

13
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

Facultad de Química

INFLUENCIA DE ATMOSFERAS DE OXIGENO Y
NITROGENO EN EL PROCESO DE FLOTACION
DE UNA MENA DE GALENA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A :
J. Francisco García Suárez

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAGINA
CAPITULO I	
RESUMEN	2
INTRODUCCION	3
OBJETIVOS	4
CAPITULO II	
FUNDAMENTOS TEORICOS	6
CAPITULO III	
DESARROLLO EXPERIMENTAL	48
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y GRAFICAS	53
CAPITULO V	
DISCUSION Y CONCLUSIONES	92
CAPITULO VI	
BIBLIOGRAFIA	112

CAPITULO I

RESUMEN

INTRODUCCION

OBJETIVOS

RESUMEN

Se planteo la necesidad de investigar el efecto de la concentración de oxígeno disuelto en la flotación de un mineral de galena, no pura, además de analizar la influencia de un reactivo colector en dicho proceso.

Para esto se trabajaron tres diferentes concentraciones de xantato etílico de potasio y se efectuó un barrido del oxígeno disuelto en pulpa en concentraciones de 0.1 a 7.3 ppm.

El manejo de estas variables arrojó resultados que indican que existe un efecto de la concentración de oxígeno y del reactivo en la recuperación de la galena, y que dicho efecto puede ser benéfico o perjudicial dependiendo de la concentración usada.

Así, para las condiciones de este trabajo experimental se obtuvieron ciertas concentraciones de oxígeno óptimas.

De esta manera se cumplió con los objetivos planteados.

INTRODUCCION

Como nosotros sabemos, el proceso de concentración por flotación es uno de los más importantes y comunes, a pesar de que son muchas las variables que influyen en tal proceso.

En base a esto se ha suscitado un enorme interés por analizar y controlar tales variables, además de pretender una disminución en los costos de operación así como una optimización en todo el proceso.

De todas las variables que entran en este proceso, últimamente ha habido un particular interés en una de ellas; esta es la influencia del oxígeno en el proceso de flotación

Los trabajos experimentales de muchos investigadores acerca del oxígeno en la flotación de un mineral van desde el análisis de las reacciones existentes entre mineral y oxígeno, oxidación de los agentes colectores, mecanismo del colector, reacciones electroquímicas, estudios termodinámicos, diagramas de estabilidad potencial-pH, estudios del sistema mineral-colector-oxígeno, etc.

Además, muchos de los estudios electroquímicos realizados han sido en base a minerales casi totalmente puros, los cuales se escogen a mano.

Cabe mencionar que han existido muchas discrepancias en torno al papel que juega el oxígeno disuelto en la pulpa a favor o en contra de la adsorción del colector, particularmente en la flotación de minerales de plomo, como la galena, en presencia de reactivos colectores como los xantatos.

Como podemos ver, es importante el estudio del parámetro del

oxígeno en la flotación, por lo cual en el presente trabajo se pretende analizar la influencia del oxígeno en la recuperación de un mineral de galena.

A diferencia de los demás trabajos donde se manejan minerales casi puros, en este se trabajará con un mineral más representativo para una flotación industrial (real), en la cual no solo existe un mineral sino además tiene otras especies. Esto es, se trabajará de una forma un poco más ingenieril.

OBJETIVOS

- Analizar la influencia directa del oxígeno en la recuperación de un mineral de plomo, galena, a diferentes concentraciones de oxígeno.
- Analizar la influencia de la concentración de reactivo en dicha recuperación del mineral.
- Analizar en forma conjunta el efecto del oxígeno y la concentración de reactivo en la recuperación de la galena.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

Que es la flotación y en que se basa.

Uno de los procesos de concentración de minerales más importantes y que ha tenido más auge es el de flotación.

La flotación es un proceso de separación selectivo de minerales finamente divididos y liberados. Esta se basa en en las propiedades fisicoquímicas de la superficie de los minerales y se lleva a cabo en un medio acuoso.

Flotación por espumas.

Este es un proceso fisicoquímico que aprovecha las propiedades superficiales de las partículas para concentrar minerales.

La flotación se lleva a cabo introduciendo en la celda de flotación la pulpa mineral, en la cual se adicionan ciertos reactivos (colectores, espumantes, depresores, activadores), estos dan las características favorables para que al introducir aire a la celda, las partículas sean capaces de adherirse a las burbujas y se eleven hacia la superficie, quedando una espuma mineralizada consistente del producto de flotación, y en la fase acuosa las partículas no hidrofóbicas.

Los tamaños de partícula que se emplean en el proceso de flotación están entre 300 micrones (malla 50) y un límite inferior a 5 micrones. El límite superior está en base al grado de liberación y al hundimiento de partículas de gran tamaño que no respondan a las características de levitación.

El límite inferior no debe ser menor a 5 micrones, ya que se muy marcadamente los problemas de oxidación y otros efectos superficiales, así como el consumo excesivo de reactivo y de energía en el proceso de continuación. Fig.(3).

