aplica el solvente (agua, ácido, cianuro, etc.) que disuelve el mineral deseado.

Recolección de la solución: La solución resultante, llamada "solución rica", contiene el mineral disuelto.

Recuperación del mineral: Mediante diversos procesos (precipitación, electro obtención, etc.), el mineral disuelto se recupera de la solución.

Mineral de Plata: La disolución del **mineral de plata** es un proceso clave en la extracción de este metal, y se realiza principalmente mediante técnicas de **lixiviación**

Mineral de Oro: La disolución del **mineral de oro** es fundamental en los procesos de extracción de este metal, y la **lixiviación con cianuro** es el método más extendido a nivel industrial

Sulfuro de Cobre: El **sulfuro de cobre** es una fuente importante para la extracción de cobre metálico. Los minerales sulfurados, como la **calcopirita** (CuFeS_2), la **bornita** (Cu_5FeS_4) y la **covelina** (CuS), son algunos de los más comunes y relevantes en la industria minera

Tecnología de Lixiviación: La **tecnología de lixiviación** es un conjunto de procesos hidrometalúrgicos que permiten extraer metales a partir de sus minerales

mediante la disolución selectiva en un solvente, generalmente soluciones ácidas o básicas.

Lixiviación en botella: La **lixiviación en botella** es una técnica de laboratorio utilizada para simular los procesos de lixiviación a pequeña escala y evaluar la viabilidad de extraer metales a partir de minerales mediante el uso de reactivos específicos.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si desarrollamos la extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre entonces habremos aplicado la tecnología de Lixiviación en botella.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. El lavado de pulpa de mineral del sulfuro de cobre influye de manera insignificativa la extracción de plata y oro.
- b. El lavado de sulfuro de cobre no influye de manera significativa de plata y oro (lixiviación en botellas).

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable Dependiente

Aplicación de la tecnología de la botella

2.5.2. Variable Independiente

Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Aplicación de la tecnología de la botella	Tecnología usada en la lixiviación de minerales	Proceso de lixiviación de partículas finas en minerales no visibles	Toneladas por día	Toneladas
Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre	Obtención de la solución de Plata y oro por medio de la lixiviación	Proceso de disolución de mineral de interés (Plata y Oro)	Toneladas de extracción	Porcentaje

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Realizando experimentos en el laboratorio se construye nuestros conocimientos; es así, que volviendo a hacer lo que otros ya hicieron, con equipos del laboratorio, con los conceptos teóricos recibidos en la universidad y con una bibliografía adecuada. Con ello se realiza acciones prácticas, trabajos de laboratorio, o consultando a los expertos. En ese sentido, Ruiz et al. (2010) propone una mayor participación de los estudiantes en los proyectos de investigación y en las prácticas de laboratorio. Ellos plantean resultados como excelente cuando desarrollan proyectos. Estos proyectos están en el tipo de investigación **Experimental**.

3.2. Nivel de investigación

Nivel básico experimental

3.3. Métodos de investigación

La investigación se aprende investigando, así lo plantea la pedagogía activa y lo manifiesta Dewey (2010) en ¿cómo estamos pensando? si realizamos investigación estamos construyendo un nuevo conocimiento, y si resolvemos problemas nos hacemos

expertos, si desarrollamos proyectos somos proyectistas, para hacer realidad estos recursos es aconsejable la salida al campo, trabajo en laboratorios, análisis de resultados, todo ello nos conlleva a un método de investigación llamada **Aplicada, cuantitativa.**

3.4. Diseño de investigación

La tesis a desarrollarse presenta un Diseño de investigación explicativa: donde el pensamiento del investigador es clave, ya que depende de su formación profesional o personal sobre la extracción de Plata y Oro del mineral de sulfuro de cobre mediante la tecnología de lixiviación en botella. Otorgando una explicación sobre la variable independiente que nos ayudará a una buena extracción de Plata y Oro del sulfuro de cobre mediante la tecnología de la lixiviación en botella que es la variable dependiente, dando a conocer sobre ¿cómo? y ¿por qué? se relacionan con las preguntas de investigación. (Diseño de investigación. Elementos y características (questionpro.com)).

3.5. Población y muestra

Población

La población que se menciona está relacionada a las reservas probadas y probables que pertenece a la empresa minera Volcan en su unidad Cerro SAC.

Muestra

Morles nos dice que la muestra en principio es una de las partes que representa al todo y como tal, esta refleja a la característica que definen a la población del que fue obtenido, entonces es representativa. Por lo tanto, la validez depende de la obtención y del tamaño de la muestra. Por lo dicho, la elección y tamaño de la muestra es un factor que determina el resultado que se obtiene de la investigación. (Morles, 1994. P.54).

Para nuestra investigación, la muestra ha sido obtenida por la técnica del muestreo por conveniencia luego fue seleccionada como compósito del total del mineral que fue recolectada después de un trabajo de campo, para el compósito practicaremos la técnica del muestreo, la separación del mineral con el separador de Jones, pesaje del mineral.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La actividad realizada a nivel de laboratorio es llamada experimental es una técnica en el proceso de la investigación, el cual aporta conocimiento práctico que se sustenta en la teoría que es aportado por el investigador, teniendo habilidad y destreza en el desarrollo experimental, hay muchos argumentos a favor de la experimentación en laboratorio en cuanto al valor de su resultado que es real, y de esa manera demostrar el objetivo planteado que tiene relación entre el conocimiento conceptual y procedimental, por tanto, los estudios está relacionado con el método científico que integra el razonamiento, pensamiento creativo y crítico, la actitud en la apertura mental, objetividad y desconfianza en los juicios de valor que carecen las evidencias necesarias (Hodson, 2000 p 88). En la verificación de la eficacia de la tecnología de la lixiviación en botella es necesario el trabajo experimental a nivel piloto para luego ser evaluado y realizar el escalamiento a nivel industrial, en que los datos son recolectados a nivel de laboratorio utilizando equipos y maquinarias que se están instalados en el laboratorio químico-metalúrgico de la Unidad Administradora de Cerro SAC.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En el tipo de técnicas de procesamiento y análisis de datos se debe tener en cuenta el resultado que se desea obtener, tener la capacidad de análisis e interpretación de los datos obtenidos a nivel de laboratorio, en el cual se tienen valores típicos que es analizada inductiva y deductivamente, respondiendo a los objetivos propuestos de

