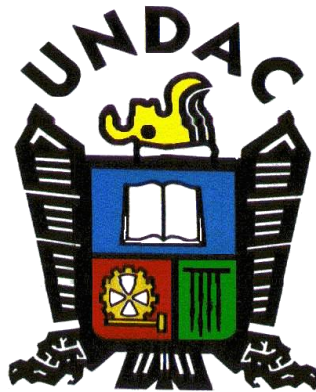


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA
METALURGICA**



TESIS

***EVALUACIÓN DE LA FLOTACIÓN DEL MINERAL DE COBRE PARA REDUCIR EL
CONTENIDO DE ARSENICO EN CONCENTRADOS DE COBRE EN LA COMPAÑÍA
MINERA CASAPALCA - UNIDAD AMERICANA - 2018***

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

BACHILLER LEAN MINER LANDA QUILCA

CERRO DE PASCO – PERÚ

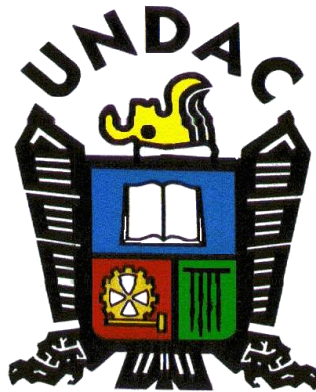
2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALURGICA



TESIS

***EVALUACIÓN DE LA FLOTACIÓN DEL MINERAL DE COBRE PARA REDUCIR EL
CONTENIDO DE ARSENICO EN CONCENTRADOS DE COBRE EN LA COMPAÑÍA
MINERA CASAPALCA - UNIDAD AMERICANA - 2018***

JURADO CALIFICADOR

Mg Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
PRESIDENTE

Mg Cayo PALACIOS ESPÍRITU
MIEMBRO

Mg Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ
MIEMBRO

*A Dios fundamentalmente y a mis adorados
padres por haberme dado el regalo más
preciado al igual que la vida, mi profesión,
por la cual viviré eternamente agradecido.*

RESUMEN

La extracción de minerales de cobre y posterior concentración, es un proceso físico químico más utilizado por muchas empresas en el país; pero la naturaleza ofrece una inmensa gama de minerales que va desde simples a complejos con elementos contaminantes como el arsénico y antimonio como es este caso que ha sido motivo de investigación.

El concentrado obtenido en la empresa, frecuentemente tiene castigos económicos por tener mayores contenidos de arsénico y antimonio que los permitidos reduciendo los ingresos.

Se ha desarrollado pruebas experimentales con concentrados de cobre, con la sinergia de reactivos $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$, variando las revoluciones por minuto de agitación y a diferentes granulometrías, como resultado se tiene que parcialmente los iones arsénico y antimonio son disueltos, mejorando los concentrados; encontrando una alternativa de reducción de estos elementos indeseables si desarrollamos esta operación industrial en la etapa de limpieza final.

Palabras claves: Acondicionamiento, disolución iónica, Grado de recuperación.

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
RESUMEN	II
CONTENIDO	III
INTRODUCCIÓN	IV

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Determinación del problema	1
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Formulación del problema	3
1.3.1	Problema general	3
1.3.2	Problemas específicos	3
1.4	Objetivos	3
1.4.1	Objetivo general	3
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	Justificación del estudio	4
1.6	Importancia y Alcances de la investigación	4
1.7	Limitaciones	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes	6
-----	--------------	---

2.2	Bases Teórico - Científicas	11
2.2.1	Factores que afectan la performance de la flotación	11
2.2.2	Minerales que contienen arsénico	12
2.3	Definición de términos	22
2.4	Hipótesis	22
2.4.1	Hipótesis general	23
2.4.2	Hipótesis específicas	23
2.5	Identificación de variables	23
2.5.1	Variables Dependiente	23
2.5.2	Variables Independientes	23

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo de investigación	25
3.2	Diseño de investigación	25
3.3	Población y muestra	25
3.4	Método de investigación	26
3.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	26
3.6	Técnicas de procesamiento de datos	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Presentación de resultados	30
4.2	Interpretación de resultados	34

4.3	Prueba de hipótesis	36
4.4	Discusión de resultados	36
	CONCLUSIONES	38
	RECOMENDACIONES	39
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	40
	ANEXOS	42

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se realizó pruebas de agitación de los concentrados de cobre con contenidos de arsénico, con el propósito de conocer ¿Cuál es el grado de disolución de estos iones y mejorar la calidad de los concentrados? Una vez alcanzado este objetivo y basado en una aproximación teórico-experimental proponer como alternativa al proceso industrial.

El presente trabajo se encuentra dividido en cuatro capítulos ordenados siguiendo la secuencia de la metodología de la investigación científica otorgada por la Universidad; en el primer capítulo, se formula el problema que se tiene con el concentrado de cobre, es muy interesante porque este problema es de carácter mundial y se está viendo todas las alternativas posibles para su tratamiento, en el segundo capítulo se expone el fundamento teórico, desarrollado por algunos científicos en otras latitudes, que le darán sostenibilidad al problema planteado, en el tercer capítulo, tenemos la organización de la parte experimental, y en el cuarto capítulo resumir los resultados obtenidos, analizándolos y contrastándolos con la revisada.

Son avances de la experimentación, por este motivo no se llega a optimizar las pruebas de laboratorio.

La culminación del presente trabajo, no hubiera sido posible sin la ayuda de los ingenieros de la Compañía Minera Casapalca S.A. y Otros y el laboratorio químico de la empresa, por permitirme correr las pruebas en su laboratorio. A todos ellos mi profundo agradecimiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del problema

Los sulfuros son especies fácilmente flotables ya que tienen propiedades hidrófobas. Sin embargo, esta característica causa que la flotación selectiva entre ellos sea dificultosa. Los principales minerales sulfurados de cobre son calcopirita, calcosina, covelina, bornita, y en menores cantidades, tenantita y enargita. En particular, esta última especie contiene 48,3% Cu y 19,1% As, y es recuperada junto con otros minerales de cobre en el proceso de flotación. La enargita es difícil de remover de los concentrados de cobre por las técnicas convencionales de flotación porque flota fácilmente con xantatos y es resistente a deprimirse usando depresantes estándares.

La presencia de enargita en niveles muy altos en los concentrados finales no es deseable, debido a las penalizaciones en su comercialización por los subsecuentes problemas de contaminación

causadas por los compuestos volátiles de arsénico emitidos desde las fundiciones. Las fundiciones más estrictas están en Japón y Europa, y preferentemente compran concentrados con menos de 2,000 ppm de As.

A causa de lo anterior, la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana está interesada en estudiar la factibilidad técnica de separar selectivamente las especies minerales que contienen arsénico del resto de los sulfuros de cobre, presentes en los concentrados colectivos generados. Esto porque la minera explotará en el futuro el mineral de la zona Oeste, en el cual existen regiones con presencia de arsénico asociado con enargita (Cu_3AsS_4). El problema surge porque se espera que cuando se concentre las zonas ricas en arsénico, se obtenga en promedio aproximadamente 8,000 ppm de As en los concentrados colectivos.

Ante esta situación se estudia el problema de la flotación diferenciada y selectiva de enargita y de otros minerales sulfurados de Cobre. Se realizó el trabajo experimental en laboratorio y el análisis teórico, buscando encontrar una metodología que permita separar vía flotación la mayor parte de la enargita de otros minerales de cobre, generando un concentrado de cobre de bajo arsénico y posiblemente un concentrado de enargita de alto cobre. Este último concentrado podría ser tratado por otros métodos, posiblemente hidrometalúrgicos, tema que está fuera del alcance de este estudio.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 General.

¿Será posible reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre por flotación en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018?

1.2.2 Específicos.

- ¿Cuáles son las variables que influyen en la flotación para reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018?
- ¿Cuál será el proceso de flotación óptimo para separar el contenido de arsénico de los minerales de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018?
- ¿Será posible aplicar el óptimo proceso de flotación experimental a nivel industrial en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – 2018?

1.3 Objetivos

1.3.1 General.

Evaluar por flotación los minerales de cobre para reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.