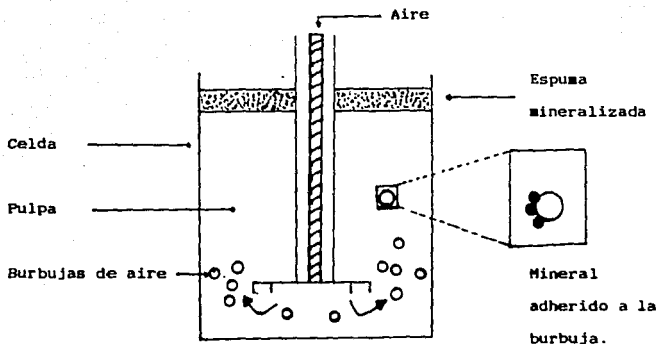


Fig. (3) Flotación por espuma (30)

Parámetros en la flotación.

Dentro del proceso de flotación por espuma tenemos un gran número de variables que de una u otra manera influyen en el proceso de concentración. Dicho proceso es muy complejo y no se ha podido investigar bien a fondo el efecto de cada una de las variables, e incluso en algunas solo se marcan tendencias.

A continuación daremos una descripción de algunas de estas variables:

- a) Adición de reactivo.
- b) Tipos de reactivo.
- c) Angulo de contacto.

- d) Tamaño de partícula.
 - e) Trabajo de cohesión y adhesión.
 - f) PH.
 - g) Fenómenos de adsorción.
- a y b) Adición y tipos de reactivos.

Este punto es muy importante, ya que son precisamente los reactivos los que dan las características superficiales apropiadas para que exista una buena flotación.

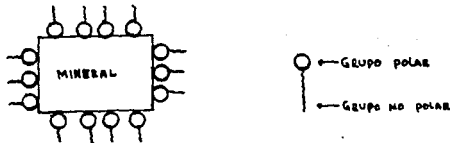
Existe una serie de reactivos, cada una de los cuales tiene una función propia dentro del proceso:

- **Colectores.** - son los reactivos encargados de formar una capa hidrofóbica sobre el mineral, quedando éste capacitado para adherirse a la burbuja y flotarse.

La gran mayoría de los colectores presentan una parte no polar, (hidrocarburo), sin carga, y otra parte polar (con carga).

La parte no polar prácticamente no reacciona con el agua, y es la que proporciona las propiedades hidrofóbicas, esto es debido a que los radicales del hidrocarburo tienen fuerzas de enlace Van der Waals, las cuales son muy débiles comparadas con las fuerzas de enlace dentro de las cadenas del hidrocarburo (C-C), las cuales son muy fuertes.

Por otra lado, la parte polar del colector reacciona con el agua.



Los colectores se clasifican en:

- a) Compuestos iónicos, los cuales se disocian en iones dentro del agua.
- b) Compuestos no ionizados, son no polares y prácticamente insolubles en agua. Estos vuelven al mineral repelente al agua cubriendolo con una película delgada.

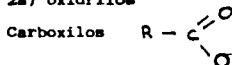
Los colectores iónicos se dividen a su vez en:

- 1.- Catiónicos.- el catión es el repelente al agua, se basan en nitrógeno pentavalente.
- 2.- Aniónicos.- el anión vuelve al mineral repelente al agua, estos son los más comúnmente usados por su gran selectividad y fuerte enlace.

2a) Oxidrilos, se basan en grupos orgánicos y sulfoácidos.

2b) Sulfidrilos, se basan en azufre bivalente.

2a) oxidrilos



Sulfatos



Sulfonatos



2b) Sulfidrilos

Xantatos



ditiofosfatos



- Espumantes.- Estos generalmente son reactivos orgánicos heteropolares, los cuales se pueden adsorber en la interfase aire / agua.

Los dipolos del agua se combinan con los grupos polares del espumante y las partes no polares se orientan hacia la fase del aire.

Las acciones del espumante pueden ser:

- Las moléculas de espumante previenen la coalescencia de las burbujas de aire y ayuda a la dispersión de estas.
- La adsorción del espumante en la burbuja, la cual consiste de moléculas de reactivo hidratadas (grupo polar), junto con su grupo no polar orientado hacia el aire, incrementando así la resistencia de la burbuja a diferentes fuerzas externas.
- Las capas de adsorción en la burbuja reducen la velocidad de movimiento de burbuja en la pulpa. Por lo cual el contacto de la burbuja con el mineral se prolonga y se crean condiciones más favorables para el ataque.

Por otro lado esta reducción en la velocidad de burbuja reduce la fuerza de colisión entre las burbujas, esto tiene un efecto favorable en la estabilidad de la espuma.

Los espumantes deben ser en cierto grado solubles en agua, si no es así, estas se distribuyen muy irregularmente en la solución acuosa y sus propiedades no resultan tan efectivas.

Los espumantes más comunes contienen un grupo:

Carboxilo — OH

Carbonilo = $\text{C}=\text{O}$

Amina — NH_2

Sulfo — OSO_2OH

Carboxilo — $\text{C}=\text{O}$
 OH

- Agentes modificadores.- Estos reactivos pueden actuar como depresores, activadores, reguladores de pH y dispersantes.

Los depresores inhiben o previenen la adsorción de un colector sobre la partícula mineral, por lo cual previenen su flotación.

Los activadores alteran la naturaleza química de la superficie del mineral, por lo cual sirven de enlazadores de la adsorción del colector.

Dentro de los reguladores de pH más comunes tenemos: CaO , Na_2CO_3 , NaOH , H_2SO_4 .

c) Angulo de contacto.