acuerdo a la variable independiente y dependiente, como requerimiento relativo al tipo de respuesta, la condición de dato analizado es cuestión determinante y que depende de los ensayos hechos en laboratorio adecuadamente, caso contrario se tendrá que volver a realizar el trabajo en laboratorio hasta conseguir una respuesta a la hipótesis planteada. (Wellington, 2000 p 120)

3.8. Tratamiento estadístico

Para el análisis de los datos, se aplicará la estadística descriptiva, dando a conocer los datos en tablas, facilitando la ordenación y comparación de datos obtenidos, esto nos permite saber los parámetros de la muestra en la que se trabaja. Es necesario la elaboración de cálculos en el proceso de investigación haciendo uso de tablas para el análisis e interpretación del resultado. (Wellington, 2000 p. 148)

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

En la actividad universitaria la investigación es inherente, ya que en ella se fomenta el pensamiento lógico, creativo, ético que promueve la generación de conocimientos, en la que contribuye a la solución del problema en diferentes áreas, dicha actividad es científica influyendo en los principios éticos, valores éticos que guía a la investigación en la universidad, (Informe Belmont ,1979 p 49) tomando conocimiento de ello se respeta a los autores primarios en citas bibliográfica.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La Empresa Administradora Cerro SAC., se encuentra ubicado en el distrito de Simón Bolívar en el centro poblado de Parajsha de la provincia y región Pasco, perteneciente a Volcan Compañía Minera, desde tiempos atrás se han venido acumulando desmontes al contorno de la propiedad de la empresa es ahí donde se llega a muestrear el mineral de calcopirita y pirita para evaluar su comportamiento metalúrgico de minerales sulfuros de calcopirita con contenido de baja ley de plata y oro acumulados en los Stock Piles de calcopirita y pirita realizándose pruebas de lixiviación en botella con un compositor formados por muestras de taladros con contenido de plata de 4 onzas.

4.1.1. Procedencia de muestra

Esta muestra es un compósito formado con muestras de taladros tomadas de los Stock Piles de calcopirita y pirita con contenidos de plata de 4 onzas preparadas por el Área de Geo Metalurgia. El peso total del compósito recibido fue de 100 kg aproximadamente. En el Laboratorio de Óxidos se codificó como PyAgLG.

4.1.2. Preparación de la muestra

El compósito fue triturado en su totalidad hasta un tamaño cien por ciento menor a 10 malla. Luego, se cuarteo hasta obtener varias muestras de 500 g. Se realizó pruebas de moliendabilidad con tres muestras, de 500 g cada uno, para encontrar el tiempo requerido y obtener un tamaño de partícula (P80) de 54 μ m. A estos tamaños de partícula se realizaron las pruebas de lixiviación en botella.

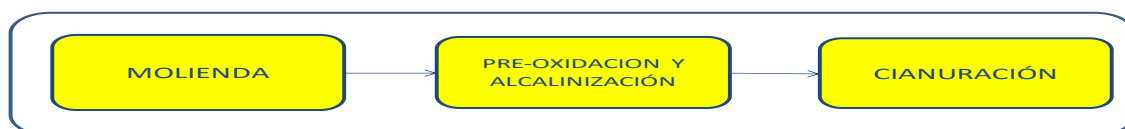
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Pruebas de lixiviación Sin Lavado:

Se realiza la molienda al tiempo calculado para obtener un P80 de 54 micras, luego se prepara la pulpa a porcentaje de sólido de 45%, la muestra fue sometida a un proceso de oxidación alcalina con peróxido de hidrógeno por ocho horas. Se adicionó una cantidad fija de peróxido para todas las pruebas, 9,2 kg/t.

Luego de pre-oxidar la pulpa se adiciona 3600 ppm de cianuro de sodio, en seguida se procede a cianurar hasta 48 horas. Se toman muestras de solución a las 12 h, 24 h, 36h y 48 horas para mediciones de pH, cianuro, y análisis químicos. En cada toma de muestra se repuso el cianuro de sodio gastado para mantener a la concentración de 3600 ppm NaCN equivalente a 1910 ppm de CN-libre. Se realizan pruebas por duplicado, por lo que se ejecutó dos pruebas en botellas con este compósito.

Figura 1. *Etapas de Prueba de Cianuración*



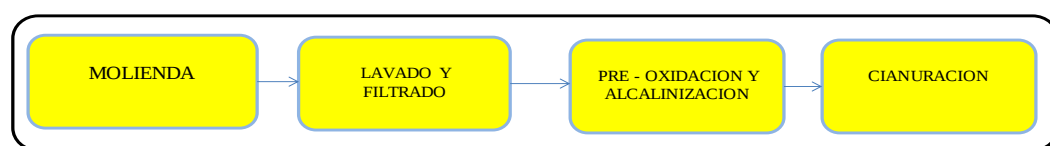
Nota. Este es el esquema de prueba, elaboración propia

