



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo titulo es:

**INFLUENCIA DE LOS CARBONATOS EN EL CONSUMO DE ÁCIDO SULFÚRICO
DURANTE LA LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE**

presentado por:

**Gianfranco Martín Salas Paniagua
Milagros Del Rosario Mendoza Espino**

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **21.66%** otorgándosele el calificativo de:


APROBADO

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

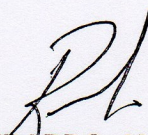
Observaciones:

La TESIS fue APROBADA con un 21.7% de coincidencias.

Ica, 5 de **Noviembre** de 2020



SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO
COORDINADOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
PETROQUIMICA



RAUL GERARDO AVILA MEZA
ASESOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
PETROQUIMICA

**UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



TESIS:

**INFLUENCIA DE LOS CARBONATOS EN EL CONSUMO DE
ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA LIXIVIACIÓN DE
MINERALES OXIDADOS DE COBRE**

PRESENTADO POR:

Bach.: MENDOZA ESPINO, Milagros Del Rosario

Bach.: SALAS PANIAGUA, Gianfranco Martin

ICA-PERÚ

2019

•

INTRODUCCIÓN

Las sales de carbonatos $(\text{CO}_3)^{-2}$ se forman al combinarse el ácido carbónico (H_2CO_3) con un metal o un éster carbónico y un metal. Una o más moléculas de hidrógeno del ácido son sustituidas por el metal base, formando así el compuesto químico. Los aniones del ácido carbónico y los cationes del metal forman el enlace iónico.

Los tres enlaces covalentes del CO en el anión carbonato $(\text{HCO}_3)^{-}$ son análogos y 2/3 comparten la carga negativa a través de enlaces parciales (enlaces simples y dobles). Los aniones carbonatos $(\text{HCO}_3)^{-}$ se organizan en grupos iso-estructurales, correspondientes a los sistemas trigonal y rómbico. Al primero pertenece al grupo de la dolomita y de la calcita; del sistema rómbico, el grupo de la aragonita se puede dividir en carbonatos anhidros e hidratados.

El éster carbónico es un derivado del ácido carbónico y se caracteriza por el grupo funcional $\text{R}_1\text{-O-CO-O-R}_2$. En el enlace dos moléculas de hidrógeno son sustituidas por radicales. Los compuestos de este grupo son denominados carbonatos de (el nombre del radical de alquilo). Entre los más conocidos se encuentran los carbonatos de dimetilo y de etibutilo

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	02
INDICE	03
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	05
1.1. Situación problemática	05
1.2. Formulación del problema.	06
1.3. Objetivos.	06
1.4. Hipótesis.	07
1.5. Variables.	07
1.6. Justificación e importancia.	08
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	09
2.1. Lixiviación.	09
2.2. Carbonatos.	21
2.3. Marco conceptual.	45
CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.	47
3.1. Recolección, preparación y muestreo	47
3.2. Determinación de carbonatos	54
3.3. Lixiviación del mineral.	55
3.4. Análisis del cobre.	59

CAPÍTULO IV: RESULTADOS.	63
4.1. Resultados obtenidos.	63
4.2. Discusión de resultados.	68
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA.	71
ANEXOS	73

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

Los carbonatos $(\text{CO}_3)^{-2}$ se combinan con mucha facilidad con el ácido sulfúrico e incluso con mayor velocidad que los compuestos oxidados de cobre, generando sulfatos como el sulfato de calcio (CaSO_4) , el hecho de que se produzca esta reacción implica de que hay un gasto de ácido y por lo tanto la cantidad del ácido en la solución lixiviante debe de ser aumentada a fin de recuperar todo el cobre presente en el mineral. Por otro lado, la presencia de carbonatos propicia la producción de sulfatos de metales alcalinos y alcalinotérreos, los cuales se mezclan con el sulfato de cobre (CuSO_4) que se obtiene como producto final del proceso, haciendo más difícil la separación del sulfato (CuSO_4) de sus contaminantes. Por esta razón es indispensable hacer un estudio para establecer el comportamiento de los $(\text{CO}_3)^{-2}$ en el mineral que va a ser tratado por lixiviación ácida, como es el asunto del presente proyecto. Además, hay que tener en consideración que durante el tratamiento del mineral con el ácido sulfúrico (H_2SO_4) se

desprenden grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), lo que perjudica al medio ambiente ya que este es un gas de efecto invernadero.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema general.

¿Los carbonatos influyen en el consumo de ácido sulfúrico (H_2SO_4) durante la lixiviación de los minerales oxidados de cobre?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Qué concentración de carbonatos existe en los minerales oxidados de cobre?
- ¿Qué proporción del ácido sulfúrico (H_2SO_4) es consumido por los carbonatos que están en el mineral oxidado de cobre?

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

1.3.1. Objetivo General.

Establecer el predominio de los carbonatos en el consumo de ácido sulfúrico (H_2SO_4) durante la lixiviación de minerales de cobre.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Establecer la concentración de carbonatos que existe en los minerales oxidados de cobre.

- Determinar la proporción del ácido sulfúrico (H_2SO_4)

es consumido por los carbonatos que están en el mineral oxidado de cobre.

1.4. HIPÓTESIS.

1.4.1 Hipótesis general.

Los carbonatos influyen directa y significativamente en el consumo de ácido sulfúrico (H_2SO_4) durante la lixiviación de los minerales oxidados de cobre.

1.4.2. Hipótesis específicas.

- Existe una alta concentración de carbonatos en los minerales oxidados de cobre.
- Una alta proporción del ácido sulfúrico (H_2SO_4) es consumido por los carbonatos que están en el mineral oxidado de cobre.

1.5. VARIABLES.

1.5.1. Variable Independiente:

- Predominio de los carbonatos

1.5.2. Variable Dependiente.

- Consumo de ácido sulfúrico.

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

El presente estudio de investigación permitirá determinar las particularidades de la reacción del ácido sulfúrico (H_2SO_4) con los carbonatos de metales alcalinos y alcalinos terrosos grupos IA y IIA de la T.P. de los elementos químicos, los mismos que generalmente se encuentran en el mineral y por tanto hay que considerarlos en el mecanismo de lixiviación. Estos carbonatos actúan de manera enérgica, viabilizando la presencia de sulfatos de metales extraños a los que se quiere obtener y produciendo un gran volumen de gases de efectos invernadero que afectan el medio ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. LIXIVIACIÓN

2.1.1 Definición.

La lixiviación es una rama de la metalurgia extractiva que reside, en la recuperación de los metales valiosos como el oro, plata, cobre, zinc, etc, de los minerales primarios y secundarios por el método reacciones químicas de disolución efectuadas a condiciones normales ambientales por medio soluciones ácidas.

2.1.2. Métodos de lixiviación

En la metalurgia se practican varias técnicas para diferenciar la fase sólida con la solución acuosa en un espacio definido. La selección del método de lixiviación depende de:

- Características físicas y químicas del mineral.
- Características mineralógicas.
- Riqueza del mineral.
- Disolución del metal útil en la fase acuosa.
- La cinética del disolvente.
- Dimensión del tratamiento.
- Experiencia de operación.