1.3.2 Específicos.

- Obtener las variables que influyen en la flotación para reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.
- Desarrollar un proceso experimental de flotación óptimo para reducir parcialmente el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.
- Aplicar el proceso de flotación experimental obtenido, a escala industrial en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana - Casapalca - 2018.

1.4 Justificación del problema

Se justifica porque las refinerías en el mundo, solicitan concentrados con menores contenidos de arsénico y antimonio, para evitar la contaminación ambiental y de ofertar concentrados con porcentajes significativos de contaminantes, los castigos económicos son altos que en determinado momento afectarán a los costos de producción hasta niveles de cierre de las operaciones mineras.

1.5 Importancia de la investigación

Es importante realizar el presente proyecto porque permitirá obtener un proceso tecnológico, aplicable para minerales de este yacimiento y los resultados servirá de referencia para futuras investigaciones en la empresa como en yacimientos con similar mineralización.

1.6 Limitaciones

El desarrollo del presente proyecto se limita a los minerales de cobre existente en el yacimiento, a la vez que el desarrollo de la parte experimental se limita a los materiales y equipos existentes en la empresa.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

- *Antecedentes internacionales*

Mendez, E. (2009), en su tesis para optar el título de Magister en Ciencias de la Ingeniería "*Flotación selectiva de enargita de un concentrado final de sulfuros de cobre de Collahuasi*", Universidad de Chile; concluye: Como respuesta al objetivo de este trabajo se puede concluir que es posible generar un procedimiento que permite limpiar de As un concentrado de Cu, entregando un concentrado de Cu de bajo contenido de As vendible y un concentrado con alto Cu y As. Este último concentrado podría ser tratado por otros métodos, posiblemente hidrometalúrgicos, tema que está fuera del alcance de este estudio.

La mayor eficiencia relativa de separación (definida en la Ecuación 19 del Capítulo 5, considerando lo posible de separar) obtenida es de 99%, en la prueba A30, en la cual se modifica el tipo de reactivo de flotación. La recuperación de As es igual a 71,8 %, la recuperación de Cu es 26,3 % y la recuperación en peso es 21,3 %. Esta prueba se realiza a una velocidad superficial de gas (Jg)

igual a 0,45 cm/s, la velocidad de agitación (Ns) es de 3,0 m/s, el porcentaje de sólidos en peso (Cp) es de 17,4% y el pH es 8. Se utilizan 15 g/t del colector AP 3418, 7,5 g/t del colector MX 7016 y 15 g/t del espumante F 501.

Soto, M. (2011), en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil Industrial "*Diseño de una metodología para el apoyo del despacho de concentrado de cobre*", Universidad de Chile, concluye; Se ha formulado un modelo de planificación para la explotación de las celdas de la ISL para que la concentración depositada en la planta SX EW sea estable y cercana a una deseada, teniendo en cuenta la heterogeneidad del recurso minero en cuanto a ley, tonelaje, costo de producción y ubicación espacial relativa. Para ello se ha planteado un modelo y una metodología de resolución que, en base a un enfoque numérico, sugiere como aproximar el valor óptimo del problema en estudio. La metodología es flexible a aspectos como las características del yacimiento y de la planta.

Sin embargo, se debe cuidar que la dimensión del problema permita implementarlo y resolverlo mediante un uso razonable de recursos. Existe un trade-off entre la calidad de la aproximación que entrega la metodología y las posibilidades de resolver el problema con una utilización de recursos razonable, ya que entre

más veces se realice la heurística de mejoramiento mejor es la solución.

El programa realizado, en base al modelo y su metodología de resolución, es lo suficientemente amigable para el usuario, y permite realizar una programación anual para una parte del yacimiento completo. También, es altamente flexible a futuros cambios que permitan ampliar sus aplicaciones.

- *Antecedentes nacionales*

Curo, C. (2009), en su tesis "*Control estadístico multivariante en circuito de molienda en la concentradora Cuajone*" para optar el título de Ingeniero Metalúrgico – Universidad Nacional de Ingeniería, concluye; Las primeras pruebas que sirvieron de hipótesis a la tesis se realizaron en los molinos de bolas 1C y 1D de 16.5' x 20'. El incremento obtenido en estas pruebas fue de 93.86 TM en un tiempo de 8h, utilizando para ello los modelos multivalentes PLS de la potencia y el tonelaje.

Para lograr el objetivo de la Hipótesis de la Tesis: Incrementar el tonelaje en la molienda, fue necesario adaptar, integrar y conciliar diversos componentes de la tecnología disponible en la Planta Concentradora Cuajone. El logro del incremento del tonelaje, requirió en principio el desarrollo de un sensor virtual del % malla

+65 como una variable de control de calidad y del % de sólidos en el Overflow. La información recolectada de las variables de operación del circuito de molienda clasificación, permitió elaborar modelos multivalentes con el uso de la Aplicación SCAN, los cuales pudieron ser ingresados de dos formas al Sistema PI: mediante los Data Set, en forma manual y mediante el PI ACE, en forma automática.

Cabanillas, H. (2014), en su tesis "*Estudio metalúrgico de lixiviación de concentrados de plomo y cobre con alto contenido de arsénico, antimonio y bismuto*", para optar el título de Ingeniero Metalúrgico – Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, concluye: Tomando como línea base las concentraciones de arsénico y antimonio a disminuir y definidas en los objetivos concretos, los resultados obtenidos en las pruebas metalúrgicas de lixiviación alcalina de concentrados de flotación plomo - plata con el sistema NaOH + Na₂S, en relación a las disoluciones y/o eliminaciones de arsénico y antimonio, estas alcanzaron los objetivos propuestos en las siguientes pruebas metalúrgicas :

Se consiguieron los objetivos de disminuir el % de arsénico total en el concentrado final lixiviado (siendo el porcentaje eliminado arriba del 0.5 %, valor establecido en la línea base de disminución del arsénico). Esto es basándonos en los resultados de las pruebas

metalúrgicas realizadas y específicamente en el grupo de lixiviaciones alcalinas correspondiente a la prueba metalúrgica 1.

Concluimos en este grupo correspondiente a la prueba metalúrgica 1, que la solución de $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$, elimina el contaminante arsénico en los test lix 2 , lix 3, lix 4, lix 5, lix 6, dentro del rango del porcentaje de eliminación del 29.51% al 31.84%, representando un % de disminución del arsénico en el concentrado final lixiviado respecto del % del arsénico total y/o global contenido en el concentrado inicial, siendo esta disminución neta del orden de 0.90% , 0.91%, 0.97%, 0.92% , 0.95% respectivamente, a porcentajes de sólidos evaluados en el rango del 0,5 % al 1,5 % . Similarmente en el caso del antimonio el test lix 3, lix 6 presentaron porcentajes de eliminación del contaminante antimonio del orden del 78.89% al 80.76% representando un % de disminución del antimonio en el concentrado final lixiviado respecto del % del antimonio total y/o global contenido en el concentrado inicial, siendo esta disminución neta del orden de 1.52 % y 1.56 % respectivamente en porcentajes de sólidos evaluados de 0.75 % y 1.50 % respectivamente. Por tanto, en este grupo correspondiente a la prueba metalúrgica 1, los objetivos establecidos en la línea base de eliminación de arsénico test (lix 2, lix 3, lix 4, lix 5, lix 6), y antimonio tests (lix 3, lix 6), fueron conseguidas satisfactoriamente

en los citados tests correspondiente a este grupo denominado prueba metalúrgica 1.

2.2 Bases Teórico – Científicos

2.2.1 Factores que afectan la performance de la flotación.

“La flotación es un proceso de separación físico-químico que utiliza la diferencia en las propiedades de la superficie de los minerales valiosos y los minerales de ganga no deseados” (Wills y Napier-Munn, 2006). Muchos los factores afectan el rendimiento de flotación, que se puede clasificar en tres grupos, incluido los parámetros de operación, las variables de las máquinas y las propiedades del mineral. La operación y la máquina los parámetros están asociados con la naturaleza física y química de la prueba de flotación mientras que el mineral las propiedades están asociadas con las características físicas y químicas del mineral (Figura 2-1).