4.2.2. Pruebas de Lavado y lixiviación

Se realiza la molienda al tiempo calculado para obtener P80 de 54 micras. La pulpa molida es lavada con 3.0 litros de agua fresca (simulando un espesador), luego

se filtra obteniéndose un keke de 20% de humedad y se repulpa a 45% de sólidos con agua fresca y luego la pulpa es sometida a un proceso de pre oxidación alcalina con peróxido de hidrógeno por ocho horas. Se adicionó una cantidad fija de peróxido para todas las pruebas, 9,2 kg/t. Luego de pre-oxidar la pulpa, se adiciona 3600 ppm de cianuro de sodio, en seguida se procede a cianurar hasta 48 horas. Se toman muestras de solución a las 12 h, 24 h, 36h y 48 horas para mediciones de pH, cianuro, y análisis químicos. En cada toma de muestra se repuso el cianuro de sodio gastado para mantener a la concentración a 3600 ppm de NaCN equivalente a 1910ppm de CN-libre. Se realizan pruebas por duplicado, por lo que se ejecutó dos pruebas en botellas con este compuesto.

Figura 2. *Etapas de Pruebas de Lavado y Cianuración*



Nota. Un esquema de las etapas de la prueba se muestra en la Figura 2, elaboración propia

4.2.3. Condiciones de pruebas.

Las condiciones a las cuales se ejecutaron estas pruebas son las siguientes:

Variables fijas:

Tiempo de Oxidación: 8 horas

Tiempo de Cianuración : 48 horas

pH : 10,5- 11,0

H₂O₂ al 50% : 9,2 kg/t

Porcentaje de sólidos : 45 %.

Concentración de NaCN : 3600 ppm (1910 ppm CN-libre).

Variable de Estudio:

Lavado (P80) : 54µm.

Cinética de Cianuración : 12h, 24h, 36h y 48h

4.2.4. Leyes de cabeza del compósito

Un análisis químico del compósito, realizado en el Laboratorio Analítico de Cerro SAC, indican contenidos de 4,4 oz/t de Plata, 0,70 g/t de Oro, 0,34 % de cobre y 33,67% de Fierro. En la Tabla 1 se muestra detalles adicionales del ensaye.

Tabla 1. *Análisis Químico de Cabeza – PyAgLG*

Au g/t	Ag g/t	Ag oz/t	% Cu	% Pb	% Zn	% Fe
0,70	136,0	4,4	0,22	0,60	0,34	33,64

Nota. Una tabla donde resalta el porcentaje de oro , plomo ,zinc y hierro, elaboración propia

4.3. Prueba de Hipótesis

Al realizarse las pruebas de lixiviación estándar y con y sin lavar la pulpa a 45 por ciento de sólidos, 3600 ppm de NaCN y 48 horas de cianuración se obtuvieron los siguientes resultados. **Todos los resultados mostrados a continuación corresponden al promedio de las pruebas duplicadas.** El detalle individual de cada prueba se muestra en los Anexos I.

4.3.1. Extracción de Plata.

Lavado y Lixiviación:

Al realizar el lavado y filtrado de la pulpa después de la molienda a un P80 de 54micras, se logra mejorar significativamente la extracción en 1,7% con respecto al estándar, alcanzado a 47,9 % de extracción al lixiviar a 45% de sólidos, 3600 ppm de NaCN en 48 horas de cianuración.

Al realizar el lavado de la pulpa se remueve los iones de Fe, Zn que son disueltos por el agua, dejando de esa manera limpio la superficie de la plata, pero no se logra remover o disolver el cobre soluble que sigue siendo interferente en la lixiviación,

consumiendo el cianuro sódico, disolviéndose en 46,9% en soluciones cianuradas. En cuanto a la cinética de disolución de la plata, es estable y se incrementa progresivamente desde las 24 horas de cianuración, que es limitado en mayor parte a las interferencias que se crean o producen, como agentes reductores y cianicidas por efecto del mismo proceso.

Sin Lavado y Lixiviación:

Al realizar la lixiviación sin lavar la pulpa, la extracción de plata alcanzada es de 46,2% en 48 horas de cianuración.

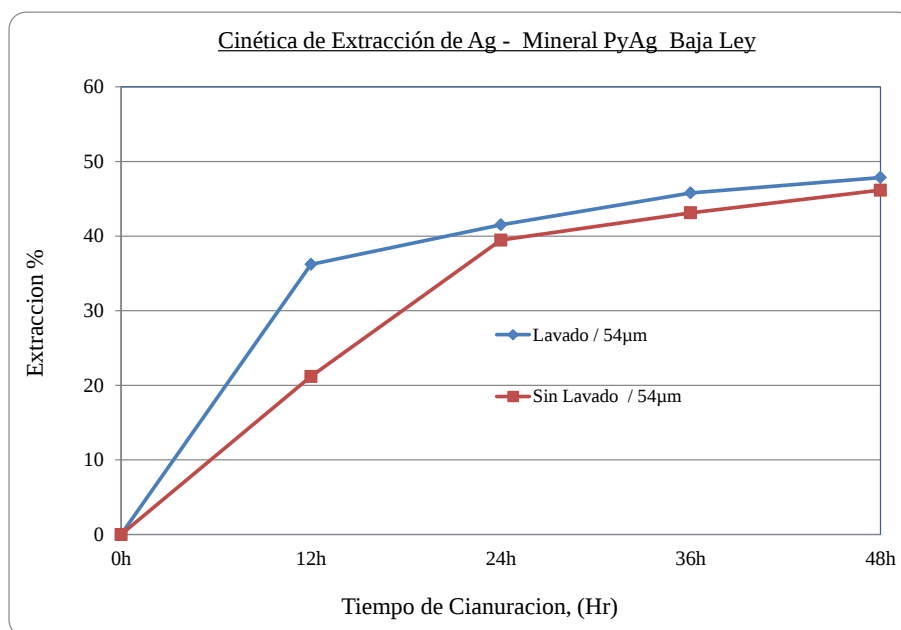
Al no eliminar las interferencias, presentes en el mineral estos reaccionaran con el cianuro sódico y el oxígeno, formando complejos, comúnmente llamado cianicidas; haciendo que la plata no se disuelva, Podemos también afirmar que al estar encapsulado la plata en la matriz de la pirita y al realizar la pre-oxidación alcalina, lo compuestos de hidróxidos de Ca, Fe e iones de hidroxilo producidos, son retenidos o absorbidos sobre la superficie de la pirita, inhibiendo de ese modo la disolución de la plata, haciendo que la cinética de disolución sea lenta e interferida por elementos producidos por el efecto mismo del proceso.