En la hidrometalurgia del (Cu) y del uranio (U), se requiere diferentes conocimientos de la disgregación sólido-líquido:

- a) Lixiviación in-situ.
- b) Lixiviación formando pilas con la parte valiosa.
- c) Lixiviación utilizando botaderos
- d) Lixiviación en bateas.
- e) Lixiviación en reactores por agitación.
- f) Lixiviación en reactor a presión.

Otros métodos más generalizados:

1. Aplicando la Lixiviación:
 - Minerales con alta ley.
 - Menas con baja ley.
2. Lixiviación de concentrados:
 - Concentrados producidos por flotación.
 - Colas del proceso.
 - Calcinas.
 - Lodos Anódicos.

2.1.3. Reactivos aplicados en la extracción líquido-sólido.

Los Reactivos aplicados para lixiviar deben ser módicos y fáciles de regenerarse e idóneos de disolver rápidamente los metales deseables, pero no la ganga. Los reactivos más aplicados en la lixiviación incluyen a las soluciones ácidas, alcalinas y algunas

sales, el reactivo (H_2SO_4) es más utilizado universalmente, por su eficacia como disolvente, fácil de obtener, de bajo precio; es fácil de manipular y su pérdida es mínima.

En la transformación de los minerales se requiere reactivos oxidantes. Los más utilizados son el oxígeno y los cationes férricos. Las disoluciones alcalinas como él (NH_4OH) más oxígeno con carbonato de amonio son los utilizados para lixiviar minerales de Cu^0 , así como minerales carbonatados como la azurita y la malaquita.

La importancia de utilizar disoluciones alcalinas en la disociación sólido-líquido de minerales carbonatados como la calcita o la dolomita, radica en el entorno alcalino, que no ataca a la fracción no valiosa. Cuando el cobre se lixivía utilizando una disolución alcalina reduciéndola con amoníaco, el Cu se sedimenta como (CuO) y mediante el calentamiento se logra evaporar al amoníaco y el dióxido de carbono (CO_2) de la solución, recuperándose estos gases.

2.1.4. Técnica empleada para lixiviar a los minerales de Cu^0

El cobre (Cu) se une rápidamente con el H_2SO_4 . Los minerales de Cu^0 habituales de lixiviar son los sulfatos especialmente la calcantita, sulfatos básicos la anclerita y la brocantita, enseguida están los carbonatos como la azurita, tenorita,

atacamita y la malaquita. La cuprita requiere de un elemento oxidante para diluirse completamente.

Otro ejemplo lo constituye la crisocola es el oxidado más abundante, tiene una cinética de reacción relativamente lenta y como producto de su lixiviación se obtiene sílice coloidal. Esta sílice provoca serias dificultades en la técnica SX.

Los minerales de Cu^0 no son solubles en el ácido H_2SO_4 diluido es primordial que exista un ingrediente oxidante en la dilución. Las reacciones en la extracción sólido-líquido con ácidos diluidos son muy lentas al menos que las condiciones oxidantes del sistema sean extremadamente fuertes.

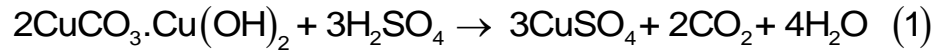
TABLA N° I: Composición de los minerales de Cu^0 y su solubilidad

Mineral	Composición	%Cu	Solubilidad
Antlerita	$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$	53.8	Se diluye en ácido
Atacamita	$\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	50.2	Se disuelve en ácido
Azurita	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55.3	Fácilmente soluble en ácido
Bornita	CuFeS_4	63.3	Parcialmente accesible en ácido y Fe^{3+}
Brocantita	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	56.2	Soluble en ácido
Calcopirita	CuFeS_2	34.6	Ligeramente se disuelve en ácido y Fe^{3+}
Calcosita	Cu_2S	79.8	Se disuelve en ácido y Fe^{++}
Covelita	CuS	66.4	Se diluye en ácido y Fe^{3+}
Crisocola	$\text{CuSiCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36.1	Se diluye en ácido
Cuprita	Cu_2O	88.8	Se diluye en ácido y Fe^{3+}
Dioptosa	$\text{CuSiCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	57.9	Se diluye en ácido
Malaquita	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57.6	Fácilmente soluble en ácido
Tenorita	CuO	79.7	Se diluye en ácido

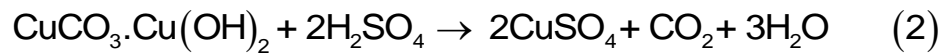
2.1.5. Principales reacciones químicas

a) Solución de minerales enmohecidos de Cu⁰.

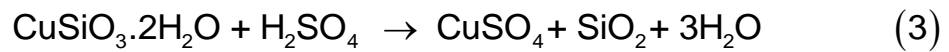
Azurita



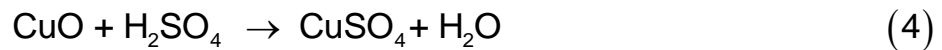
Malaquita



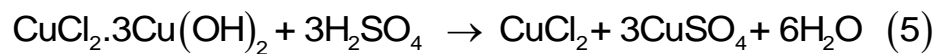
Crisocola



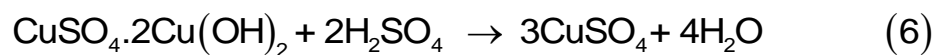
Tenorita



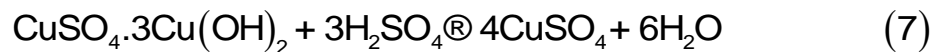
Atacamita



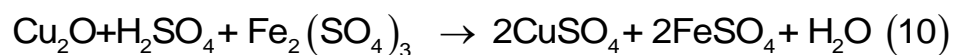
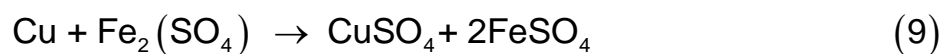
Antlerita



Brocantita

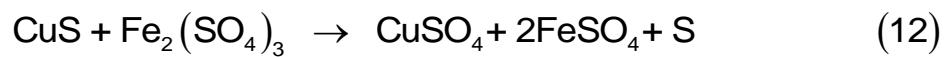


Cuprita

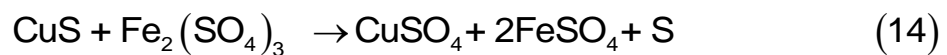


b) Reacciones de rocas sulfuradas de Cu⁰

Calcosita



Covelita



Bornita



Calcopirita



2.1.6. Reacción de los lixiviantes con la parte no valiosa

Pirita (FeS₂) no es atacada ni por ácido sulfúrico ni en mezclas con sulfato férrico.

Pirrotita (FeS), se desintegra fácilmente por el H₂SO₄ con el Fe₂(SO₄)₃ Arsenopirita (FeAsS₄) Se disuelve menos fácilmente con los anteriores lixiviantes.

Limonita (2Fe₂O₃·3H₂O), es soluble en el H₂SO₄.

2.1.7. Factores que participan en el paso de separación de los minerales de Cu⁰

La extracción sólido-líquido del cobre obedece a diversos

factores que también son comunes en otros metales.

Naturaleza del mineral

La lixiviación obedece a las propiedades químicas y físicas del mineral. La naturaleza de la parte no valiosa, influye decisivamente. Si la presencia de la caliza es mayor del 10%, el gasto del ácido se hace antieconómico, o si es muy silicosa es muy rebelde al ataque del disolvente.