Cuando se han agregado a la pulpa mineral los colectores, se obtiene una capa hidrofóbica, de esta manera la partícula está lista para flotarse adheriéndose a la burbuja de aire; la estabilidad existente entre el mineral-burbuja depende de las fuerzas que actúan en la superficie. Dichas fuerzas implican la formación de un ángulo de contacto entre tres fases que son: sólido, líquido y gas (fig. 4).

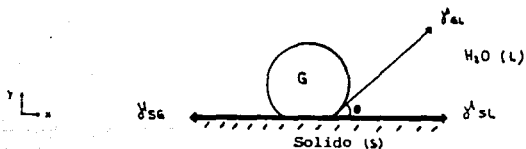


Figura 4

Haciendo un balance de tensiones en este sistema tenemos:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \text{componente en } x \text{ de } \gamma_{GL}$$

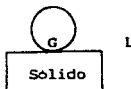
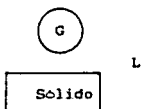
en el equilibrio: $\gamma_{as} = \gamma_{sl} + \gamma_{al} \cos \theta$ (*)

γ es la tensión superficial.

Para que exista flotabilidad debemos tener:

$$\gamma_{as} > \gamma_{sl} + \gamma_{al} \cos \theta$$

Si analizamos las energías libres de los sistemas, antes y después del ataque de la burbuja, tendremos:



Antes de ataque de burbuja.

$$1.- \Delta G_1 = \gamma_{al} + \gamma_{sl}$$

Después de ataque de burbuja.

$$2.- \Delta G_2 = \gamma_{so}$$

$$\Delta G_1 - \Delta G_2 = \gamma_{al} + \gamma_{sl} - \gamma_{so} \quad (**)$$

Sustituyendo ecuación (*) en ecuación (**)

$$\Delta G/\text{Area} = \gamma_{al} + \gamma_{sl} - (\gamma_{sl} + \gamma_{al} \cos \theta)$$

$$\Delta G/\text{Area} = \gamma_{al} (1 - \cos \theta) \quad (***)$$

La ecuación (***) muestra que el cambio en energía libre es proporcional al ángulo de contacto. Por lo cual a un ángulo mayor, tendremos un mayor cambio en energía, implicando que el proceso es factible de llevar a cabo. Esto quiere decir que tendremos flotabilidad.

Se dice que los ángulos óptimos están entre 50 y 70 grados.

d) Tamaño de partícula

Se ha establecido que en la mayoría de los casos, la separación por flotación es más útil cuando los tamaños de partícula son

Por lo tanto para que tengamos flotabilidad, el trabajo de adhesión debe ser mayor que el trabajo de cohesión.

f) pH

A nivel general el pH influye en la flotabilidad de un mineral, pues a un cierto pH tendremos una cierta carga superficial la cual repercutirá en la adsorción o no adsorción del colector.

Se tienen ecuaciones empíricas las cuales nos dan un pH crítico de referencia para saber si el mineral es flotable o no bajo una concentración de reactivo específico, tal es el caso del xantato, donde:

$$\text{pH crítico} = 14.4 + \log [X^-]$$

$[X^-]$ es la concentración del xantato.

Abajo del valor de pH crítico, el mineral flota.

Arriba del valor de pH crítico el mineral no flota.

g) Fenómenos de adsorción.

El fenómeno de adsorción implica la transferencia de materia de una fase a una interfase:

fluido \longrightarrow L/G, L/L, o L/S; donde L es el líquido, S es el sólido y G es un gas.

Así mismo la adsorción entre adsorbente y adsorbato se maneja como:

- Adsorción física (fisisorción).- las moléculas del adsorbato se mantienen adheridas a la superficie del sólido por fuerzas relativamente débiles de Van der Waals.

Aquí se puede formar más de una capa, ya que el adsorbato queda como una película, el proceso es a menudo reversible y se establece rápidamente, aunado a un desprendimiento de energía, se favorece la

adsorción a baja temperatura.

- Adsorción química (quimisorción).- Aquí se produce una reacción química en la superficie del sólido, y el solvente está sujeto a la superficie por enlaces químicos relativamente fuertes (atracción coulombiana, formación de enlaces coordinados o covalentes).

En la quimisorción solo se forma una capa. El aumento en la temperatura lo favorece; también el proceso es a menudo irreversible.

La entalpía de quimisorción es mayor que la de fisisorción.

Para el caso de flotación tenemos:

El mineral es el adsorbente; la fase líquida es el agua ; y el surfactante es el material de transferencia o adsorbato.

La adsorción de los surfactantes dentro de una fase acuosa sobre los minerales, es un proceso que es función de varios parámetros, tales como:

- Propiedades del sólido.- solubilidad y potencial electroquímico interfacial.
- Propiedades de la solución.- salinidad, pH, temperatura.
- Propiedades de la superficie en sí misma.

La adsorción de los iones surfactantes sobre los minerales se debe principalmente a la atracción electrostática, ya que la mayoría de los minerales se cargan cuando se ponen en contacto con soluciones acuosas, además de que también hay una solubilidad finita y el resultado pueden ser iones simples o complejos, los cuales pueden tener un efecto significativo en el cubrimiento de cualquier adsorbato sobre el mineral.