Tabla 2. Cinética de Extracciones de Plata – PyAgLG

Tipo de prueba	BALANCE DE PLATA						
	Cabeza E oz/t	Cabeza C oz/t	Cola oz/t	Ext 12 h %	Ext 24 h %	Ext 36 h %	Ext 48 h %
Lavado / 54 µm	4,4	4,5	2,4	36,2	41,5	45,8	47,9
Sin lavado / 54 µm	4,4	4,5	2,4	21,2	39,5	43,1	46,2

Nota. Una tabla donde te muestra el tipo de prueba con y sin lavado, elaboración propia

Figura 3. Cinética de Extracción de Plata – PyAgLG



Nota. La grafica donde se ve el porcentaje de extracción con el tiempo de cianuración, elaboración propia

4.3.2. Extracción de Oro

Lavado y Lixiviación:

La extracción de Oro alcanzada es de 71,8% al lixiviar con el lavado de la pulpa después de la molienda. En cuanto a la cinética de disolución del oro es lenta, debido a que es afectado por la interferencia de los elementos que están presentes en el mineral, como Zn, Fe y Cu que consumen el cianuro sódico y el oxígeno, haciendo que la cinética se retarde requiriendo más tiempo de cianuración, como podemos apreciar en la tabla 3 y figura 4.

Sin Lavado y Lixiviación:

La extracción alcanzada es de 71% al realizar la lixiviación sin el lavado de la pulpa. En cuanto a la cinética de disolución del oro, es ligeramente estable al lixiviar sin lavar; ya que desde las 36 horas de cianuración sube notablemente alcanzado disolverse 71% en 48 horas de cianuración, que podemos afirmar que al ser interferido

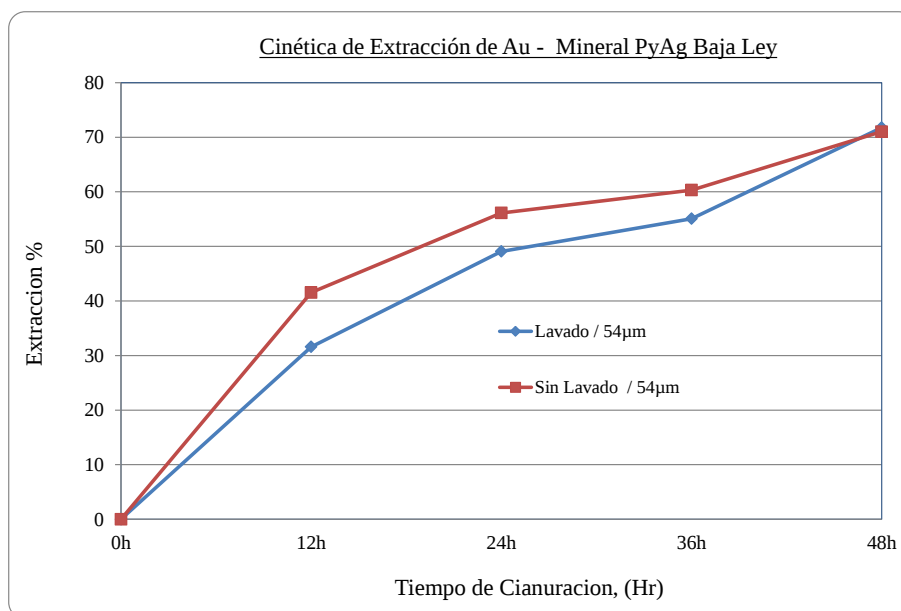
por los cianicidas es retardado su cinética, falta más tiempo de contacto, como podemos apreciar la figura 4. También es afectado por las condiciones mineralógicas que presenta el mineral.

Tabla 3. Cinética de Extracciones de Oro – PyAgLG

BALANCE DE ORO						
Cabeza E oz/t	Cabeza C oz/t	Cola oz/t	Ext 12 h %	Ext 24 h %	Ext 36 h %	Ext 48 h %
0,70	0,76	0,22	31,6	49,1	55,1	71,8
0,70	0,77	0,22	41,6	56,1	60,3	71,0

Nota. La tabla donde se ve el balance de oro en cabeza E, elaboración propia

Figura 4. Cinética de Extracción de Oro – PyAgLG



Nota. La grafica donde se ve el porcentaje de extracción con el tiempo de cianuración para la cinética de extracción de oro, elaboración propia

4.4. Discusión de resultados

4.4.1. Contenido de metales en la Soluciones.

En la tabla 4 se detallan el contenido de metales en la solución final, donde podemos observar, el menor contenido es al realizar el lavado de la pulpa a 54 micras.

Tabla 4. *Contenido de metales en la Solución Final*

Tipo de prueba	Cu mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l
Lavado / 54 μm	888,75	0,29	68,13	0,59
Sin lavado / 54 μm	1090,00	0,12	413,44	5,65

Nota. La tabla que verifica el contenido de metales para una solución final con y sin lavado, elaboración propia

4.4.2. Leyes Finales de Ag, Au y Cu en Soluciones.

La ley de solución rica de Plata es de 49,1 mg/l se obtiene al realizar el lavado y lixiviar con P80 de 54micras.