Dimensión del trozo

La finalidad de triturar el mineral antes de la lixiviación, es facilitar el contacto del mineral con el disolvente, así como la separación posterior del solvente en un tiempo razonable.

El análisis granulométrico del mineral está en función de:

- Forma de distribución del mineral.
- Porosidad del mineral.
- Porcentaje de finos producidos en el chancado.

Los minerales densos se lixivian más lentamente que los porosos. Las rocas de partícula fina, regularmente se lixivian mejor que aquellos que poseen partícula gruesa. Si la roca es muy permeable no necesita ser de grano fino.

Concentración del disolvente

Es otro factor importante que afecta en el costo del proceso.

Es indispensable hallar el gasto óptimo del ácido en cada etapa del procedimiento. Para elegir tanto la concentración de la mezcla como el disolvente a utilizar, es cuestión de buscar el equilibrio de algunos factores.

Tiempo de contacto

Es un valor muy importante, principalmente cuando se lixivian sulfuros cuya solubilidad es lenta. Habitualmente el “tiempo de contacto” se refiere al tiempo durante el cual el mineral está en adhesión con el líquido lixivante recién preparado. En cada etapa se realiza un control del tiempo dependiendo de las variables que coexisten en el procedimiento y orientado a lograr una óptima recuperación en el menor tiempo posible.

Temperatura del disolvente

La temperatura es importante, ya que la solubilidad de los sulfuros de cobre aumenta considerablemente cuando se aumenta la temperatura del disolvente agregado.

pH

La acidez de la disolución es importante para los posteriores procesos de separación del cobre, la acidez de la solución debe estar entre 1,8 y 2.

Cinética de la lixiviación

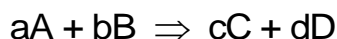
Reside en la rapidez con que se alcanza el estado de

equilibrio de una etapa, involucrada en la transformación de un determinado elemento, se denomina cinética. La cinética distingue a dos patrones de reacciones; homogéneas y heterogéneas.

El primer término se refiere a reacciones que ocurren dentro de una sola fase, es decir, entre los átomos de un gas o en un medio químico. Una reacción se denomina heterogénea si coexisten más de una fase involucrada. Por ejemplo, la corrosión de un no metal, disolución de una roca o precipitación de un no metal con hidrogeno puede incluir difusión en una emulsión.

En la técnica cinético complejo, el progreso de la transformación puede seguirse ya sea midiendo la rapidez de desaparición de reactivos o la rapidez de aparición de productos. La cuantía de los beneficios resultará de la estequiometria integral del proceso. Esto se puede expresar mejor en términos de la rapidez racional r_r que es la rapidez de aparición o desaparición de un componente dado dividido por su coeficiente estequiométrico.

Reacción general:



$$r_r = \left(\frac{dn_A}{a} \right) = \left(\frac{dn_B}{b} \right) = - \left(\frac{dn_C}{c} \right) = - \left(\frac{dn_D}{d} \right) \quad (1)$$

Es frecuente, en las transformaciones químicas múltiples, la etapa que controla a la velocidad puede ser una sola o una

composición de las subsiguientes etapas:

- a. El esparcimiento de los reactivos se da desde la iniciación del disolvente al alrededor del sólido.
- b. Reacción de los reactivos en o con la superficie sólida.
- c. La propagación de los productos se da desde la superficie hacia la solución del reactivo.
- d. Si la reacción produce un sólido o deja un residuo sólido poroso hay dos etapas adicionales que son:
 - Difusión de reactivos atravesando la envoltura de producto sólido.
 - Difusión de los reactivos sobre la superficie del producto sólido.

(1) Difusión hacia el contorno del sólido.

Básicamente la difusión es una transformación que tiende a igualar concentraciones dentro de una etapa. La fuerza impulsora es la gradiente de la cohesión dentro de la fase, y la concentración en todo instante está relacionada con la coordenada de difusión, la gradiente de la concentración y el predominio de la temperatura en el coeficiente de la difusión.

La primera ley de Fick para la difusión es:

$$J = -D \left(\frac{\delta C}{\delta x} \right)$$

Dónde:

J : Cantidad de material que se difunde por unidad de tiempo.

C : Concentración.

x : Coordenada de posición.

D : Coeficiente de difusión.

En la mayoría de los procedimientos Hidrometalúrgicos se introduce poco error si se considera que el coeficiente de difusión es constante e independiente de la concentración. En las reacciones de dilución y precipitación de un sólido, la difusión a través de una zona adyacente a la interface sólido líquido puede ser controlada por la rapidez de la reacción. Debido a la importancia de los parámetros del estado sólido, de la rapidez de la reacción superficial a menudo se relaciona tanto al área superficial tanto como a la concentración de sitios reactivos por unidad de área disponible para la reacción. La expresión cinética general para una reacción de primer orden se escribe:

$$\frac{dn}{dt} = ACK_0K$$

Donde

A : Área superficial del sólido,

C : Concentración en la solución,

K : Constante de velocidad y

K_0 : Concentración de sitios superficiales potencialmente reactivos.

En un caso especial es aquel en el cual un producto formado ocupa el mismo volumen que la fracción del sólido que ha reaccionado. En procesos Hidrometalúrgicos esto normalmente significaría que la porosidad en el producto compensaría por la masa neta removida durante la lixiviación. Este caso es aplicable a muchos casos en la extracción solido-liquido de menas sulfuradas y oxidadas como también a la reacción de algunas partículas de minerales puras.

2.2. CARBONATOS.

2.2.1. Definición.

Los carbonatos $(\text{CO}_3)^{2-}$ se definen como las salmueras de los ésteres del grupo R-O-C(=O)-O-R' y el ácido carbónico. Las sales poseen el anión $(\text{CO}_3)^{2-}$ y se deriva del ácido carbónico H_2CO_3 . La mordacidad de la mezcla se halla en proporción química con el CO_2 y el HCO_3^- .

2.2.2. Características de los carbonatos $(\text{CO}_3)^{2-}$.

Son compuestos que reaccionan a los ácidos, produciendo un burbujeo al desprenderse el CO_2 . Estos permiten identificar algunas rocas sedimentarias, que pueden ser el material parental de los

suelos, bien algún proceso de acumulación de sales o quizá por el uso de agua de riego salina. Los carbonatos más comunes son de calcio y le siguen los de sodio o magnesio.

Los carbonatos cuando se les lleva a alta temperatura se descomponen generando óxido del metal y dióxido de carbono.

Los carbonatos pertenecen a las sales del ácido (H_2CO_3) y poseen en común al ion $(\text{CO}_3)^{2-}$ y proceden del ácido H_2CO_3 o los ésteres del grupo R-O-C(=O)-O-R' . El pH de la mezcla, del NaHCO_3 con el CO_2 se hallan en equilibrio químico. La totalidad de los carbonatos, excepto los carbonatos procedentes de los alcalinos (IA), son no solubles en H_2O . Por esta peculiaridad son primordiales en la geoquímica, formando diversos minerales.