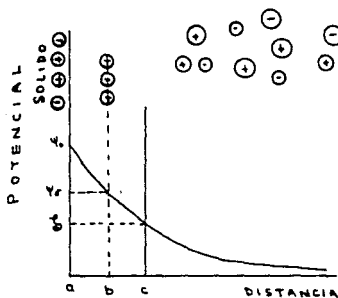
La carga interfacial puede ser el resultado principalmente de tres mecanismos:

1.- Interacción química superficial.- la cual consiste en una solvatación de las especies superficiales, seguida por una disociación. Ejemplos típicos de esta interacción ocurren en óxidos, silicatos y sales semisolubles.

El valor específico del PZC será determinado por la magnitud de la constante de disociación para grupos superficiales ácidos.

Para iones hidrógeno, óxidos e hidroxilo que se determinan potencialmente, sus superficies pueden tener una carga positiva en soluciones que son más ácidas que las correspondientes al PZC, y una carga negativa en soluciones alcalinas.

En este tipo de adsorción electrostática es importante analizar el fenómeno de la doble capa eléctrica, el cual se refiere a la carga en solución junto con la carga en la superficie del sólido. Esto se puede visualizar mejor en el esquema de la doble capa eléctrica según Stern.



donde: \ominus y \oplus son los iones determinadores de potencial.
 \ominus y \oplus son co-iones negativos y contraiones respectiv.
 ψ_0 = potencial de superficie.
 ψ_δ = potencial en el plano de Stern.
 a = carga superficial.
 b = plano de Stern.
 c = plano de Shear o capa difusa.

Los iones determinadores de potencial establecen la carga superficial.

El plano de Stern es la distancia de acercamiento máxima de los iones contrarios a la superficie.

Los iones contrarios actuarán para mantener la electroneutralidad.

Los iones determinadores de potencial pueden ser :
 iones de los cuales el sólido está compuesto, iones H^+ y OH^- , iones colectores que forman sales con los iones de la superficie mineral.

La diferencia de potencial entre la superficie y la solución global se conoce como potencial total de la doble capa.

La diferencia de potencial entre un plano hipotético que representa la distancia máxima de acercamiento del ión contrario hidratado a la superficie, y la solución global es ψ_δ , el cual generalmente se supone como el potencial zeta (ζ).

No es posible medir ψ_0 para un sólido, pero se puede calcular este valor si se conoce el PZC del sólido, de la siguiente manera:

$$\psi_0 = \frac{RT}{Z \cdot F} \ln \frac{a^+}{a^-} \quad \text{o} \quad -\frac{RT}{Z \cdot F} \ln \frac{a^-}{a^+}$$

donde a^+ y a^- son las actividades positivas y negativas de los iones determinadores de potencial en solución con valencias z^+ y z^- .

a° y a° son las actividades en el PZC.

R es la constante de los gases, T es la temperatura absoluta y F es la constante de Faraday.

De la observación de que hay un máximo de flotación de ciertos minerales con ácidos grasos en el PZC (donde la atracción electrostática es mínima o nula), se postula que los mecanismos son dependientes de los enlaces covalentes entre las especies surfactantes y las de la superficie mineral. Se dice además que existe una quimiadsorción (adsorción por reacción química y no electroquímica), donde los iones surfactantes liberan una cantidad equivalente de iones minerales y forman una capa superficial del producto de su reacción estequiométrica de intercambio iónico.

2.- Disolución preferencial de iones superficiales.- principalmente se aplica en sólidos iónicos univalentes, los cuales deben tener igual distribución superficial de aniones y cationes en sus planos de clivaje.

El signo del potencial superficial desarrollado en una solución saturada, es determinado por las magnitudes relativas de las energías libres de hidratación de los iones, los cuales constituyen la red cristalina. El ión con la mayor energía negativa de hidratación tiende a hidratarse más y dejar la superficie con un exceso del ión opuesto, de tal manera que así se establece el signo de la carga superficial.

3.- Sustitución en la red cristalina.- es un mecanismo en el cual un ión de un cierto elemento sustituye a otro.

Sin embargo este mecanismo no es muy aplicable en el proceso de flotación.

Los mecanismos de interacción de los colectores se clasifican en:

- 1.- Colectores en minerales sulfuro.
- 2.- Colectores en minerales no sulfuros.

Los minerales sulfuro son flotados por colectores del tipo sulfidrilo (los xantatos son más comunes). Estos colectores tienen una fuerte reactividad química, forman fuertes enlaces quimiadsorbidos en la superficie mineral.

Dentro del mecanismo del colector en la flotación de minerales existen controversias, pero principalmente hay dos teorías:

- a) teoría de la solubilidad o teoría de la formación de compuestos químicos (originada por Taggart).

Esta teoría afirma que la película hidrofóbica se ha formado a partir de un compuesto químico originado por la descomposición entre el colector y la sal presente en la superficie del mineral. Esta teoría no es aplicable a todos los minerales, por ejemplo los sulfuros de hierro se flotan con xantato, pero no se ha observado un xantato de hierro.

Existe una correlación positiva muy general entre la flotabilidad de la mayoría de los minerales y la solubilidad colector-metal. Dicha correlación se ve afectada por el tamaño de la molécula del colector, estructura cristalina del mineral y otros factores.