Cuadro 2.1 Componentes que afectan el rendimiento global de flotación

SISTEMA DE FLOTACIÓN	
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de mineral (sulfuro, óxido, etc.) • Mineralogía (Mineral valioso y ganga) • Tamaño de partícula (F80) • Liberación • Superficie de oxidación
Componentes operacionales	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivos (Colectores, activadores, espumantes, depresantes) • Modificadores de pH • Porcentaje de sólidos

	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Densidad de pulpa • Ratio de alimentación
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Ratio de flujo de aire • Tamaño de burbuja • Diseño de celda • Geometría de impulsores • Tiempo de residencia • Flujo turbulento • Nivel de agua, espesor de espumas

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Minerales que contienen arsénico

El arsénico puede existir en más de 200 minerales incluyendo arseniuros, sulfuros, óxidos elementales arseniatos, arsenitos y sulfosales. Algunos de estos minerales no son comunes en el medio ambiente, pero algunos están ampliamente distribuidos en la corteza terrestre, como la arsenopirita (FeAsS) que es el mineral más abundante de arsénico (Smedley y Kinniburgh, 2002). Los principales minerales de cobre y arsénico a menudo ocurren en diversas cantidades en depósitos de cobre y son: enargita (Cu_3AsS_4) y tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) (Lattanzi et al., 2008).

Enargita (Cu_3AsS_4) se encuentra en vetas hidrotermales formados a temperaturas moderadas (300 - 400°C). A bajas temperatura se formó de enargita a luzonita (Cu_3AsS_4) (Lattanzi et Alabama., 2008). La enargita

reemplaza a la pirita y bornita en pórfidos de cobre (Pérez-Segura y Zendejas-Mendivil, 1991).

La enargita consiste en 48.42 % Cu, 19.02% As (en el estado pentavalente) y 32.56% S y actúa como un semiconductor (Lattanzi et al., 2008). Es un mineral de sulfuro de cobre y arsénico complejo que típicamente contiene valores significativos de oro y plata (Tajadod, 1997). Además, la enargita puede contener cantidades menores de otros elementos como Hg y Sb.

Esta tesis se ha centrado en los parámetros del mineral a través del control de los otros dos componentes. La única otra variable en este estudio es Eh.

La separación de las especies a través del proceso de flotación se produce gracias a la diferencia en las propiedades fisicoquímicas de la superficie de cada una de ellas. La flotación surgió como alternativa del proceso de separación en medios densos, ya que la dificultad para la obtención de fluido con algunas densidades particulares obligó a la utilización de modificadores de superficie, con el fin de mejorar la selectividad del proceso. Estos modificadores permiten convertir selectivamente en hidrófoba la especie mineralógica a separar, de tal forma que ante la presencia de un medio constituido por agua y aire (burbujas), la especie hidrófoba rechace el agua y se adhiera a las

burbujas de aire que ascienden hacia la superficie del líquido (Wills, 1997).

Las fases que intervienen en este proceso son: sólido (partículas finamente molidas), líquido (agua y reactivos) en la que están inmersas las partículas, y gas (aire) que se introduce dentro de la pulpa formando pequeñas burbujas.

Para que ocurra la flotación, las partículas deben ser capaces de adherirse a las burbujas, sólo si logran desplazar el agua de la superficie del mineral, por lo que es necesario que la especie de interés sea, en alguna medida, repelente al agua o hidrófoba. Siempre y cuando el agregado de partículas - burbujas tenga una densidad global inferior a la del medio de separación, éstas podrán viajar hacia la superficie. No obstante, se requiere que la burbuja tenga la resistencia suficiente para llegar a la superficie sin romperse. Una vez que las burbujas alcanzan la superficie, es necesaria la formación de una espuma que mantenga retenida a las partículas, porque de lo contrario las burbujas se reventarán y las partículas flotadas viajarán de nuevo hacia el fondo de la celda de flotación.

La enargita es un sulfuro de cobre y de arsénico, cuya fórmula química es Cu_3AsS_4 , que se presenta a veces en cristales de color gris con una punta rosácea y con brillo casi metálico. La exfoliación es evidente, casi

perfecta en una dirección y el carácter de sus cristales es prismático, a menudo estriado en las caras finales, y, en cualquier caso, muy característico.

Fue descrita por primera vez en 1850 en Perú. Su nombre procede del griego “enarge”, que significa “distinto”, en alusión a su exfoliación.

La enargita es un mineral hidrotermal de temperatura media. En depósitos se encuentra asociado a minerales como cuarzo, bornita, galena, esfalerita, tenantita, calcosina, calcopirita, covelina, pirita y otros sulfuros. Este mineral es muy común y difundido, aunque las muestras bien cristalizadas no son abundantes.

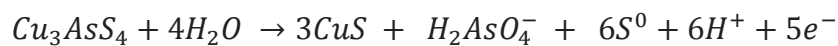
Las alternativas revisadas para separar enargita de otros sulfuros de cobre, donde se produce un concentrado de cobre “limpio” con bajo contenido de arsénico (bajo los límites permisibles), y un concentrado de cobre “sucio” con alto contenido de arsénico se presentan a continuación.

Kantar (2002), estudió la flotabilidad natural de la enargita en diferentes condiciones de pH utilizando peróxido de hidrógeno y sulfuro de sodio para controlar el potencial de la pulpa. Se encontró que la enargita natural; la flotabilidad era fuertemente dependiente del pH de la pulpa. En la región ácida, la enargita muestra natural flotabilidad y fue capaz de flotación sin colector. La adición de peróxido de hidrógeno (agente oxidante) mejoró la recuperación de enargita debido a la

formación de azufre elemental hidrofóbico en la superficie de la enargita. Por el contrario, la flotabilidad de enargita disminuyó lentamente hacia condiciones alcalinas.

Su hidrofobicidad disminuyó con la adición de peróxido de hidrógeno y la flotación sin colector no fue posible debido a la formación de CuO (Kantar, 2002). Estas observaciones están en correlación con los hallazgos de Lattanzi et al. (2008); Sin embargo, Castro y Honores (2000) observó poca flotabilidad de la enargita en un amplio rango de pH e informó que la enargita no tiene flotabilidad natural.

La reacción de oxidación en ambiente ácido fue propuesta (Kantar, 2002):



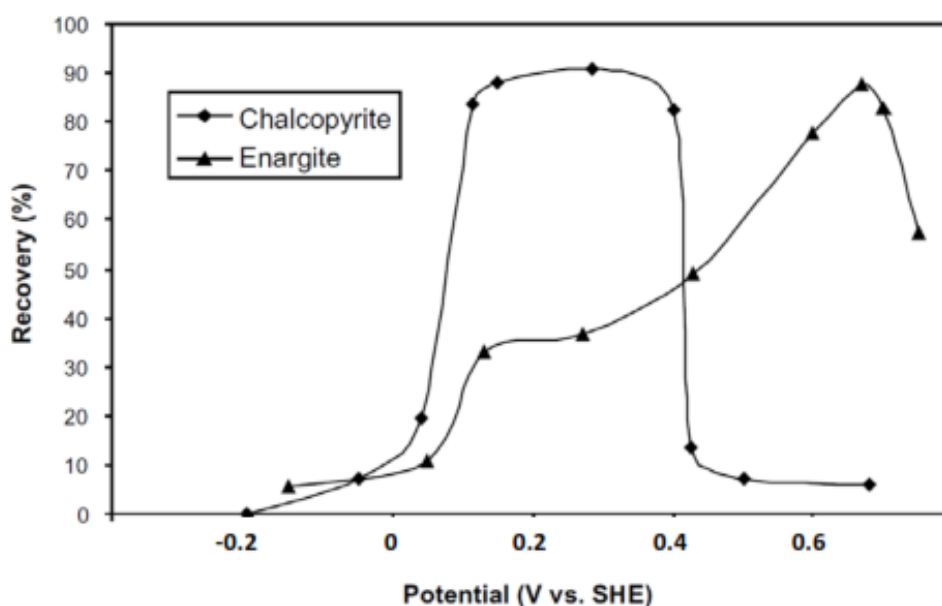
La reacción de oxidación en ambiente alcalino:



Guo y Yen (2005) investigaron la flotación sin colector de enargita y calcopirita en un pH 10 (Figura 2-5). La calcopirita flota fuertemente en el rango Eh de +0.1 V a +0.4 V SHE, mientras que la enargita no mostró flotabilidad a un potencial inferior a +0.05 V SHE. Recuperación de flotación enargita aumentada bruscamente cuando el potencial de pulpa se elevó de +0.05 a 0.1 V SHE. Su recuperación luego aumentó gradualmente ya que el potencial de pulpa se incrementó de +0.1 V a

+0.7 V SHE y disminuyó cuando el potencial de pulpa fue elevado a +0.7 V SHE. La baja flotabilidad sin colector de la enargita a un potencial bajo de 0.5 V SHE se debió a la falta de S^0 en la superficie de la enargita (Guo y Yen, 2005).