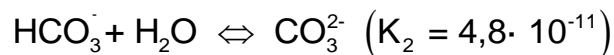
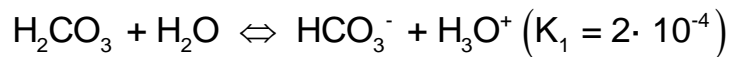
El carbonato cálcico (CaCO_3) es el más importante, que se encuentra en diversos minerales (calcita, aragonito), constituyendo rocas (calizas, margas), metamórficas (mármol) y es la argamasa natural de ciertas areniscas.

Reemplazando una porción de Ca^0 por Mg^0 se origina la dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, su nombre se debe al geólogo francés Déodat Gratet de Dolomieu.

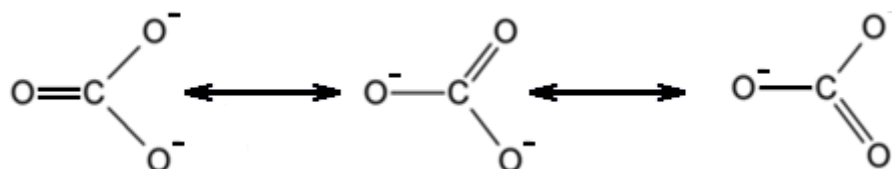
Las rocas carbonatadas en la biósfera son generadas desde el H_2CO_3 acuoso procedente de la disolución del CO_2 con el H_2O , la reacción química es la siguiente:



La transformación es muy pausada, en los reactantes, una fracción del CO_2 disuelto en H_2O no se percibe en los productos del (H_2CO_3). El anión bicarbonato (HCO_3^-) se halla en proporción con él H_2CO_3 , como se indica en las ecuaciones químicas:



Por varios años se imaginó que el ion $(\text{CO}_3)^{2-}$ contenía solamente dos oxígenos con carga negativa. Las investigaciones cristalográficas de la calcita ejecutado por Bragg con rayos-X corroboró que las tres uniones C-O son semejantes. La investigación requiere una nueva distribución atómica, la cual se logra por la hipótesis de resonancia, en 1931, planteó una nueva distribución, se fundamenta en que cada átomo de oxígeno comparte 2/3 de la carga negativa y las uniones se truncan, es decir se cortan a media trayectoria entre enlaces simples y dobles.



Por este procedimiento, el ion $(\text{CO}_3)^{-2}$ posee geometría plana con una dimensión de unión (C - O) de 1.29 Å, extendida entre la unión simple (1.34 Å) y el doble (1.20 Å). Cada unión (C - O) se encuentra constituido por un enlace simple alfa (σ) y 2/3 del enlace pi (π). El ion $(\text{CO}_3)^{-2}$ es el más sencillo de los oxocarbono ($\text{O}=\text{C}=\text{C}=\text{O}$).

La totalidad de los carbonatos, con excepción de los formados por los metales alcalinos, no son muy solubles en agua por lo que son trascendentales en geoquímica y se encuentran formando diversos minerales y rocas.

El carbonato más importante es el carbonato cálcico (CaCO_3), que se encuentra en diferentes formas como la (calcita, aragonito), formando rocas sedimentarias (calizas, margas) o metamórficas (mármol) y es a menudo el cemento natural de algunas areniscas.

2.2.3. Tipificación de sales carbonatadas.

Minerales carbonatados

Las rocas carbonatadas son poligenéticas y su constitución se manifiesta tomando al punto de partida de un almacén

sedimentario, el cual, con tiempo, la acción de la presión y la temperatura logra transformarse en una roca metamórfica, para luego formar calizas denominadas mármoles.

Por diferentes procesos y en presencia de líquidos transportadores de Mg^0 , es posible la sustitución metasomática con los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , facilitando la obtención de dolomías.

Minerales carbonáticos sedimentados

La caliza cuya procedencia es sedimentaria está formada generalmente por la calcita ($CaCO_3$) y por su polimorfa la aragonita. La existencia de aragonita por su particularidad variable, es un indicador de masas de constitución actual. La dolomía equivale a un mineral de roca sedimentaria, incluye a los minerales de la dolomita ($CaMg(CO_3)_2$), el mineral se obtiene por el reemplazo metasomática del (Ca) por el (Mg) como actividad de la disolución rica del segundo elemento. Preexisten otros carbonatos que se encuentran asociados tanto a las calizas como a las dolomías, entre ellos siderita ($FeCO_3$), ankerita ($Ca_2MgFe(CO_3)_4$) y magnesita ($MgCO_3$).

Rocas carbonáticas ígneas

Llamadas carbonatitas, son poco comunes y se encuentran formadas por carbonatos de calcio, magnesio y/o hierro apareciendo en los anillos intrusivos alcalinos de áreas de basamento antiguo o como rocas intrusivas o volcánicas dentro de estructuras profundas.

Rocas carbonáticas metamórficas

Corresponden a calizas y dolomías que por efecto del metamorfismo han experimentado un proceso de recristalización, pasando a denominarse mármoles. Las impurezas más frecuentes para este tipo de rocas están representadas por cuarzo, mica, cloritas, hematita y limonita.

2.2.4. Principales minerales carbonáceos.

SIDERITA:

- Etimología: De la palabra griega síderos que significa hierro
- Fórmula química: FeCO_3
- Sistema cristalino: Romboédrico
- Aspecto: En masas terrosas compactas, botroidales o concrecionadas. Los cristales son romboédricos, generalmente muy aplanados.

Propiedades:

- Color: Amarillento o pardo con distintos matices o reflejos metálicos, hasta negro por la existencia abundante de manganeso.
- Raya: Blanca amarillenta.
- Fractura: Concoidea.
- Exfoliación: Romboédrica perfecta.

- Dureza: 4
- Peso específico: 3,9
- Yacimientos: Normalmente aparece como ganga en filones metálicos, también se deposita en ambientes lacustres por la acción de la materia orgánica sobre el bicarbonato ferroso disuelto, en ausencia de oxígeno. El yacimiento más importante se encuentra en la localidad de Erzberg, en los Alpes, y es de tipo meta somático.
- Aplicaciones: Para obtener hierro mediante calcinación.

MAGNESITA:

- Etimología: El nombre hace alusión a su composición química.
- Fórmula química: $MgCO_3$
- Sistema cristalino: Romboédrico
- Aspecto: Normalmente masiva, en masas de grano grueso o fino; algunas veces espática y con exfoliación romboédrica.

Propiedades:

- Color: incolora, blanca, amarillenta o gris.
- Raya: Blanca.
- Brillo: Vítreo.

- Fractura: Concoidea.
- Exfoliación: Romboédrica perfecta.
- Dureza: 4 a 4,5
- Peso específico: 3
- Yacimiento: Se genera por la mutación de la serpentina y por el ataque del H₂O saturada con bióxido de carbono (CO₂). Asimismo, puede tener origen metamórfico y surge asociada al talco y mica. A veces se originan por reemplazo meta somática del calcio de las calcitas por magnesio. Los yacimientos más importantes se encuentran en Estiria (Austria) y en la isla de Eubea (Grecia).
- Aplicaciones: Se utiliza en la producción de materiales refractarios y como complemento en la alimentación de las vacas, para que ingieran más agua y produzcan más leche.

RODOCROSITA:

- Etimología: De la palabra griega rodon y jroma, que significa rosa y color, respectivamente.
- Fórmula química: MnCO₃. El manganeso puede ser sustituido isomórficamente por hierro en cualquier proporción y por calcio hasta en un 25 %. También, a

veces, se encuentre sustituido por cinc o por magnesio en pequeños porcentajes.