- b) Teoría de la adsorción iónica, la cual involucra el atrapamiento de los colectores como un ion, una molécula, una monocapa y/o una multicapa, esta teoría sostiene que hay una adsorción de iones del colector por un mecanismo de intercambio iónico donde hay un desplazamiento de una cantidad equivalente de

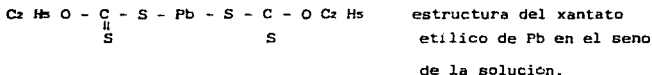
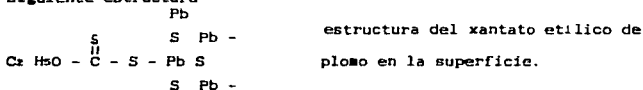
iones sulfoxilatos presentes en la superficie del sulfuro.

Muchas evidencias experimentales sostienen esta teoría, por ejemplo el xantato de plomo (PbX_2) precipitado en solución no muestra el mismo grado de flotación como cuando la galena es tratada con xantato.

La solubilidad de un compuesto en la superficie puede no ser necesariamente igual al mismo compuesto cuando este existe en el seno de la solución.

El debate de que el xantato quimiadsorbido es distinto del xantato de plomo en el seno de la solución ha sido demostrado por estudios infrarrojos de Greeler «1».

Cuando el mineral cuya superficie está superficialmente oxidado es tratado con un exceso de xantato, el espectro infrarrojo de las especies de la superficie corresponden al del xantato etílico de plomo; pero si esta muestra se limpia con acetona la cual disuelve el xantato de plomo, el mineral aun retiene una película del xantato de plomo, pero el espectro infrarrojo de esta es diferente al del xantato de plomo en el seno de la solución, y sugiere la siguiente estructura



Algunas bases experimentales sobre la teoría química de la colección hablan sobre la oxidación de sulfuros en la molienda. La mayoría de los sulfuros son solubles en agua. Cuando la galena se muele en húmedo en presencia de aire, la nueva superficie creada se oxida inmediatamente y esta capa oxidada contiene sulfatos y sulfóxidos menores y carbonatos de plomo. Una parte de estos se disuelve, pero otra se adhiere a la superficie de la partícula.

Así mismo las capas de la superficie son de menor solubilidad que la masa de la misma composición química y supone la hipótesis de que las películas de oxidación retenidas son muy delgadas, quizás sean monomoleculares, y que ellas son esencialmente parte de la red cristalina de la galena original, que los iones oxidados están enlazados a la red por fuerzas intermedias entre la atracción del azufre para los iones plomo de la masa de la galena y de los iones oxidados para el plomo en su respectivo estado cristalino masivo.

Influencia del oxígeno en la flotación de la galena

Se han hecho estudios acerca del sistema galena / xantato y de la influencia del oxígeno en tal sistema, los cuales arrojan resultados interesantes.

Los xantatos de metales alcalinos y de tierras alcalinas son solubles en agua, por el contrario, sales xánticas de metales pesados solamente poseen solubilidades limitadas en solución acuosa.

Los productos de solubilidad de metales xánticos disminuyen con el incremento de la longitud de la cadena.

Por ejemplo el hecho de que el Kps del xantato etílico de zinc (4.9×10^{-9}) sea considerablemente mayor que el xantato etílico de plomo (2.1×10^{-17}) o el xantato etílico de cobre (5.2×10^{-20}) se puede aplicar importantemente en la separación por flotación selectiva de esfalerita, calcopirita y galena ".

La estabilidad de ciertos colectores sulfidrilos es dependiente del pH de la solución. Para el caso del xantato etílico su descomposición es función del pH y del tiempo, (graf.1).

Por otro lado los rangos de estabilidad para el xantato y dixantógeno están a un pH de 8-13 y de 1-11 respectivamente.

A pH 5 la hidrólisis del ión xantato a las especies moleculares, ácido xántico, ocurren en un medio ácido. Así, el ácido formado se descompone a disulfuro de carbono y alcohol:



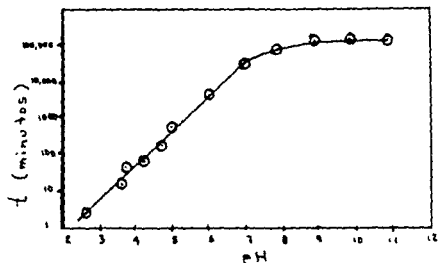
HEX es el ácido xántico.

ROH es el alcohol etílico.

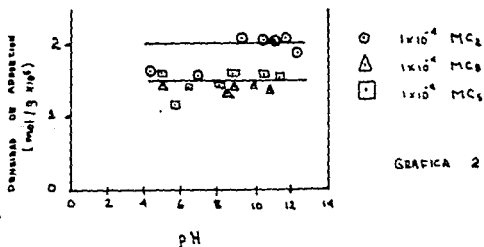
Los xantatos son descompuestos lentamente en medios alcalinos, pero el mecanismo es diferente en dichos medios, los productos de

reaccion son disulfuro de carbono y monotiocarbamato.

Pruebas hechas en, acerca de la adsorción de xantatos sobre la galena muestran que dicha adsorción es una función del pH, (graf.2) la cual muestra densidad de adsorción de varios xantatos sobre la galena como una función del pH en virtual ausencia de oxígeno. Area superficial de la galena $0.243 \text{ m}^2/\text{g}$.