La ley de solución rica en Oro es de 0,41 mg/l y de cobre es de 888,8 mg/l.

Tabla 5. *Leyes en la Solución – PyAgLG*

Tipo de prueba	Ley de solución, 48 h (mg/l)		
	Ag	Au	Cu
Lavado / 54 μm	49,1	0,41	888,8
Sin lavado / 54 μm	48,0	0,41	1090,0

Nota. La tabla que verifica las leyes de solución elaboración propia

4.4.3. Concentración de NaCN Final

Al realizar el lavado y lixiviación con P80 de 54 micras se obtiene mayor concentración de NaCN remanente en la solución al final de la cianuración.

Tabla 6. *NaCN Final en la Solución – PyAgLG*

Tipo de prueba	FINAL		
	CN ⁻ ppm	NaCN ppm	pH
Lavado / 54 μm	1786	3358	11,56
Sin lavado / 54 μm	1627	3059	11,37

Nota. La tabla que verifica las leyes de solución final PyAgLG. elaboración propia

4.4.4. Leyes de Colas de la Muestra.

La menor ley de cola obtenida en valores de plata es de 2,46 oz/t (74 g/t), es al realizar el lavado y lixiviación con P80 de 54 micras, en cuanto al oro no hay diferencia alguna, como podemos apreciar en la tabla adjunto.

Tabla 7. *Leyes de Colas – PyAgLG*

Tipo de prueba	Au g/t	Ag g/t	Ag Oz/t	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Lavado / 54 µm	0,22	74	2,4	0,14	0,54	0,25	33,08
Sin lavado / 54 µm	0,22	76	2,4	0,10	0,55	0,26	32,15

Nota. La tabla que verifica las leyes de colas. elaboración propia

4.4.5. Consumo de Reactivos.

La mayor extracción de plata y oro alcanzada es al realizar el lavado y lixiviar con p80 de 54 micras por lo que el consumo de cianuro de sodio es 5,6 kg/t y en cal es de 6,7 kg/t.

El consumo de peróxido ha sido constante en todas las pruebas, 9,2 kg/t.

Tabla 8. *Consumo de Reactivos – PyAgLG*

Tipo de prueba	CONSUMO DE REACTIVOS			
	NaCN Kg/t	Cal Kg/t	H₂O₂ Kg/t	O₂ Kg/t
Lavado / 54 µm	5,6	6,7	9,3	2,2
Sin lavado / 54 µm	7,1	27,9	9,2	2,2

Nota. La tabla que verifica los consumos de reactivos – PyAgLG . elaboración propia

CONCLUSIONES

- La máxima extracción de Plata es de 47,9 % y Oro 71,8 % que se alcanza al realizar el lavado y lixiviación con P80 de 54 micras, 45% de sólidos, 3600 ppm de NaCN equivalente a 1910 ppm CN- libre.
- El compósito de PyAgLG alcanza hasta 60 % de disolución de cobre en cianuro, que es una de las causas de las bajas extracciones y cinética lenta de la plata y oro.
- La presencia de elementos interferentes como el Zn, Cu y Fe que no son eliminados en su totalidad por el lavado de la pulpa, son unas de las causas de consumo de cianuro sódico y oxígeno y de las bajas extracciones.
- El consumo de cianuro de sodio es de 5,6 kg/t, cal es de 6,7 kg/t. La cantidad de oxígeno consumido ha sido de 2,2 kg/t. Debido a que el peróxido de hidrogeno es fijo en todas las pruebas.

RECOMENDACIONES

- Al realizar el lavado de la pulpa, no se elimina por completo los elementos interferentes de Fe, Zn, por lo que se recomienda realizar pruebas con diferentes oxidantes, como el aire, oxígeno y nitrato de plomo, donde se debe evaluar a diferentes dosificaciones.
- Las pruebas sin lavado deben de continuarse variando la dosificación de reactivos, pueda ser que se incremente la recuperación de plata y oro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Evans, D. (1968). *Producción de metales por Reducción Gaseosa a partir de Solución-Procesos y Química*. 1st ed.
- London. (2000). *Avances en Metalurgia Extractiva, La Institución de Minería y Metalurgia*, 44 Portland Place, pp.831-840-844.846-850, 888-893.
- Habashi, F. (1999). Hydrometallurgy. 2nd ed. Canada, pp.128,140-141,273.
- Ipinza, A. J. (2005). **"HIDROMETALURGIA I"**. "Informe Anual (2007)". Cámara Minera de México.
- Lynn, N. S. (1997), *Curso de Actualización, TECSUP Lixiviación de Minerales Lima.25*.
- Márquez, O. and Contreras, O. (2011). "Análisis de aplicabilidad de la cementación de metales desde diversos tipos de solución". In: XX Congreso Internacional en Metalurgia Extractiva.
- Ortiz Martínez, A. (2012). *"Lixiviación Ácida de Minerales Oxidados de Cobre (Crisocola) con poca disolución de Fe al utilizar KHSO₄"*. Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, PP. 52-55.
- Ortega Espinoza, O. (2001). *"Obtención de MnO₂ grado batería partiendo de un mineral de baja ley"*. Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, pp.10.
- Ornelas Tabares, J. (1985). *"Desarrollo en el proceso de cementación para Cu y Zn"* III Encuentro sobre concentración de minerales, Instituto de Metalurgia, Universidad de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P. México.
- Van Arsdale, G. (1965). *hidrometalurgia de metales comunes*. 1st ed. México: hispanoamericana, pp.76,329.
- Villar Andrade, A. (2009). *Lixiviación alcalina con Hidróxido de Sodio de un Sulfuro Pb-Zn parcialmente oxidado y recuperación de los valores metálicos por cementación con aluminio*. Licenciatura. UNAM, Facultad de ingeniería.