- Sistema cristalino: Romboédrico.
- Aspecto: Normalmente en masas espáticas de color rosa, o en masas botroidales de origen estalactítico. Los cristales son romboedros muy parecidos a los de la calcita.

Propiedades:

- Color: Rosa
- Raya: Blanca
- Brillo: Vítreo.
- Fractura: Concoidea.
- Exfoliación: Romboédrica perfecta.
- Dureza: 4
- Peso específico: 3.5
- Yacimientos: Se presenta en yacimientos hidrotermales de temperatura media y alta como ganga de diversos minerales metálicos. También de origen sedimentario. El yacimiento más importante se encuentra en la localidad de Catamarca (Argentina), donde se halla en masas botroidales. Los cristales son frecuentes en la rodocrosita peruana.
- Aplicaciones: Principalmente como piedra ornamental.

SMITHSONITA:

- Etimología: En honor al químico británico J. Smithson
- Fórmula química: $ZnCO_3$. El cinc puede estar sustituido isomórficamente por hierro y manganeso. A veces posee algo de Cobalto.
- Sistema cristalino: Romboédrico.
- Aspecto: Los cristales romboédricos parecidos a los de la calcita, son raros, siendo las formas más frecuentes los agregados botroidales, las masas granulares o terrosas, las costras y las masas estalactíticas.

Propiedades:

- Color: Incolora o blanca, también otras coloraciones si hay sustitución isomórfica del cinc por otros cationes, la cantidad verde intenso contiene malaquita.
- Raya: Blanca.
- Brillo: Vítreo.
- Fractura: Irregular.
- Exfoliación: Romboédrica perfecta.
- Dureza: 5
- Peso específico: 4.5
- Yacimientos: Se forma por alteración del sulfuro de cinc (blenda) diluyéndose en agua actuando sobre las masas

de calizas o dolomías. El yacimiento más importante está en Tsumeb (Namibia).

- Aplicaciones: No existen.

DOLOMITA:

- Etimología: Originario de dolomía, en deferencia al geólogo francés D.Dolomieu.
- Fórmula química: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. El Ca^+ y el Mg^+ adquieren colocaciones fijas en la red, ya que la sustitución isomórfica no es viable por la desigualdad de tamaño entre ambos cationes.
- Sistema cristalino: Romboédrico.
- Aspecto: Se presenta en masas espáticas o granulares, compactas criptocristalinas, que son la base de la roca dolomía. Los cristales son romboedros, a veces deformados que ocasionalmente se combinan entre sí y dan una forma característica llamada silla de montar.

Propiedades:

- Color: incolora, blanca, gris de distinta intensidad hasta negra, según las impurezas.
- Raya: Blanca.
- Brillo: Vítreo.
- Fractura: Concoidea.

- Exfoliación: Romboédrica perfecta.
- Dureza: 4.
- Peso específico: 2.9
- Yacimientos: Regularmente procede de variaciones metamórficas de las calcitas. Es el componente principal de la dolomía, roca semejante a la caliza. Igualmente puede presentarse como mineral secundario.

Los yacimientos principales se encuentran en Austria.
- Aplicaciones: Se aprovecha para fabricar cementos especiales y materiales refractarios.

ARAGONITO:

- Etimología: Su nombre hace referencia a la localidad donde se descubrió. Molina de Aragón (Guadalajara, España).
- Fórmula química: CaCO_3 . Es la forma dimórfica estable de la calcita. El calcio puede ser reemplazado isomórficamente, en pequeña proporción, por bario. Estroncio y plomo.
- Sistema cristalino: Rómbico.
- Aspecto: En cristales maclados o aciculares o en agregados fibrosos, radiales y estalactíticos.

Propiedades:

- Color: Blanco, por las impurezas que contenga puede presentar otras coloraciones.
- Raya: Blanca.
- Brillo: Vítreo.
- Fractura: Concoidea.
- Exfoliación: No posee.
- Dureza: 4
- Peso específico: 3
- Yacimientos: De origen muy diverso, depósitos marinos, biológicos, sedimentario continental acompañado de arcillas y yeso. Aparece en las capas arcillosas del Keuper, y en Austria.
- Aplicaciones: No existen.

WITHERITA:

- Etimología: Hace referencia al médico británico W. Withering, que la descubrió y analizó.
- Fórmula química: BaCO_3 . El bario puede estar sustituido en pequeñas proporciones por calcio o por estroncio.
- Sistema cristalino: Rómbico.
- Aspecto: Los cristales siempre aparecen maclados, formando pirámides pseudo hexagonales. También se presenta en grandes masas botroidales o granudas.

- Propiedades:
- Color: Puede ser incolora, blanca o gris.
- Raya: Blanca.
- Brillo: Vítreo.
- Fractura: Concoidea.
- Exfoliación: Imperfecta.
- Dureza: 3.5
- Peso específico: 4.3
- Yacimientos: Se encuentra asociada a yacimientos metálicos, frecuentemente de galena, en filones hidrotermales de baja temperatura. El yacimiento más importante está en Cumberland (Inglaterra).
- Aplicaciones: No son frecuentes, se emplea como mena de bario.

ESTRONCIANITA:

- Etimología: Originario de la ciudad escocesa de Etrontian, donde fue encontrado el mineral y extraído el estroncio.
- Fórmula química: SrCO_3 .
- Sistema cristalino: Rómbico.

- Aspecto: Los cristales en masas granulares o fibrosas. son aciculares y por lo usualmente se presentan en agregados radiales.

Propiedades:

- Color: Incolora, blanca, amarillenta o gris.
- Raya: Blanda.
- Brillo: Vítreo.
- Fractura: Concoidea.
- Exfoliación: Imperfecta.
- Dureza: 3,5
- Peso específico: 3,7
- Yacimientos: La estroncianita aparece en filones hidrotermales de temperatura baja, asociada a minerales metálicos y masas de calizas. Existen extensos depósitos de gran importancia económica en Westfalia (Alemania).
- Aplicaciones: Como mena de estroncio. En pirotecnia sirve para obtener el color rojo en los fuegos artificiales.

2.3. MARCO CONCEPTUAL.

2.3.1. Lixiviación.

Operación consistente en hacer pasar un solvente a través de una capa de material pulverizado, para extraer uno o varios constituyentes solubles en la misma. Sinónimo de percolación.

2.3.2. Minerales.

Son las sustancias formadas por procesos naturales, con integración de elementos esencialmente provenientes de la cubierta terrestre.

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. RECOLECCIÓN, PREPARACIÓN Y MUESTREO DE MUESTRAS.

3.1.1. Recolección de muestras.

La recopilación de los trozos se ha realizado en la cancha de materiales de la planta metalúrgica Victoria II de la provincia de Nazca. Los trozos de mineral de mayor tamaño, de diámetro promedio 6" por lo que se procedió a su molienda.

3.1.2. Preparación de las muestras.

CHANCADO.

Se efectúa el pesaje pertinente de cada porción de mineral seleccionado y se anota en la ficha respectiva, en seguida se trasfiere el triturado a las bolsas plastificadas y se le rotula.