Gráfico 2.5. Flotación de calcopirita y enargita a diferentes condiciones de pH



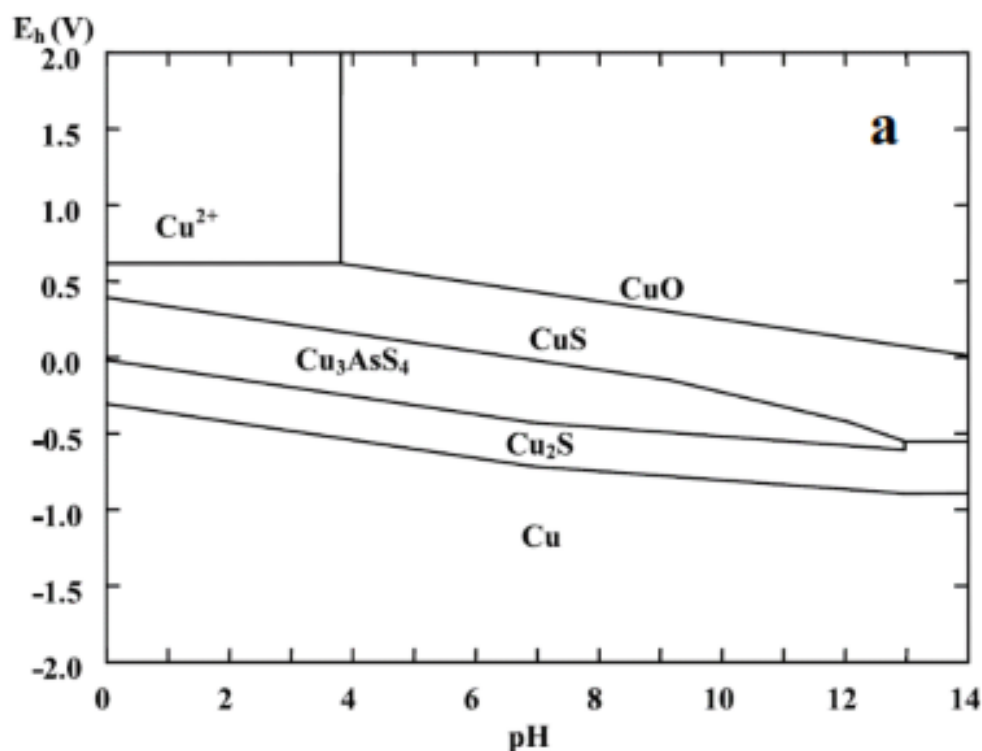
Fuente: Guo y Yen (2005)

Bruckard et Alabama (2007), investigó la flotabilidad natural del arsénico metálico. Una mezcla de arsénico metálico se usó para la prueba, cual estaba conducido a pH natural y pH 6 para un período de 8 minutos con polipropileno glicol vaporizador. Se observa al arsénico con una flotabilidad no significativa (Bruckard et Alabama., 2007).

El diagrama de Eh-pH para la enargita se puede dividir en tres partes, sistema de cobre / agua, sistema arsénico / agua y sistema de azufre /

agua (Gráfico 2-6). El diagrama de Eh-pH del sistema de cobre / agua sugiere que la enargita primero se transforma a CuS y luego el CuS se oxida a CuO en condiciones alcalinas y Cu en condiciones ácidas bajo una solución altamente oxidante.

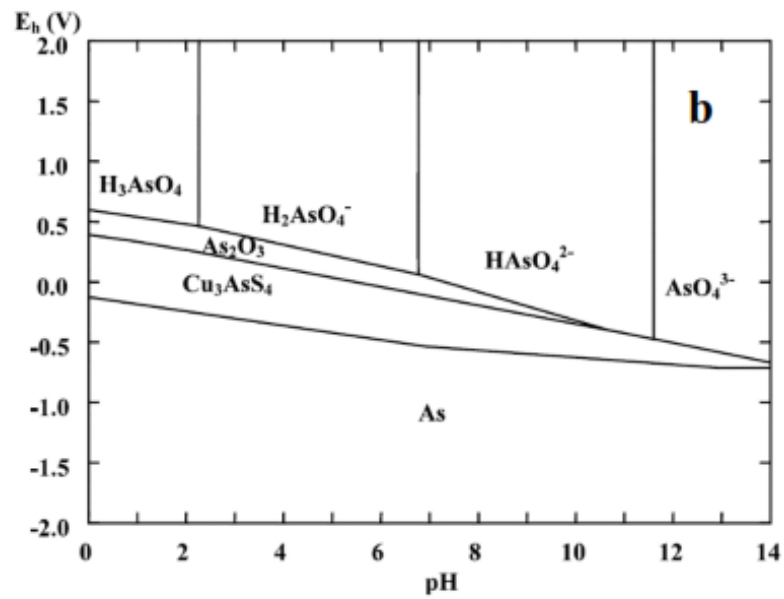
Gráfico 2.6. Diagrama Eh – pH para el sistema cobre – agua



Fuente: Kantar (2002).

En el gráfico 2-7, que muestra especies de arsénico en el sistema de arsénico / agua, HAsO_4^{-2} se vuelve dominante en condiciones neutras y alcalinas, y H_2AsO_4 y AsO_4^{-2} domina en condiciones ácidas, encontrándose en condiciones solubles aptas para su remoción, por cierto en estado denso.

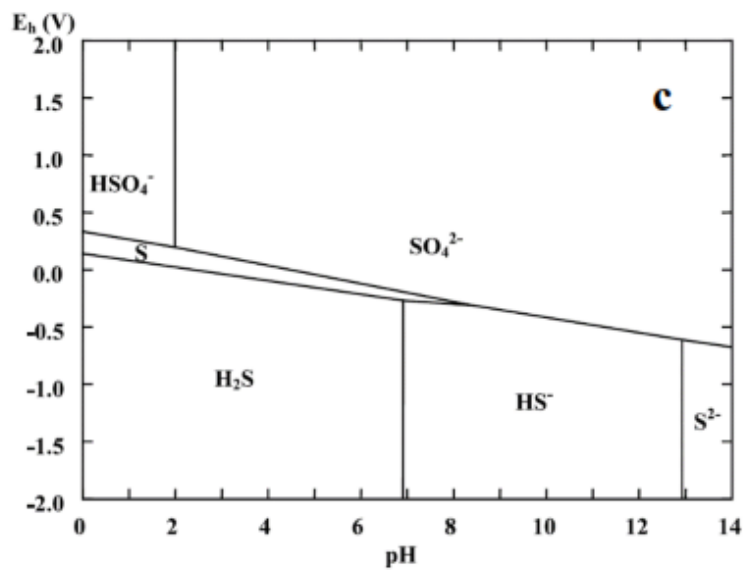
Gráfico 2.7. Diagrama Eh – pH para el sistema arsénico - agua



Fuente: Kantar (2002).

En cuanto a otros minerales sulfurosos, la enargita se oxida a azufre elemental en todos los rangos de pH (gráfico 2-8).

Gráfico 2.8. Diagrama Eh – pH para el sistema sulfuro - agua



Fuente: Kantar (2002).

Sin embargo, se convierte fácilmente en SO_4^{-2} debido a la inestabilidad del azufre elemental en condiciones alcalino (Kantar, 2002).

- **Control del potencial**

La mayor parte de la bibliografía encontrada acerca de la flotación selectiva de enargita se basa en el control del potencial. Notar que aumentos de pH tienden a reducir el potencial y viceversa.

Huch (1993) patentó un proceso a partir de un concentrado de enargita calcosina; se logra separar la enargita ajustando el potencial y el pH de la pulpa.