Vizquierdo, (2004). *Control difusional a través de la capa de ceniza. La ordenada del gráfico corresponde a la concentración del reactante en la fase líquida y al interior de la partícula*; la abscisa corresponde a la posición radial de la partícula esférica.

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Anexo I. Detalle de Prueba de Lixiviación con lavado de la pulpa.

REPORTE DE LABORATORIO HIDROMETALURGICO																												
PROYECTO		SULFUROS (Py - Ag)				DESCRIPCION DE MUESTRA					Mineral de Pirita Plata de baja ley.										DESCRIPCION DE PRUEBA				Evaluar extraccion de Plata			
Cód. Prueba		PIPyAgLG				Tipo de Prueba					Botella					VARIABLE				Lavado								
FECHA INICIO		14-jul-13				NaCN, ppm					3600					Tiempo de Pre - Oxidacion, h				8								
HORA INICIO		01:10 p.m.				NaCN, kg/t					4.40					Tiempo de Lixiviación, h				48								
PESO BOTELLA, g						P80, µm					54					Wf mineral, g				495.72								
PESO MINERAL, g		500.00				pH mineral :										Wf solucion, g				611.10								
PESO SOLUCION, g		611.10				Dilucion (L/S)					1.22																	
PESO TOTAL, g		1111.10				%Sólido					45																	
HORAS DE LIXIV.		CN- [ppm]	pH	REACT. AGREGADO		VOLUMEN DESECHADO [ml]	ORO					PLATA					COBRE					PESO Solucion [g]	VOLUMEN AGREGADO [ml]					
				NaCN [mg]	CAL [mg]		SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL							
0		1910	11.43	2200	3388	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	611.10					
12		286	11.76	1870		25	0.21	0.128	0.005	0.128	34.14	40.50	24.7496	1.0125	24.75	35.36	650.00	397.22	16.25	397.215	30.83	611.10	25					
24		1516	11.62	452		25	0.31	0.189	0.013	0.195	51.79	45.25	27.6523	2.1438	28.66	40.96	653.00	399.05	32.58	415.298	32.23	611.10	25					
36		1643	11.71	305		25	0.33	0.202	0.021	0.215	57.11	48.50	29.6384	3.3563	31.78	45.41	614.00	375.22	47.93	407.790	31.65	611.10	25					
48		1791	11.63				0.41	0.251	0.021	0.272	72.31	49.00	29.9439	3.3563	33.30	47.58	894.50	546.63	47.93	594.554	46.14	611.10	0					
		11.63		4827.2	9.65																							
METALES				Au		Ag		Cu		Cu, %																		
CABEZA ENSAYADA				[ppm]		0.70		136.0		0.22		0.22																
COLA ENSAYADA				[ppm]		0.21		74.0		0.14		0.14																
RECUPERACIÓN ENSAYADA				[%]		70.0		45.6		36.4		36.4																
CABEZA CALCULADA				[ppm]		0.76		141.2		1.20		0.26																
RECUPERACIÓN CALCULADA				[%]		72.3		47.6		100.0		46.1																
METAL EN SOLUCIÓN				[mg]		0.272		33.3		594.6		594.6																
METAL EN COLA				[mg]		0.104		36.7		0.069		694.0																
METAL TOTAL				[mg]		0.376		70.0		594.62		1288.6																
CONCORDANCIA, %						108		104		118																		
Nota: Reporte tomando como datos la última extracción.																												
ASSAYS		Pb, %	Zn, %	Ag, g/t	Ag, oz/t	Au, g/t	Cu, %	Fe, %																				
Head		0.60	0.34	136.00	4.37	0.70	0.22	33.67																				
Tail		0.56	0.25	74.00	2.38	0.21	0.14	33.08																				

Anexo II. Detalle de Prueba de Lixiviación con lavado de la pulpa – Duplicado.

Reporte de Laboratorio Hidrometalurgico																								
Proyecto		Sulfuros (Py - Ag)			DESCRIPCION DE MUESTRA							DESCRIPCION DE PRUEBA							Duplicado de P1					
Cód. Prueba		P2PyAgLG			Tipo de Prueba							VARIABLE												
FECHA		14-jul-13			NaCN, ppm							Tiempo de Pre - Oxidacion, h							8					
HORA INICIO		01:10 p.m.			NaCN, kg/t							Tiempo de Lixiviación, h							48					
PESO BOTELLA, g					P80, µm							Wf mineral, g							495.12					
PESO MINERAL, g		500.00			pH mineral :							Wf solucion, g							611.10					
PESO SOLUCION, g		611.10			Dilucion (L/S)																			
PESO TOTAL_g		1111.10			%Solido																			
HORAS DE LIXIV.	CN- [ppm]	pH	REACT. AGREGAD		VOLUMEN DESECHADO [ml]	ORO					PLATA					COBRE					PESO Solucion [g]	VOLUMEN AGREGADO [ml]		
			NaCN [mg]	CAL [mg]		SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL				
0	1910	11.59	2200	3239	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	611.10			
12	276	11.61	1882		25	0.180	0.110	0.005	0.110	29.04	42.250	25.8190	1.0563	25.82	37.05	614.00	375.22	15.35	375.215	30.49	611.10	25		
24	1526	11.52	440		25	0.280	0.171	0.012	0.176	46.37	46.250	28.2634	2.2125	29.32	42.08	656.50	401.19	31.76	416.537	33.85	611.10	25		
36	1611	11.55	342		25	0.310	0.189	0.019	0.201	53.06	49.000	29.9439	3.4375	32.16	46.15	616.00	376.44	47.16	408.200	33.18	611.10	25		
48	1781	11.22				0.410	0.251	0.019	0.270	71.24	49.250	30.0967	3.4375	33.53	48.13	883.00	539.60	47.16	586.764	47.69	611.10	0		
			11.50	4863.9	9.73																			
METALES			Au		Ag	Cu	Cu, %																	
CABEZA ENSAYADA			[ppm]	0.700	136.0	0.22	0.22																	
COLA ENSAYADA			[ppm]	0.220	73.0	0.13	0.13																	
RECUPERACIÓN ENSAYADA			[%]	68.6	46.3	40.9	40.9																	
CABEZA CALCULADA			[ppm]	0.76	140.7	1.2	0.25																	
RECUPERACIÓN CALCULADA			[%]	71.2	48.1	100.0	47.7																	
METAL EN SOLUCIÓN			[mg]	0.270	33.5	586.8	586.8																	
METAL EN COLA			[mg]	0.109	36.1	0.064	643.7																	
METAL TOTAL			[mg]	0.379	69.7	586.83	1230.4																	
CONCORDANCIA, %				109	103	113																		
Nota: Reporte tomando como datos la última extracción .																								
ASSAYS	Pb, %	Zn, %	Ag, g/t	Ag, oz/t	Au, g/t	Cu, %	Fe, %																	
Head	0.60	0.34	136.00	4.37	0.70	0.22	33.67																	
Tail	0.52	0.25	73.00	2.35	0.22	0.13	33.08																	