La chancadora primaria de quijadas de $21\frac{1}{4}$ " x $31\frac{1}{2}$ " , acepta minerales de 3" - 2" y lo quebranta aproximadamente a $\frac{1}{8}$ " (3.175 mm) el tamaño de malla no es el adecuado, se tiene que obtener malla #10 (1.65mm), aproximadamente a $\frac{1}{16}$ " , para ello se tiene que pasar por malla 10 y separar las fracciones que pasan la malla

número 10, el remanente se pasa de nuevo por la trituradora y así repetidamente hasta alcanzar el 100% del tamiz #10.

Para acopiar el chancado por la chancadora se utilizarán baldes de polímero de 20 Litros de capacidad por ser el más apropiado para prevenir el contagio del mineral. En esta fase es fundamental utilizar la mascarilla y los tapadores de oído por ser muy peligrosas las partículas finas.

Para efectuar el zarandeado previo al ciclo de chancado se debe poner la malla #10 en la boca del balde y hacer pasar el mineral. El beneficio del chancado se junta y se traslada a la zona de cuarteo.

Nota: Para prevenir que la trituradora se dañe (impedir rotura del eje) el mineral mayor a 3" se debe triturar antes de introducir a la trituradora.

Para triturar, se golpea al mineral manualmente u aplicando otro método, pero siempre teniendo cuidado de no contaminar al mineral. Verbigracia, se puede poner un saco de polietileno encima antes de golpearlo.

MOLIENDA.

Lo primero es lavar el molino ya que los restos dejados por los ensayos anteriores pueden dar resultados erróneos, esto se

realiza agregando 200 gr de arena, 5 gr de cal y 1/2 L de H₂O en seguida se carga al molino con las esferas haciendo funcionar por 1 min, de seguida se enjuaga tanto las esferas como el molino con la piseta.

En la segunda parte se tritura al mineral para elaborar la gráfica del molimiento y la duración estimada con la finalidad que el chancado se encuentre al 60% tamiz 200 es por ello que no se agrega los reactivos. Se carga el molino con las esferas y el mineral, en seguida se pone en funcionamiento, previamente se pesa el mineral para la prueba experimental. Al molino se adiciona la muestra del chancado en seguida el agua (el cálculo del agua se hará líneas abajo) para esto se usará la probeta de 1L, se tapa el molino y se hace funcionar.

Se debe probar diferentes tiempos de molimiento, se sugiere obtener 3 tiempos, para obtener la granulometría recomendada es aproximadamente de 11 a 14 minutos nos orientaremos por estos periodos. Se recepcióna lo fraccionado en el recipiente de 5 L, se lava el triturador y las bolas utilizando la piseta, para luego cargarlas al molino.

Extraída la pulpa en el balde se agrega floculante para eliminar la máxima cantidad de agua que se pueda, seguidamente

de echa a una bandeja de secado y se hace secar en la cocina eléctrica.

El lapso de resecado es alrededor de 30 min, una vez seco, a la muestra se le deberá pasar rodillo para soltar a las partículas se procede a hacer el cuarteo hasta llegar a 100 g. Estos 100 g se pasan por tamiz #200 se pesa y se evalúa el % sólidos en peso que han pasado la malla 200. Se realiza los apuntes necesarios.

Una vez realizado lo preliminar y encontrado el tiempo óptimo de molimiento se procede a moler el mineral esta vez ya para lixiviarlo.

Se carga al molino con el chancado y con el agua en esta etapa a diferencia de la anterior en la que solamente se quería hallar la duración de molienda, para determinar los porcentajes de material molido a distintas mallas. Se regula el tiempo óptimo de molimiento encontrado aprox. 12 min el registro del tiempo es muy elemental utilizar el cronometro, demasiado tiempo puede ocasionar una sobremolienda y esto podría ser perjudicial por el sedimento de lamas.

En esta fase es importante protegerse bien los oídos debido al ruido alto que origina el molino.

3.1.3. Cernido de las porciones de las muestras.

Para lograr obtener concentrados de minerales, la muestra preliminarmente triturada y dividido pero que se retornó a la bolsa de plástico es cernido. El cernido radica en tamizar los fragmentos en diferentes tamaños de partícula. Para ello se manipulan los tamices de número 20, 40, 50, 60, 80, 100 y 120. Es importante que las cribas se encuentren totalmente limpias ya que es fuente de contaminación.

El tamizado sigue una metodología particular la cual radicará de la fracción del mineral que se pretende concentrar.

Verbigracia, en la conglomeración de minerales pesados y poco abundantes como el Au y la Ag se utilizan las mallas 120, 150 y 200.

La limpia de las cribas debe ser muy metódica para impedir la contaminación.

3.1.4. Muestreo

El mineral triturado a malla #200 se debe poner encima de la manta de cuarteo la cual debe ser de cuerina de 0.5 x 0.50 m o más grande obedeciendo de la cantidad del mineral para evitar pérdidas de la muestra. En seguida se homogeniza efectuando un roleo hasta que toda la muestra esté correctamente homogenizado.

Si la muestra es más de 3 Kg. El roleo se debe efectuar con la intervención de 2 personas que sujetan la manta y mover el mineral de una esquina hacia la otra durante varios minutos. Se amontona de formando un cono utilizando una pala, haciendo caer cada palada exactamente en la punta del cono, esta operación se repite 2 o 3 veces con la finalidad de dar a las partículas una distribución homogénea.

Es elemental que la fracción del mineral se halle muy homogenizado después de efectuar el cuarteo.

La porción de mineral que se capte, debe ser menor a 3 kilos, se expande en una mesa plana ya que es factible de limpiar. Luego se realiza un nuevo roleo, inicialmente se acumula formando un cono para luego moldear una torta circular plana (cono truncado) que finalmente se dividirá en 4 partes iguales (es obligatorio que se respete la simetría), según la regla de cuarteo se delinea 2 diagonales perpendiculares entre sí. Dos fracciones opuestas se separan como muestra y los otros dos cuartos se rechazan.

Este proceso se repite hasta obtener la masa deseada, para calcular la dimensión de la celda a utilizar.

Si la masa del mineral es difícil de obtener por este método entonces se operará de igual forma que el cuarteo común la diferencia está en la muestra representativa se deberá utilizar un

cucharón apropiado para obtener pequeñas porciones de las cuatro partes iguales que se formó hasta obtener la masa deseada.

Por último, se guarda la muestra en los sacos plásticos y rotuladas formalmente, el sobrante del mineral se regresa al composito. Es fundamental que se obtenga como mínimo 3 muestras de masa para realizar las pruebas metalúrgicas respectivas.

En esta fase es primordial utilizar los equipos adecuados de protección personal debido a los polvos que se produce al homogenizar el mineral.

La muestra se obtuvo considerando los cuatro tipos de muestreo: al azar, sistemático, estratificado y por etapas.

3.2. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONATOS EN MINERALES

3.2.1. METODO:

Los carbonatos del suelo son sometidos a la acción del HCl diluido. La reacción consume ácido en forma estequiométrica al contenido de carbonatos. El exceso de ácido que queda sin reaccionar es neutralizado con NaOH de concentración 1N, hasta su neutralización. Después, a través de cálculos, se determinará el contenido de carbonatos.