Usando peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y ajustando el potencial entre 50 y 200 mV vs. SHE, la enargita flota. La cantidad de oxidante óptima debe ser la más baja que permita la separación deseada de enargita y calcosina. El pH se ajusta, en un valor no especificado, y se agregan el espumante (MIBC) y los colectores (xantatos). La enargita se recibe en el primer concentrado. Luego, se vuelve a ajustar el pH de tal forma que la calcosina flota. Aparentemente, el ajuste de potencial es crítico en la flotación de enargita, mientras que el ajuste de pH lo es para la flotación de calcosina.

Menacho et al. (1993), utilizando electrodos de trabajo de enargita, calcopirita y pirita, demostraron que la enargita puede ser flotada selectivamente desde concentrados calcopiríticos a través del control del potencial de la pulpa. Se pre-trataron las muestras con agentes oxidantes para luego flotarlas en una solución de agente colector en presencia de

aire. Los resultados indicaron que la flotabilidad de la enargita disminuye parcialmente cuando se somete a la acción de un agente oxidante pero, la flotabilidad de la calcopirita se hace casi nula.

Hernández (2003) encontró que la enargita mantiene su buena flotabilidad después del pre-tratamiento oxidante, debido a la posible formación de azufre elemental en su superficie, pero la pierde completamente después del pre-tratamiento reductor.

- **Uso de reactivos**

Tajadod y Yen (1997) investigaron la posible separación selectiva de enargita y calcopirita, utilizando los depresantes NaCN y KMnO_4 .

El efecto del cianuro de sodio y permanganato de potasio en la pre-adsorción de xantato a pH 9. Se concluye que la densidad de adsorción de xantato en estas condiciones en la superficie del mineral está en el orden enargita sintética < enargita natural < calcopirita.

Yen y Tajadod (2000) presentan otro método en el cual se deprime la enargita y flota la calcopirita. Se utiliza un depresante selectivo de enargita, que es una mezcla de magnesio amonio, el cual fue preparado mezclando 0,5 M de cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$), 2,0 M de cloruro de amonio (NH_4Cl) y 1,5 M de hidróxido de amonio (NH_4OH). Este depresante inhibe la adsorción de xantato en la superficie de la enargita.

En la superficie de la enargita se forma AsO_4^{3-} , el cual tiene gran afinidad con el magnesio, formando el complejo hidrófilo $\text{AsO}_4\text{NH}_4\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Este complejo bloquea la adsorción de xantato en la superficie de la enargita.

Muñoz (1998) evaluó la hipótesis de depresar enargita selectivamente de los concentrados finales de cobre, mediante la formación específica del complejo $\text{MgNH}_4\text{AsO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sobre la superficie de la enargita. Se desarrollaron pruebas de flotación de ciclo abierto para probar la efectividad del complejo depresante. La evaluación del complejo depresante se hizo a nivel de segunda etapa de limpieza y sólo se consiguió un efecto depresante menor, bajando la recuperación de arsénico alrededor de un 87% a pH 10.

2.3 Definición de términos

Lixiviación: Proceso metalúrgico que consiste en disolver el mineral a recuperar por reactivos químicos

Flotación: Proceso por el cual se separa los sulfuros de los otros minerales.

Enargita: Mineral complejo de cobre que tiene en su estructura arsénico.

2.4 Hipótesis

Por las características mineralógicas de formación de la enargita; si desarrollamos el proceso de oxidación del arsénico, previo a la flotación; obtendremos concentrados de cobre con porcentajes permisibles de arsénico.

2.4.1 Hipótesis general

Por las características mineralógicas de la enargita; si desarrollamos el proceso de oxidación del arsénico, previo a la flotación; obtendremos concentrados de cobre con porcentajes permisibles de arsénico en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.

2.4.2 Hipótesis específicas

- Si realizamos el estudio teórico de la génesis y comportamiento de la enargita entonces tendremos una apreciación de su comportamiento en el proceso de flotación en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.
- Si desarrollamos pruebas experimentales entonces obtendremos una prueba estándar que permita concentrar la enargita en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.
- Si implementamos la prueba experimental estándar en la planta concentradora entonces tendremos resultados reales del proceso de flotación a seguir en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.

2.5 Identificación de variables

2.5.1 Variable Dependiente:

Evaluación de la recuperación de cobre

2.5.2 Variables Independientes:

Remoción de arsénico

Dimensiones:

- Dosificación de reactivos
- Revoluciones por minuto de agitación
- Granulometría

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicado

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación seguido es EXPERIMENTAL.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La Concesión minera comprende las muestras que se obtendrán de los 6 frentes a explotar con contenidos de enargita.

3.3.2 Muestra

Para determinar la muestra representativa se procedió a realizar el muestreo aleatorio simple, donde cada muestra tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de n/N .

Para calcular el número de muestras a obtener se procede de los siguientes valores:

n	=	Tamaño de la muestra	=	
z	=	Nivel de confianza (95%)	=	1,96
p	=	Proporción (50%)	=	50
q	=	Proporción (50%)	=	50

N = Tamaño de la población = 60

e = Error máximo permitido (3%) = 3

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + z^2 p * q} \quad (1)$$

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 50 * 50 * 60}{3^2(600 - 1) + (1.96)^2 * 50 * 50} = 23,5$$

3.4 Método de investigación

El método de investigación desarrollado es el APLICADO

3.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se realizaron las siguientes etapas para el acondicionamiento del concentrado de cobre:

3.5.1 Preparación del concentrado (cabeza)

La muestra representativa del concentrado obtenido de diferentes días y zonas del almacén de concentrados, fue homogenizado en sucesivas etapas de cono y cuarteado para obtener una muestra representativa ideal deseado para desarrollar el acondicionamiento previo a una segunda flotación.

3.5.2 Preparación de las pruebas de remoción de arsénico

Basado a los antecedentes de otros trabajos de desarsenización de minerales de cobre, se desarrollaron las siguientes pruebas experimentales del siguiente modo:

a) Efecto de la concentración de la solución:

Tabla 3.1. Proporción de reactivos para preparar la solución

Prueba	NaOH (Mol/litro)	Na ₂ S (mol/litro)
1	3,5	1,0
2	3,0	0,5
3	2,0	1,0
4	1,0	1,0
5	1,5	0,5

Fuente: Elaboración propia

b) Efecto de la velocidad de agitación

Tabla 3.2. Variación de la velocidad de agitación versus tiempo

Prueba	Revoluciones Por minuto	Tiempo (minutos)
1	100	20
2	200	20
3	400	20
4	500	20

Fuente: Elaboración propia

c) Efecto del tamaño de partícula

Tabla 3.3. Influencia del tamaño de partícula en la disolución del arsénico

Prueba	Tamaño De partícula (micrones)	Tiempo
1	100	20
2	74	20
3	37	20

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Control de pruebas de desarsenización

Las pruebas de desarsenización en celdas de acondicionamiento fueron controladas en base al registro de los principales parámetros o variables, tanto en la entrada como en la salida, en un formato de recopilación de datos.

3.5.4 Análisis químico de las muestras

Durante la ejecución de las pruebas se tomaron 2 tipos de muestras: sólidas y líquidas; principalmente muestra de cabeza (concentrado), muestra de relave (mineral desarsenizado) y muestra de percolaciones (PLS) para su análisis respectivo.

Las muestras sólidas antes y después del proceso, fueron analizadas por el contenido de cobre total, arsénico y antimonio.

El análisis de las muestras líquidas se realizó por métodos volumétricos (titulación), determinando el contenido de arsénico (As^{+3}) y basicidad.

3.5.5 Análisis mineralógico de las muestras

Se observó con el estereoscopio de la UNI, las muestras antes y después del proceso.

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento de los datos, se dio dos estados; antes de realizar pruebas de desarsenización y después; con los resultados de laboratorio, se procedió al ploteo de puntos para tener una respuesta visual de la incidencia de cada variable en la disolución del arsénico y antimonio, lo cual nos permitirá diseñar la siguiente etapa a los concentrados de cobre.