CONSUMO DE REACTIVO		
NaCN	5.7	kg/t
CAL	6.5	kg/t
H2O2	9.3	kg/t

Tiempo	Alcalinizacion			Pre - Oxidacion			
	pH	CaO (gr)	Oxidante H ₂ O ₂	O ₂	ORP	Potencial	
(horas)	Inicio	Ajustado	Agreg	g	ppm	mV	mV
0	8.17	11.20	1.62		0.25		
1	11.14			0.5750	0.30		
2	11.25			0.5750	0.40		
3	11.41			0.5750	1.89		
4	11.3			0.5750	2.10		
5	11.03	11.50	1.62	0.5750	2.47		
6	11.48			0.5750	3.09		
7	11.48			0.5750	3.62		
8	11.3			0.5750	3.89		
TOTAL			3.24	4.6000			

Anexo III. Detalle de Prueba de Lixiviación sin lavado de la pulpa.

REPORTE DE LABORATORIO HIDROMETALURGICO																															
PROYECTO		SULFUROS (Py - Ag)			DESCRIPCION DE MUESTRA						DESCRIPCION DE PRUEBA						Evaluar extraccion de Plata														
Cód. Prueba		P3PyAgLG			Tipo de Prueba						VARIABLE						Sin lavado														
FECHA		15-jul-13			NaCN, ppm						Tiempo de Pre - Oxidacion, h						8														
HORA INICIO		05:15 a.m.			NaCN, kg/t						Tiempo de Lixiviación, h						48														
PESO BOTELLA, g					P80, µm						Wf mineral, g						499.27														
PESO MINERAL, g		500.00			pH mineral :						Wf solucion, g						611.10														
PESO SOLUCION, g		611.10			Dilucion (L/S)																										
PESO TOTAL,g		1111.10			%Solido																										
HORAS DE LIXIV.		CN- [ppm]	pH	REACT. AGREGAD		VOLUMEN	ORO					PLATA				COBRE				PESO	VOLUMEN										
				NaCN [mg]	CAL [mg]	DESECHADO [ml]	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	Solucion [g]	AGREGADO [ml]								
0		1910	11.47	2200	14051	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	611.10									
12		223	11.23	1943		25	0.300	0.183	0.008	0.183	47.66	23.500	14.3609	0.5875	14.36	20.66	720.00	439.99	18.00	439.992	35.60	611.10	25								
24		1049	11.47	990		25	0.330	0.202	0.016	0.209	54.38	45.500	27.8051	1.7250	28.39	40.84	814.50	497.74	38.36	515.741	41.73	611.10	25								
36		1643	11.23	306		25	0.340	0.208	0.024	0.224	58.11	47.000	28.7217	2.9000	30.45	43.79	1107.25	676.64	66.04	715.003	57.86	611.10	25								
48		1654	11.20				0.410	0.251	0.024	0.275	71.44	47.750	29.1800	2.9000	32.08	46.14	1097.25	670.53	66.04	736.573	59.60	611.10	0								
11.32 5438.3																															
METALES				Au				Ag				Cu				Cu, %															
CABEZA ENSAYADA				[ppm]				0.700				136.0				0.22				0.22											
COLA ENSAYADA				[ppm]				0.220				75.0				0.10				0.10											
RECUPERACIÓN ENSAYADA				[%]				68.6				44.9				54.5				54.5											
CABEZA CALCULADA				[ppm]				0.77				139.3				1.5				0.25											
RECUPERACIÓN CALCULADA				[%]				71.4				46.1				100.0				59.6											
METAL EN SOLUCIÓN				[mg]				0.275				32.1				736.6				736.6											
METAL EN COLA				[mg]				0.110				37.4				0.050				499.3											
METAL TOTAL				[mg]				0.385				69.5				736.62				1235.8											
CONCORDANCIA, %								110				102				113															
Nota: Reporte tomando como datos la última extracción .																															
ASSAYS	Pb, %	Zn, %	Ag, g/t	Ag, oz/t	Au, g/t	Cu, %	Fe, %																								
Head	0.60	0.34	136.00	4.37	0.70	0.22	33.67																								
Tail	0.59	0.26	75.00	2.41	0.22	0.10	31.26																								

Anexo IV. Detalle de Prueba de Lixiviación sin lavado de la pulpa – Duplicado.