MATERIALES:

- 1) Un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- 2) Embudo.
- 3) Bureta de 50 mL.
- 4) Vaso de precipitado.
- 5) Pipeta de 25 mL.
- 6) Papel filtro Wathman.

REACTIVOS

- A) HCl 1N (83 ml de ácido clorhídrico, completando a un litro con agua destilada).
- B) NaOH 1N (40 g disueltos en agua; enfriar y aforar a un litro).
- C) Indicador azul de Bromotimol (0.1 g en 250 ml de agua, añadiendo 1.6 mL NaOH N/10).

PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar 2.5 g de suelo tamizado a 2 mm.
- 2) Vaciar la prueba a un matraz Erlenmeyer de 125 ml y agregar 50 ml de HCl 1N.
- 3) Se agita la mezcla durante 15 min.
- 4) Se deja reposar 4 horas.
- 5) Medir 20 ml de solución sobrenadante de la muestra en reposo
- 6) Añadir 4 gotas de indicador azul bromo timol.

7) Procediendo a titular con la solución valorada de NaOH, colocándola en una bureta. Dejar caer esta gota a gota en la disolución problema hasta la aparición de una coloración azul (vire o cambio rápido de color).

3.3. LIXIVIACIÓN DEL MINERAL

3.3.1. Pruebas metalúrgicas de lixiviación de mineral utilizando carbonatos.

En esta prueba, la liberación del Cu por lixiviación con agitación en botellas a granulometrías gruesas nos proporcionan las máximas recuperaciones del cobre soluble que se pueden alcanzar por la lixiviación en pilas (heap-leaching) en etapas de largos plazos de 02 años a más, porque normalmente los módulos y/o celdas industriales en los pads de Lixiviación tienen en promedio 60 días de riego y/o lixiviación, en la práctica como se carga mineral encima de las unidades lixiviados, dichos módulos lixiviados continuarán disolviendo cobre en menor porcentaje hasta alcanzar los niveles obtenidos a nivel de lixiviación en botella.

Las pruebas de lixiviación por agitación en botella fueron realizadas por duplicado a granulometría de 100% menor a 2", para determinar la liberación del metal, la rapidez de recuperación en función del tiempo, gasto de ácido y su sensibilidad al tamaño de partícula alimentado. Los minerales fueron cargados conjuntamente

con el agua hasta conseguir un 50% en peso de sólidos o relación líquido/sólido: 1/1.

La Lixiviación agitado en botella fue realizado durante 168 horas (07 días) durante intervalos de tiempos fueron tomados muestras líquidas Pregnant y analizados por Cu para establecer la cinética de dilución del metal, reajustándose el ácido y pH con la finalidad de mantener los niveles iniciales durante el tiempo de lixiviación, y reponiéndose el agua equivalente al volumen de alícuota extraído para los análisis químicos correspondientes. Al concluir la lixiviación las pulpas fueron filtradas para efectuar la separación sólido - líquido. La solución Pregnant fue medido y muestreada para los estudios químicos correspondientes, establecer la concentración del ácido y pH final.

1. Preparación de la muestra

El mineral muestreado se trató como sigue:

- 1) Tamizar la muestra en su integridad utilizando la malla de 2" y el producto +2" es triturado a menor de 2" a fin de obtener uniformidad en la muestra (100% < 2").
- 2) El material a granulometría < 2" es conchado tres veces y cuarteado, extrayéndose la masa requerida del mineral para las pruebas metalúrgicas de cinética de adsorción en botella y para la preparación de muestras para análisis químicos.

3.3.2. Pruebas de lixiviación – adsorción por agitación en botella

Las pruebas de lixiviación adsorción por agitación en botella se llevaron a cabo por duplicado (08 pruebas en total de cuatro tipos de carbonatos).

Las condiciones experimentales en botella fueron las siguientes:

- 1) Peso de mineral: 1.0 kg seco.
- 2) Dilución (L/S): 2/1
- 3) Ácido sulfúrico: 10 %
- 4) pH de la pulpa: 1 – 3
- 5) Duración de lixiviación: 1, 2, 3 horas

Las cuantificaciones que se determinaron y calcularon son:

- Chequeo de la disolución concentrada, reajustándose el ácido necesario.
- Análisis de Cu en determinados tiempos.
- Cálculo de la ley de cobre en solución concentrada.
- Cálculo del gasto de ácido.

Preparación de la disolución ácida.

- Para realizar las pruebas metalúrgicas de adsorción de cobre sobre arcillas minerales se siguió la siguiente metodología:
- Se realizó el cálculo de ácido por su concentración y volumen de solución a preparar.

- La extracción de 08 alícuotas, a diferentes tiempos, para la preparación de la solución.

3.4. ANÁLISIS DEL COBRE.

3.4.1. Cobre soluble – Método del Cianuro de Potasio.

Aplicación

Este ensayo se realiza para cuantificar los óxidos de cobre presentes en el mineral.

Reactivos:

- 1) Ácido sulfúrico.
- 2) Hidróxido de amonio
- 3) Agua destilada.
- 4) Cianuro de potasio.

Marcha:

- 1) Pesar 1,0 g de muestra cuando es cabeza o relave y 0,5 g cuando es concentrado.
- 2) Agregar ácido sulfúrico concentrado 10 mL y colocar a la plancha hasta desprendimiento de humos blancos.
- 3) Retirar de la cocinilla y dejar enfriar, luego agregar agua destilada 50 mL.
- 4) Volver a calentar hasta ebullición, por 5 minutos y retirar de la cocinilla, dejar enfriar y **filtrar**.

- 5) Cuando está frío el contenido del vaso se vierte hidróxido de amonio en exceso, pero con mucho cuidado y colocar a la plancha hasta ebullición por otros cinco minutos.
- 6) Retirar de la plancha, dejar enfriar y filtrar nuevamente quedando esta vez masa grumoso pardo rojiza de hidróxido de hierro.
- 7) Titular en frío con KCN hasta formación de un precipitado amarillo de $\text{Cu}(\text{CN})_2$.
- 8) La ley de cobre soluble se halla con la fórmula:
- 9) $\% \text{Cu} = \frac{[\text{Gasto de KCN en mL} \times F \times 100]}{\text{Peso de la muestra}}$

3.4.2. Cobre insoluble – Método del cianuro de potasio.

Aplicación.

Permite determinar cuantitativamente los (CuS) presentes.

Reactivos:

- 1) Ácido clorhídrico.
- 2) Ácido nítrico.
- 3) Clorato de potasio.
- 4) Hidróxido de amonio.
- 5) Agua destilada.

Procedimiento.

- 1) Pesar 1 g de muestra cuando es cabeza y relave y 0,5 g cuando es concentrado.

- 2) Atacar con 10 mL de HCl, hasta ebullición en la plancha hasta desprendimiento vapor de H₂O; agregar 10 mL de ácido nítrico y una pizca de (KClO₃) para lograr una oxidación rápida.
- 3) Evaporar el líquido hasta conseguir una masa pastosa, enfriar totalmente y agregar 50 mL de H₂O destilada e hidróxido de amonio hasta lograr la precipitación del hierro.
- 4) Colocar en la plancha durante 5 minutos, bajar y filtrar lavando el precipitado 2 ó 3 veces, para luego dejar enfriar y titular con cianuro de potasio.
- 5) El porcentaje de cobre insoluble se calcula:

$$\%Cu = \frac{[\text{Gasto de KCN en mL} \times F \times 100]}{\text{Peso de la muestra}}$$

3.4.3. Preparación de la disolución estándar de KCN

Para preparar la solución estándar de cianuro de potasio, pesar 21 g de esta sal químicamente pura (Q.P.) y disolver con agua destilada hasta completar un litro de solución.