GRAFICA 1 (6a)



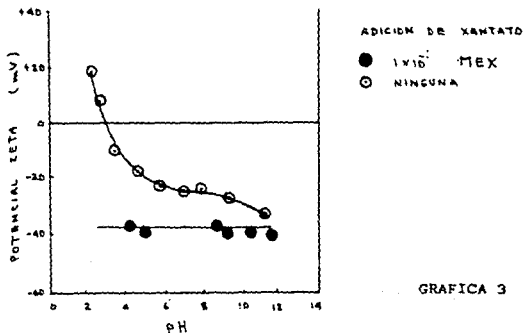
GRAFICA 2 (6a)

De la gráfica 2 se pueden analizar dos fenómenos:

- 1.- la adsorción es independiente del pH.
- 2.- la densidad de adsorción es ligeramente menor para xantatos de cadena más largas.^{10*}

La densidad de adsorción de 2×10^{-6} mol EX^- /g galena (EX^- es el ión xantato) representa el cubrimiento de la superficie por una monocapa, suponiendo que un ión xantato se adsorbe sobre el ión plomo de la superficie, el hecho de que la adsorción ocurra a valores altos de pH indica que el ión xantato es la especie activa en este sistema en vez del ácido xántico.

En la siguiente gráfica N° 3 podemos analizar un poco la adsorción química representada por el potencial zeta de la galena en función del pH en virtual ausencia de oxígeno.

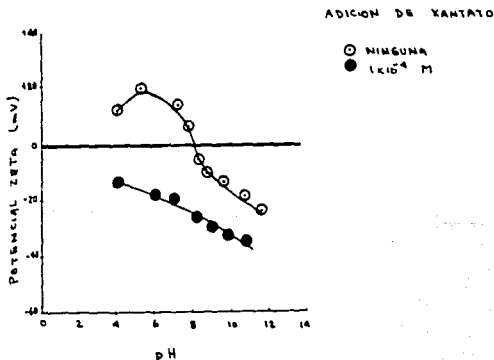


GRAFICA 3

(10*) potencial zeta de la galena como una función del pH en ausencia y presencia del xantato etílico en virtual ausencia de oxígeno.

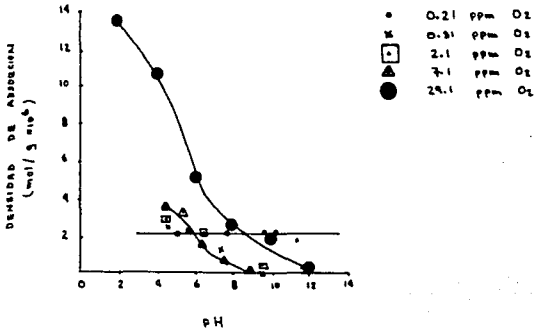
El PZC de la galena está a un pH de 2.6 y el PZ es negativo arriba de este pH. Cuando se adiciona 1×10^{-3} mol/lit. de xantato etílico, el potencial zeta se vuelve más negativo sobre este rango de pH, y como se ve el potencial zeta se vuelve más constante e independiente del pH.

Un incremento en el potencial zeta es indicativo de la formación de una nueva fase sobre la superficie mineral. Además la adsorción de un colector iónico negativamente cargado, en una superficie cargada negativamente podría ocurrir solamente mediante una reacción química entre el colector y la superficie iónica del mineral, graf.4, en la cual se puede analizar el PZC y el potencial zeta para la galena en presencia de oxígeno.



GRAFICA No.4 (60)

En la gráfica N° 5 se aprecian los diferentes efectos sobre la densidad de adsorción del xantato etílico en galena en función del pH a diferentes concentraciones de oxígeno.



GRAFICA No. 5(a)

Por otro lado, viendo el papel que juega el oxígeno en la adsorción de los xantatos sobre galena se han presentado diferentes controversias a través de los años, la adsorción del xantato sobre la galena es presentado como una función principal del pH y concentración del oxígeno, estudios realizados acerca de esto indican que una muestra de galena oxidada con peróxido de hidrógeno presenta un gran cubrimiento por el xantato.

En un sistema desoxigenado el máximo cubrimiento corresponde a casi una monocapa, este resultado contradice las observaciones de los primeros investigadores que trabajaron en esto, los cuales encontraron la adsorción del xantato en multicapas.

Gaudín y Finkelstein dicen que esta discrepancia se debe a las velocidades de flujo considerablemente altas (100-200 ml/min) usadas en el trabajo que encontraron una monocapa.

Se ha reconocido que la interacción mineral-xantato se mejora radicalmente por el contacto con el oxígeno. Además también se ha llegado a concluir que la oxidación del xantato en solución aumenta la molécula neutral de dixantógeno, el cual puede jugar un papel crucial en la formación de la película hidrofóbica.

Se ha sugerido que este dixantógeno formado por la oxidación del xantato es el adsorbato efectivo de las especies.

Según estudios de algunos autores sobre el oxígeno dicen que este promueve la deshidratación de la superficie del mineral, facilitando así la penetración del xantato y su consecuente fijación.