3.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

El tratamiento estadístico se realizó utilizando el Excel, con la alimentación de datos producto de los análisis químicos del cobre en diferentes etapas y el desarrollo de gráficas para cada prueba de lixiviación, que permite una comprensión práctica y visual.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

Las pruebas desarrolladas arribaron a los siguientes resultados:

- a) El mineral de entrada o cabeza tiene la siguiente composición química en promedio:

Tabla 4.1. Leyes del mineral de cabeza (concentrado)

Cu (%)	Fe (%)	As (%)	Sb (%)	Ag (Oz/TC)
24,6	26,5	3,3	1,7	87,2

Fuente: Elaboración propia

- b) Análisis microscópico:

El análisis microscópico se realizó en el Laboratorio de Microscopía petrográfica de la UNI a cargo del Ingeniero Geólogo Carlos Sandoval Córdova, responsable de geología de la empresa.

Especies mineralógicas

Mineral	Composición química	Mineral	Composición química
Calcopirita	CuFeS_2	Blenda Molibdenita	ZnS
Calcosina	Cu_2S	Pirita Magnetita	MoS_2
Digenita	Cu_9S_5	Limonita Ganga	FeS_2
Covelina	CuS	silícea	Fe_3O_4
	Cu_3AsS_4		$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Enargita	Cu_5FeS_4		
	Cu_3FeS_4		
Bornita	Cu_3AsS_3		
Idaita			
Tenantita			

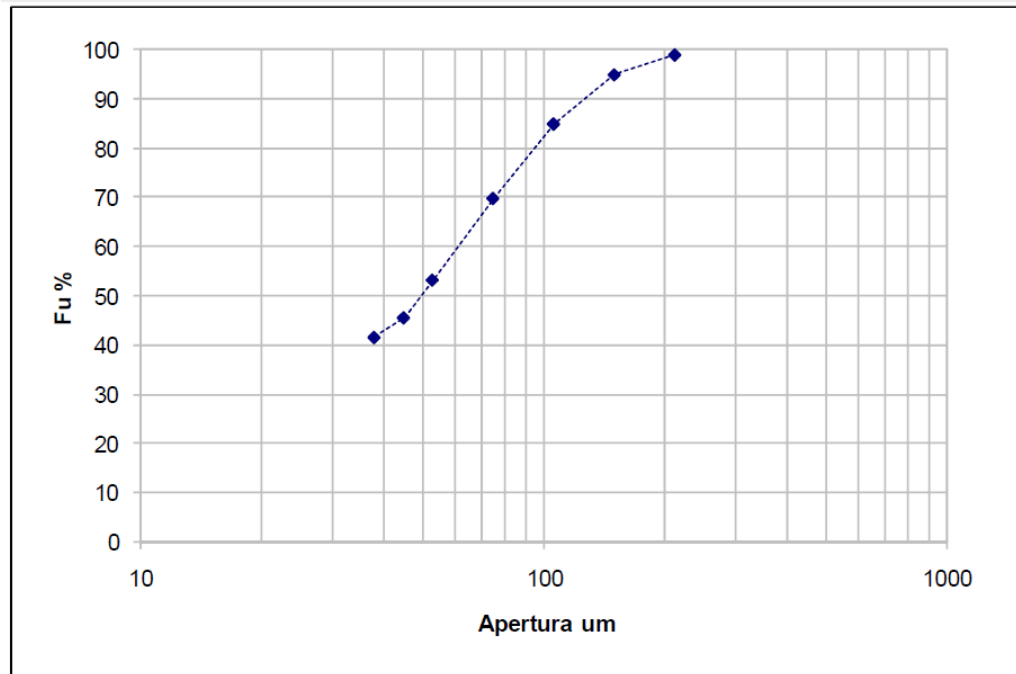
Entre la especie de cobre, más representativa corresponde a la calcopirita (37,90%), en menor proporción se observa covelina, enargita y bornita, y la digenita, calcosina y tenantita se presenta en trazas.

Tabla 4.2. Análisis de mallas al mineral de cabeza (concentrado)

Abertura (micras)	Peso (Gramos)	% Peso	% Passing
417	0.06	0.04	99.96
295	2.28	1.69	98.27
208	18.16	13.45	84.82
	114.5	84.81	0

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.1. Distribución granulométrica del concentrado



Fuente: Elaboración propia

c) Efecto de la disolución de arsénico en la solución

Tabla 4.3. Disolución del arsénico a diversas concentraciones vs tiempo

Pruebas	Porcentaje de disolución de As		
	5 minutos	10 minutos	20 minutos
1	0,3	0,7	1,15
2	0,4	0,8	1,0
3	0,4	0,9	1,5
4	0,2	0,5	0,8
5	0,3	0,6	0,9

Fuente: Elaboración propia

d) Efecto de las revoluciones por minuto en la disolución de arsénico

Tabla 4.4. Disolución del arsénico a diversas revoluciones por minuto

Pruebas	Porcentaje de disolución del arsénico		
	5 minutos	10 minutos	20 minutos
1	0,3	0,6	1,1
2	0,3	0,5	1,0
3	0,6	1,1	1,5
4	0,5	0,9	1,6
5	0,5	1,1	2,0

Fuente: Elaboración propia

e) Efecto del tamaño de partícula en la disolución de arsénico

Tabla 4.5. Disolución del arsénico en función del tamaño de partícula

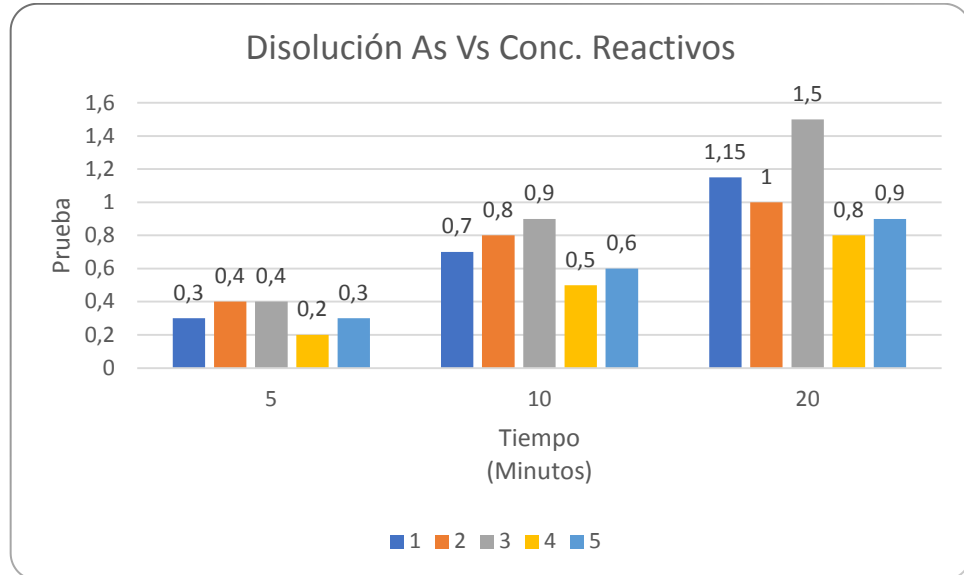
Pruebas	Porcentaje de disolución del arsénico		
	5 minutos	10 minutos	20 minutos
1	0,3	0,7	1,1
2	0,4	0,9	1,5
3	0,6	1,2	2,0