3.4.4. Determinación del Factor (F).

Para determinar F (el factor) se pesa 0,5 mg de cobre metálico puro, en tres vasos y se ataca con 10 mL de ácido nítrico Q.P. y llevar a calentamiento hasta eliminación total de vapores nitrosos.

Bajar de la cocinilla y dejar enfriar para luego agregar 50 mL de H₂O destilada con 10 mL de NH₄OH, llevando nuevamente a calentamiento hasta ebullición.

Retirar de la plancha, dejar enfriar y titular con cianuro de potasio.

Calcular el factor (F) con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{(\text{Peso del cobre})}{(\text{Gasto de KCN, en mL})}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.

TABLA 4.1

CONCENTRACIÓN DE CARBONATOS EN EL MINERAL

Nº ENSAYO	CONCENTRACIÓN, %
01	17,32
02	12,56
03	13,05
04	14,76
05	16,28
06	10,39
Promedio	14,06

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 4.1. Presenta los análisis del mineral con carbonato, en los que se obtuvieron un promedio de 14,06% de carbonatos, estos carbonatos no están libres, sino conformando los carbonatos de elementos del primer grupo de la tabla periódica y las mismas especies mineralógicas del cobre, como la azurita.

TABLA 4.2

COMPOSICIÓN DEL MINERAL

MINERAL	PORCENTAJE, %
Carbonatos	14,06
Humedad	5,31
Fe	2,71
Cu	7,85
Au	241 g/TM
Ag	124 g/TM

Fuente: Datos Experimentales.

Nota: La muestra tomada para este análisis fue la N°1 que contiene 17,32% de carbonato.

La tabla 4.2, muestra la combinación química del mineral en la cual se reporta un 5,37% de cuarzo, un 21,56% de carbonatos, además se encuentra hierro en un 3,87% junto con el cobre en una proporción de 9.73%. En el mineral también existe 89 g/TM de oro y plata en una cantidad de 51 g/TM.

TABLA 4.3

RECUPERACIÓN DE COBRE CON CARBONATOS

(Lixiviación con solución al 10% de H₂SO₄)

Nº DE ENSAYO	Cu RECUPERADO, g
01	6,23
02	6,20
03	6,20
04	6,21
05	6,19
06	6,22
Promedio	6,20

Fuente: Datos experimentales.

Los ensayos para librar el cobre del mineral con carbonatos nos indican que estos tienen un efecto químico, comportándose como un acidificadora, es decir consumiendo ácido, lo que impide librar todo el cobre, como se puede observar en la tabla 4.3, de los 7.85% de cobre en el mineral, solo el 6.20% se ha recuperado empleando una disolución de H₂SO₄ al 10%

TABLA 4.4
 RECUPERACIÓN DE COBRE EN EL MINERAL
 CON CARBONATOS

Nº DE ENSAYO	% H ₂ SO ₄	Cu RECUPERADO (g)
01	10	6,20
02	10,5	6,56
03	11	6,81
04	11,5	7,05
05	12	7,26
06	12,5	7,45
07	13	7,63
08	13,5	7,84
09	14	7,84

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 4.4 se muestran los resultados de los ensayos realizados con el mineral oxidado con alta carga de carbonatos (17.32%), con una cantidad creciente de H₂SO₄ y se estableció que se necesita un 13.5% de ácido para librar todo el cobre que se halla en la muestra.

TABLA 4.5

LIBERACIÓN DE COBRE SIN CARBONATOS

(Lixiviación con solución al 10% de H₂SO₄)

Nº DE ENSAYO	Cu RECUPERADO (gr)
01	7,81
02	7,82
03	7,81
04	7,81
05	7,81
06	7,82
Promedio	7,81

Fuente: Datos experimentales.

Los ensayos para librar el cobre del mineral sin carbonatos nos indican que la recuperación del Cu es óptima, ya que hay el suficiente ácido para extraerlo del mineral, tal como se puede observar en los resultados del cuadro 4.5. Este mineral fue preparado, con la misma ley de cobre, pero con ausencia de carbonatos y se pudo recuperar casi la totalidad del metal que se está en la prueba.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

- Durante el desarrollo experimental se ha comprobado una serie de efectos negativos que producen los carbonatos durante el proceso de lixiviación, tanto física como química e incluso de orden hidrodinámico.
- La disolución lixivante por la coexistencia de carbonatos no se filtra cuando discurre por los poros de la roca quedando empozada en el lado superior, mientras que si se infiltra una parte del ácido se une con el carbonato, dejando una parte del cobre sin disolver por la escasa cantidad del ácido.
- La mezcla de los carbonatos con el H_2SO_4 es lenta, que se vuelve mucho más lenta durante el procedimiento de lixiviación por la presencia de otros componentes del mineral, originando problemas hidrodinámicos, haciendo más lenta la penetración del lixivante.
- Los carbonatos consumen casi la mitad del ácido agregado a la disolución lixivante, formando abundante CO_2 y con la consiguiente formación de cloruros de magnesio, sodio y calcio que quedan atrapados en el mineral y en una mínima porción pasan a la mezcla rica.

CONCLUSIONES

1. Mediante las pruebas experimentales se ha podido determinar que los minerales oxidados de cobre con alta carga de carbonatos, requieren de un mayor porcentaje de ácido sulfúrico para recuperar todo el cobre, ya que el carbonato consume parte de este.
2. El mineral que se ha empleado en las pruebas experimentales poseen un 17, 32% de carbonatos, fue la muestra con un mayor contenido de este componente.
3. La proporción del ácido sulfúrico que es consumido por los carbonatos que están en el mineral oxidado de cobre, equivale a un 3,5% de ácido.

RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda hacer pruebas con distintos minerales considerando la cantidad de carbonatos presente en ellos, a fin de establecer un grado de comparación para el consumo de ácido sulfúrico en las soluciones lixiviantes.

- b. Hacer un estudio sobre la contaminación ambiental producida por la descarga de dióxido de carbono durante la lixiviación ácida de minerales carbonatados, a fin de tomar acciones preventivas y disminuir sus impactos negativos

BIBLIOGRAFÍA

1. E. YURI S.- Lixiviación de sulfuros de cobre en mantos blancos. -
Minerales, vol. 51 N° 216; Diciembre. 1996.
2. OLIVARES O. M., OLEA S. Schtein Sch. Werner. - Nuevo enfoque de
pruebas metalúrgicas de lixiviación de cobre. - Minerales, Vol 54 N°
225; Enero-febrero 1999.
3. GARCÍA G. CARLOS. - Lixiviación de sulfuros en compañía Minera
Saldivar, Minerales, Vol. 55 N° 233; Mayo-junio 2000.
4. UGARTE A. GUILLERMO. - Estado del arte en lixiviación de sulfuros
de cobre. - Minerales Vol. 47, N° 199; Julio-agosto-Setiembre 1992.