Otra atribución del oxígeno es la de limpiar los electrones presentes en la banda de conducción de la galena, la cual es conocida como semiconductor tipo-n y entonces facilita la adsorción del xantato iónico.

El oxígeno acepta electrones y cambia la galena de un semiconductor tipo-n a uno de tipo-p.

Estudios electroquímicos sobre el sistema galena-xantato dan una importancia fundamental al oxígeno. El efecto del xantato en el potencial electroquímico de un electrodo de galena indica que dicho

potencial cae cuando se adiciona el xantato.

Aquí el oxígeno juega un doble papel en el mecanismo colector del xantato:

1°.- Superficialmente oxida a la galena formando una película de tiosulfato básico el cual interactúa con el xantato formando una película de xantato de plomo en la superficie.

2° Eleva el potencial electroquímico de la galena hasta que el xantato empieza a oxidarse a dixantógeno. De aquí una película mixta de xantato y dixantógeno vuelven la superficie mineral hidrofóbica.

Por otro lado, analizando los ángulos de contacto se ha encontrado uno de 80 grados, el cual es identificado cuando se forma una película de dixantógeno en la superficie de la galena, teniéndose un ángulo de 60 grados cuando el xantato es puro.

Algunos autores han encontrado que en ausencia de aire u oxígeno el mineral acondicionado con xantato etílico muestran un ángulo de 60 grados.

Los xantatos de cadenas más largas también forman las películas de los correspondientes dixantógenos en la presencia de oxígeno elevándose el ángulo de contacto.

Se ha sugerido que el ángulo de 60 grados probablemente es debido a un ángulo de contacto característico de una película mixta de xantato y dixantógeno, mientras que el valor de 80 grados es debido únicamente a una película de dixantógeno.

Por estudios electroquímicos realizados se ha llegado a concluir que las especies responsables de la formación de la película hidrofóbica cuando se adiciona como colector el xantato, son los

dixantógenos.

Hablando en cuanto a la estructura cristalina, el arreglo atómico en las redes es otro factor importante que determina el mecanismo colector de xantato (en este caso).

Se tiene una regla de los gases en la interacción mineral-colector. Hay dos gases el O_2 y CO_2 ; que son los que influyen en la flotabilidad de un mineral.

El oxígeno disuelto en agua es adsorbido en la superficie del mineral preferentemente a otros gases como el N_2 y CO_2 , esto es debido a fuerzas químicas.

Si no hay oxígeno, la superficie es hidrofílica. Cuando el oxígeno entra en contacto, éste se fija en la superficie por un proceso de adsorción activada seguida por una oxidación de la superficie con difusión del oxígeno en la capa superficial.

La relación de incrementos de flotabilidad para varios sulfuros depende de su actividad en relación al O_2 .

De acuerdo a la cantidad de oxígeno necesario para una flotación completa con un colector, se han dado las siguientes series de actividad:

Galena, pirita, esfalerita, calcopirita, pirrotita y arsenopirita.

La interpretación de la actividad del mineral en relación al O_2 es difícil de hacerla.

La actividad química de los minerales es reflejada en su susceptibilidad a la oxidación, Plante y Sutherland han dado una serie en la cual la pirrotita es la más susceptible a la oxidación y la esfalerita es la última.

Cabe mencionar que ha habido contradicciones en cuanto a la

regla del oxígeno para aplicación en todos los sulfuros.

Analizando un poco la estabilidad de la película de colector adsorbido podemos ver que la fuerza de enlace para dicha adsorción difiere entre cada mineral, esto es reflejado en la estabilidad física de la película del colector.

La estabilidad térmica de las capas de adsorción formadas por xantato amilico es menor que la de xantato etilico, el xantato amilico adsorbido es más fácilmente oxidado que el xantato etilico adsorbido.

Es entonces de esperarse que la fuerza de enlace de las películas del dixantógeno resultante sean menores que las del xantato correspondiente.

Modulación de la acción del colector en sulfuros minerales.

Los activadores son reactivos que en la superficie del mineral promueven la adsorción del colector.

Por estudios hechos se ha llegado a la conclusión de que la activación es un mecanismo de intercambio iónico entre el ión metálico en la red mineral y el ión activador.

Analizando la activación de la esfalerita y la pirrotita por iones Cu^{2+} en base al mecanismo anterior se han obtenido las siguientes expresiones de equilibrio:

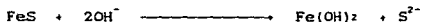
$$[\text{Fe}^{2+}]/[\text{Cu}^{2+}] = 5 \times 10^{17} \qquad [\text{Zn}^{2+}]/[\text{Cu}^{2+}] = 9 \times 10^{10}$$

De donde se esperaría que hubiera una activación preferencial de la pirrotita por el sulfato de cobre. Sin embargo en la práctica ocurre lo contrario.

Esto se atribuye a que hay una protección de la superficie de la pirrotita por una película de hidróxido de hierro (u óxido) que

protegen la superficie de iones Cu^{2+} . Esta película es formada en presencia de oxígeno a un pH suficientemente alto, alrededor de 10.