Fuente: Elaboración propia

4.2 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN

a) Efecto de la disolución de arsénico en la solución

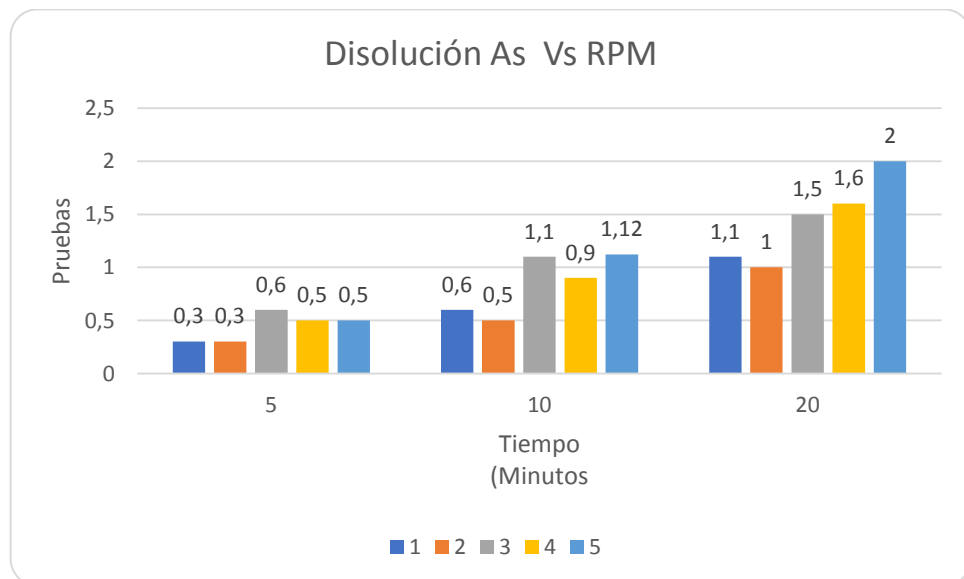
Gráfico 4.2. Disolución del arsénico versus concentración de reactivos



Fuente: Elaboración propia

b) Efecto de las revoluciones por minuto en la disolución de arsénico

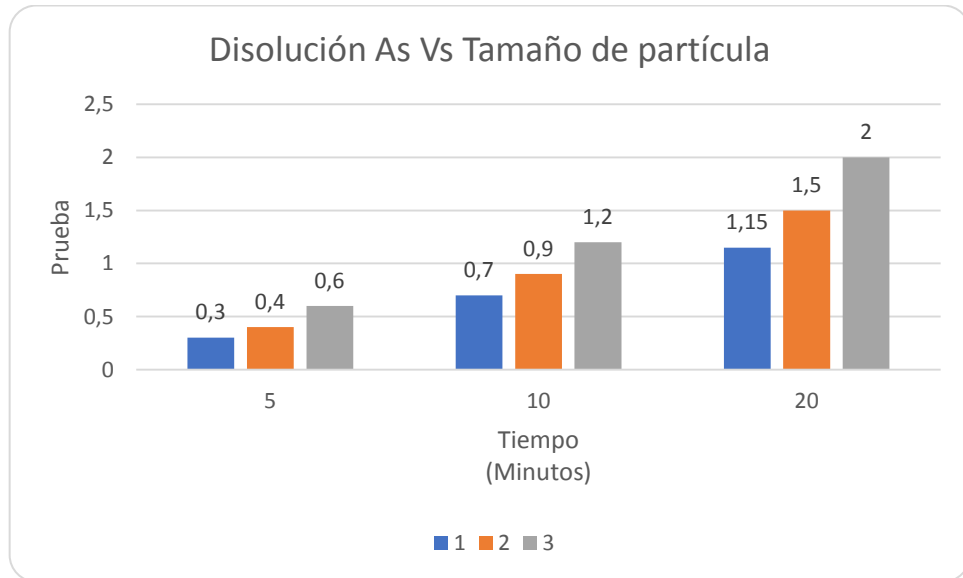
Gráfico 4.3. Efecto de las revoluciones por minuto versus la disolución del arsénico



Fuente: Elaboración propia

c) Efecto del tamaño de partícula en la disolución de arsénico

Gráfico 4.4. Efecto del tamaño de partícula en la disolución del arsénico



Fuente: Elaboración propia

d) Análisis químico promedio después de las pruebas experimentales

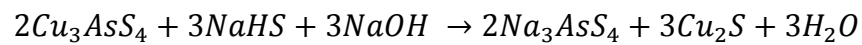
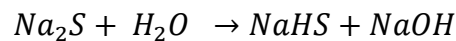
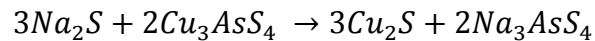
Tabla 4.6. Análisis químico comparado

Mineral	Antes de tratamiento	Después de tratamiento
Cu (%)	24,6	27,2
Fe (%)	26,5	24,3
As (%)	3,3	2,23
Sb (%)	1,7	0,9
Ag (Oz/TC)	87,2	91,3

Fuente: Elaboración propia

4.3 Prueba de hipótesis

- Las pruebas iniciales de oxidación con la sinergia de reactivos NaOH y Na₂S, a un pH básico, demuestran que es posible reducir el porcentaje de arsénico y antimonio en los concentrados de cobre, del siguiente modo:



Confirma los estudios realizados por Curreli (2009), Anderson (2008), Giggenbach (1971), Licht (1988)

- La enargita presente en el yacimiento explotado por la compañía minera Casapalca, tiene arsénico en su estructura cristalina, arsénico como sulfuro simple y arsenopirita, de manera que la disolución se da a partir de los minerales con iones de fácil liberación.

4.4 Discusión de resultados

- La enargita es una sulfosal, fuente de metales preciosos, con alto contenido de arsénico y al procesar los efluentes son cancerígenos.
- Las pruebas experimentales demuestran que la mayor disolución de arsénico se dio con la sinergia de los reactivos en la proporción 2:1 de NaOH: Na₂S.
- A 500 RPM, se obtiene la las alta disolución del arsénico.
- A menor granulometría se obtiene la mayor disolución de arsénico.

- Habiendo desarrollado las pruebas experimentales con concentrados arsenicales de cobre, para implementarlo a nivel industrial, sería introducir un acondicionamiento previo con la solución preestablecida antes de ingresar a la etapa de limpieza final de concentrados.

CONCLUSIONES

- Los concentrados obtenidos en la Compañía Minera Casapalca tienen alto contenido de arsénico que exceden los límites máximos permitidos en la comercialización (3,3% As), lo cual es sujeto constantemente a penalidades económicas.
- En las zonas al interior mina donde se extraen minerales de cobre, como enargita; se encuentran importantes valores de plata, que permiten obtener mayores dividendos al ofertar los concentrados.
- Las pruebas experimentales demuestran que con la sinergia de los reactivos NaOH: Na₂S en la proporción 2: 1, se puede reducir el contenido de arsénico en concentrados de 3,3 % a 1,5%, con 500 RPM de agitación y una granulometría menor a 74 micrones.
- Las pruebas experimentales sugieren que en la etapa de limpieza de concentrados se podría introducir un acondicionador con la solución NaOH y Na₂S, para reducir eliminar parcialmente el contenido de arsénico de los concentrados finales.

RECOMENDACIONES

- Desarrollar pruebas experimentales de comprobación y optimización para introducir en el proceso industrial.
- Desarrollar estudios de tratamiento de las soluciones obtenidas con contenidos de arsénico y antimonio.
- Al momento de alimentar de mineral de mina a la planta concentradora, identificar la composición mineralógica de cada zona, para realizar el blending respectivo y constantemente desarrollar investigaciones de las áreas más relevantes del proceso.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Baltierra, L. (2001). Flotación Selectiva de Enargita desde Calcosita, Calcopirita y Pirita por Oxidación Diferencial y Formación Superficial del Complejo $MgNH_4AsO_4$. *Tesis de Ingeniero Civil Metalúrgico*. Concepción.

Barona, F. (2007). Influencia de la Distribución de Tamaño de Burbújas en la Recuperación de Flotación para Minerales de Cobre. *Tesis de Ingeniero Civil de Minas*. Santiago de Chile.

Castro, S. H. (1997). Arsenic Abatement from Copper Concentrates by Selective Flotation:. *5th Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology*, (págs. 105 - 108). Buenos Aires.

Castro, S. H., & Honores, S. (2000). Surface Properties and Floatability of Enargite Proceedings. *XXI International Mineral Processing Congress*, (págs. 47 - 53). Roma.

Córdova, R., Gómez, H., & Scherebler, R. (1996). An Electrochemical Study of Enargite in Aqueous Solutions by transient techniques. *IV Electrochemistry in Mineral and Metal Processing*, (págs. 356 - 367). Pennington.

Fornasiero, D. F., & Li, C. (2001). Separation of Enargite and Tennantite from Non - Arsenic Copper Sulfide Minerals by Selective Oxidation or Dissolution. *International Journal of Mineral Processing*, (págs. 109 - 119).

Utha.

García, H. (1965). Recuperación por Flotación es una Función Exponencial del Tiempo. *Boletín Minero*, 83 -86.