REPORTE DE LABORATORIO HIDROMETALURGICO																										
PROYECTO		SULFUROS (Py - Ag)			DESCRIPCION DE MUESTRA						DESCRIPCION DE PRUEBA						Duplicado de P3									
Cód. Prueba		P4PyAgLG			Tipo de Prueba		Botella		VARIABLE		Sin Lavado		Tiempo de Pre - Oxidacion, h		8		Tiempo de Lixiviación, h		48		TIEMPO DE REMOLIENDA:		9 min. 2seg.			
FECHA		15-jul-13			NaCN, ppm		3600		Wf mineral, g		498.88		CAL EN LA REMOLIENDA, g		12		HORA INICIO		05:15 a.m.			PESO BOTELLA, g		PESO MINERAL, g		
PESO SOLUCION, g		611.10			P80, µm		54		Wf solucion, g		611.10		PESO TOTAL,g		1111.10			pH mineral :		Dilucion (L/S)			1.22		%Solido	
		45																								
HORAS DE LIXIV.	CN- [ppm]	pH	REACT. AGREGAR		VOLUMEN DESECHADO [ml]	ORO					PLATA					COBRE					PESO Solucion [g]	VOLUMEN AGREGADO [ml]				
			NaCN [mg]	CAL [mg]		SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL	SOLUCIÓN [ppm]	SOLUCIÓN [mg]	DES. ACUM. [mg]	TOTAL [mg]	% RECUP ACUMUL						
0	1910	11.43	2200	14081	0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	611.10					
12	212	11.20	1956		25	0.300	0.183	0.008	0.183	47.75	23.750	14.5136	0.5938	14.51	20.63	719.00	439.38	17.98	439.381	35.33	611.10	25				
24	1039	11.50	1002		25	0.320	0.196	0.016	0.203	52.89	45.250	27.6523	1.7250	28.25	40.15	815.50	498.35	38.36	516.327	41.52	611.10	25				
36	1664	11.25	281		25	0.370	0.226	0.025	0.242	62.93	48.750	29.7911	2.9438	31.52	44.80	1118.00	683.21	66.31	721.572	58.03	611.10	25				
48	1654	11.20				0.400	0.244	0.025	0.269	70.11	48.250	29.4856	2.9438	32.43	46.10	1110.00	678.32	66.31	744.634	59.88	611.10	0				
11.32 5438.6																										
METALES			Au		Ag		Cu		Cu, %																	
CABEZA ENSAYADA			[ppm]		0.700		136.0		0.22																	
COLA ENSAYADA			[ppm]		0.230		76.0		0.10																	
RECUPERACIÓN ENSAYADA			[%]		67.1		44.1		54.5																	
CABEZA CALCULADA			[ppm]		0.77		141.0		1.5																	
RECUPERACIÓN CALCULADA			[%]		70.1		46.1		100.0																	
METAL EN SOLUCIÓN			[mg]		0.269		32.4		744.6																	
METAL EN COLA			[mg]		0.115		37.9		0.050																	
METAL TOTAL			[mg]		0.384		70.3		744.68																	
CONCORDANCIA, %			110		104		113																			
Nota: Reporte tomando como datos la última extracción .																										
ASSAYS	Pb, %	Zn, %	Ag, g/t	Ag, oz/t	Au, g/t	Cu, %	Fe, %																			
Head	0.60	0.34	136.00	4.37	0.70	0.22	33.67																			
Tail	0.52	0.23	76.00	2.44	0.23	0.10	33.08																			

CONSUMO DE REACTIVO		
NaCN	7.1	kg/t
CAL	28.2	kg/t
O2	9.2	kg/t

Tiempo (horas)	Alcalinizacion			Pre - Oxidacion			
	pH Inicio	Ajustado	CaO (gr) Agreg	Oxidante H2O2 g	O2 ppm	ORP mV	Potencial mV
0	11.33				0.57		
1	11.25			0.5750	0.51		
2	10.84	11.60	1.04	0.5750	0.58		
3	11.51			0.5750	0.2		
4	11.54			0.5750	0.37		
5	11.2			0.5750	0.31		
6	11.00	11.50	1.04	0.5750	0.29		
7	11.47			0.5750	0.87		
8	11.49			0.5750	0.93		
TOTAL			2.08	4.6000			

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella en la Cía. Mineral Cerro SAC. - Pasco - 2024				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE	MÉTODO
¿Cómo podemos hacer la extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella?	Desarrollar la extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de Lixiviación en botella.	Si desarrollamos la extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre entonces habremos aplicado la tecnología de Lixiviación en botella.	Extracción (disolución) de Plata y Oro del mineral sulfuro de Cobre .	Aplicada - Cuantitativa
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	DEPENDIENTE	TIPO
1. ¿Cuál será el resultado de la <i>lixiviación estándar con lavado de la pulpa</i> del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella? 2. ¿Cuál será el resultado de la <i>lixiviación estándar sin lavado de la pulpa</i> del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella?	1. Analizar el resultado de la <i>lixiviación estándar con lavado de la pulpa</i> del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella. 2. Analizar el resultado de la <i>lixiviación estándar sin lavado de la pulpa</i> del mineral sulfuro de Cobre aplicando la tecnología de lixiviación en botella.	1. Si analizamos el resultado de la <i>lixiviación estándar con lavado de la pulpa</i> del mineral sulfuro de Cobre entonces habremos aplicado la tecnología de lixiviación en botella. 2. Si analizamos el resultado de la <i>lixiviación estándar sin lavado de la pulpa</i> del mineral sulfuro de Cobre entonces se habrá aplicado la tecnología de lixiviación en botella.	Aplicación de la tecnología de la botella	Experimental
				DISEÑO Explicativa