Hernández, C. (2003). Flotación y Depresión de enargita por Control Redox de sus Propiedades Superficiales. *Tesis Ingeniero Civil Metalúrgico*. Concepción.

Inc., E. I. (1996). *Enciclopedia Multimedia de Minerales*. F&G.

Menacho, J. M., & Aliaga, W. (1993). Selective Flotation of Enargite and Chacopyrite. *Boletín Minero*, (págs. 33 - 39). Santiago de Chile.

Tajadod, J., & Yen, W. (1997). A Comparison of Surface Properties and Flotation Characteristics of Enargite and Chacopyrite. *XX International Mineral Processing Congress*, (págs. 409 - 418). Aachen - Alemania.

Yen, W., & Tahadod, J. (2000). Selective Flotation of Enargite and Chacopyrite Proceedings . *XXI International Mineral Processing Congress*, (págs. 49 - 55). Roma.

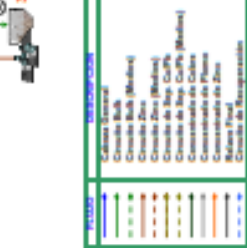
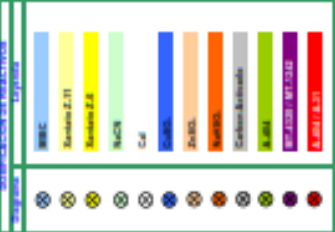
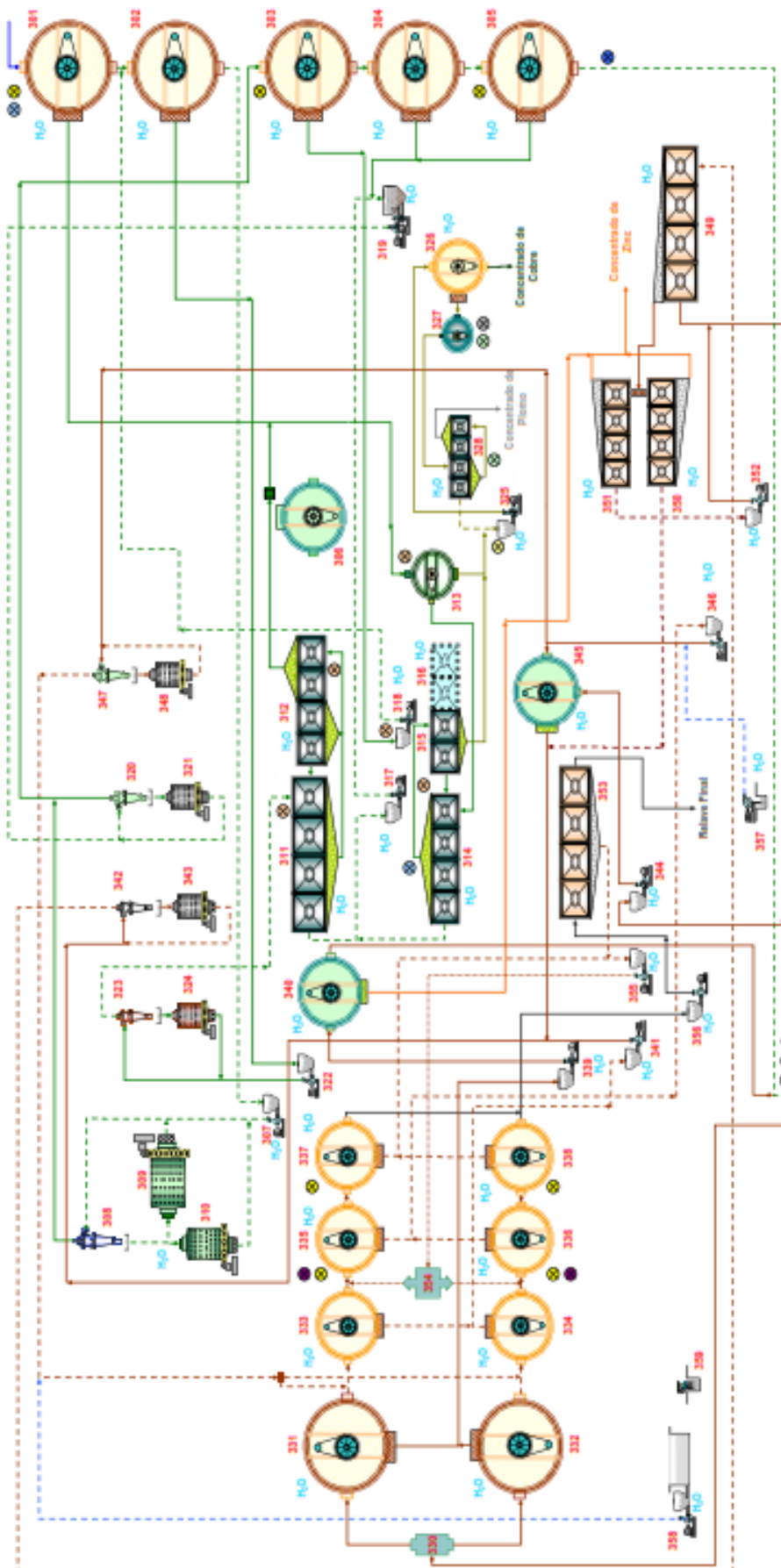
ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DE LA FLOTACIÓN DEL MINERAL DE COBRE PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE ARSENICO EN CONCENTRADOS DE COBRE EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA - UNIDAD AMERICANA - 2018

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General: ¿Será posible reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre por flotación en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018?</p>	<p>General: Evaluar por flotación los minerales de cobre para reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.</p>	<p>General: Por las características mineralógicas de la enargita; si desarrollamos el proceso de oxidación del arsénico, previo a la flotación; obtendremos concentrados de cobre con porcentajes permisibles de arsénico en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.</p>	<p>Dependiente: Flotación de mineral de cobre</p>	<p>Tipo: Aplicado Nivel: Experimental Método: Inductivo - analítico</p>
<p>Específicos: • ¿Cuáles son las variables que influyen en la flotación para reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018? • ¿Cuál será el proceso de flotación óptimo para separar el contenido de arsénico de los minerales de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018? • ¿Será posible aplicar el óptimo proceso de flotación experimental a nivel industrial en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – 2018?.</p>	<p>Específicos: • Obtener las variables que influyen en la flotación para reducir el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018. • Desarrollar un proceso experimental de flotación óptimo para reducir parcialmente el contenido de arsénico en los concentrados de cobre en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018. ○ Aplicar el proceso de flotación experimental obtenido, a escala industrial en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana - Casapalca - 2018.</p>	<p>Específicos: • Si realizamos el estudio teórico de la génesis y comportamiento de la enargita entonces tendremos una apreciación de su comportamiento en el proceso de flotación en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018. • Si desarrollamos pruebas experimentales entonces obtendremos una prueba estándar que permita concentrar la enargita en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018. • Si implementamos la prueba experimental estándar en la planta concentradora entonces tendremos resultados reales del proceso de flotación a seguir en la Compañía Minera Casapalca – Unidad Americana – Casapalca – 2018.</p>	<p>Independiente: Reducción del contenido de arsénico Dimensiones: • NaOH:Na₂S • RPM • Granulometría</p>	<p>Diseño: Experimental</p>

DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA CONCENTRADORA BERNA II - COMPANIA MINERA CASAPALCA



SECCION DE REFINACION

329	329	329
330	330	330
331	331	331
332	332	332
333	333	333
334	334	334
335	335	335
336	336	336
337	337	337
338	338	338
339	339	339

SECCION DE REFINACION

329	329	329
330	330	330
331	331	331
332	332	332
333	333	333
334	334	334
335	335	335
336	336	336
337	337	337
338	338	338
339	339	339

CASAPALCA
LABORATORIO DE INVESTIGACION

PROYECTO:	SECCION DE REFINACION
CLIENTE:	SECCION DE REFINACION
FECHA:	SECCION DE REFINACION
ELABORADO POR:	SECCION DE REFINACION
REVISADO POR:	SECCION DE REFINACION
APROBADO POR:	SECCION DE REFINACION

SECCION DE REFINACION

SECCION DE REFINACION