La pirrotita separa libremente iones Cu^{2+} en ausencia de oxígeno, pero a un pH por arriba de 11.2 esta libera iones azufre de acuerdo a la siguiente reacción:

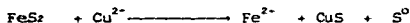
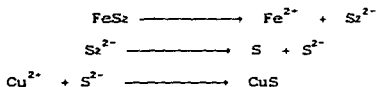


Los iones S^{2-} liberados precipitan los iones Cu^{2+} como sulfuro cuprico lo cual ocurre a una cierta distancia de la superficie mineral, siendo estos consumidos.

Los iones azufre no precipitados por el cobre ejercen una acción depresiva en la superficie mineral y entonces obstaculizan la flotación.

Se ha reportado esta idea en base a que la activación encontrada en la marmatita en presencia de oxígeno y a un pH alto el peso total de iones cobre separados por unidad de área superficial disminuye con un incremento en el contenido de hierro de la marmatita.

Teniendo la activación de pirita por CuSO_4 , tenemos:



$$K = \frac{[\text{Fe}^{2+}][\text{CuS}][\text{S}^0]}{[\text{FeS}_2][\text{Cu}^{2+}]}$$

$$K = \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]} = 4.3 \times 10^5 \quad (1)$$

Calculado de datos termodinámicos.

Si hay una oxidación de la pirita y se forma el hidróxido tenemos:



$$K_{ps} = [\text{Fe}^{2+}][\text{OH}^-]^2 \quad [\text{Fe}^{2+}] = 1.8 \times 10^{-15} / [\text{OH}^-]^2$$

$$K = [\text{Fe}^{2+}]/[\text{Cu}^{2+}] = 4.3 \times 10^5 = 1.8 \times 10^{-15} / [\text{OH}^-]^2 [\text{Cu}^{2+}]$$

$$[\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 4.18 \times 10^{-21}$$

De aquí que debería de ocurrir una separación significativa de iones Cu^{2+} cuando el valor del producto $[\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2$ es mayor que 4.18×10^{-21} .

Esta relación es válida para diferentes valores de pH.

La activación de la pirita no se dificulta por la presencia del oxígeno a un pH alto. Por otro lado la pirrotita si sufre cambios, pues forma una película por su oxidación.

Quizás la diferencia de la activación de la pirita y la pirrotita es la menor velocidad de oxidación de la pirita.

Por otro lado, minerales de plomo y zinc oxidados tales como la cerusita (PbCO_3), anglesita (PbSO_4), mitsonita (ZnCO_3) y wulfenita (PbMoO_4) son minerales flotados por colectores sulfidrilos del tipo xantato.

Es razonable esperar que los minerales oxidados de Pb y Zn adquieran hidrofobicidad por la formación del precipitado de xantato y esta es la causa de su marcada menor flotabilidad comparada con la de la galena, pues como se mencionó anteriormente el precipitado de PbX_2 no muestra el mismo grado de flotabilidad que la galena tratada con xantato.

Por otro lado, se maneja una teoría que expresa que los colectores tales como los xantatos cuando se adsorben sobre una superficie mineral son capaces de interaccionar específicamente con

el espumante el cual es adsorbido en la interfase aire/agua, esta asociación por lo tanto es parcialmente responsable del ataque de las partículas sólidas por las burbujas de aire.

La adsorción inferior a la película esta gobernada tanto por la forma de las cadenas parafínicas como por el tipo de interacciones entre los iones o dipolos.

Como los xantatos tienen una estabilidad inherente en solución acuosa se tiene otro factor a tomar en cuenta.

Durante la penetración de la monocapa, el ión xantato puede reaccionar y ser oxidado a su correspondiente dixantógeno.

Estas reacciones suceden lentamente y solo en en el seno de soluciones alcalinas, pero pueden acelerarse si el xantato es adsorbido en la superficie en una película mixta, aun más si ésta película es condensada y los grupos polares o iónicos están asociados muy cercanamente.

La inhabilidad de un xantato para formar una monocapa insoluble puede deberse no solamente a que sea propenso a la oxidación, sino simplemente a la menor adhesión del ión xantato al agua en comparación con los grupos más hidrofílicos tales como hidroxilos o carboxilos.

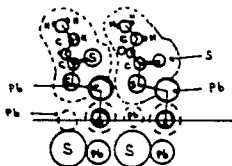
La descomposición del ión xantato en la interfase muestra una influencia muy marcada por la presencia de otras especies adsorbidas.

El orden de reactividad de las películas con el xantato es más fuerte cuando la asociación depende de una interacción ión-ión, menor en interacción ión-dipolo, y más débiles con iones de carga similar.

Siguiendo con el sistema galena-xantato, Leja y colaboradores muestran que cuando la galena tratada con xantato se le somete a vacío las multicapas de xantato son removidas. El xantato remanente en la monocapa muestra características de frecuencia espectrales similares a las observadas por Greenler cuando se limpia la muestra con acetona.

Las películas monomoleculares quimiadsorbidas de xantato que no son removidas por solventes tales como la acetona o por vacío han sido presentadas por Hagihara en base a los resultados de sus estudios de difracción y estructura cristalina.

Este postula la existencia de una molécula de xantato de plomo en la cual los átomos de plomo muestran un carácter monovalente en la vecindad de la superficie cristalina.



SUPERFICIE DE LA GALENA (13)

Estas formas bajo condiciones de baja concentración de xantato en solución puede inhibir la formación del precipitado del xantato de plomo.

Se dice que el átomo de plomo de la molécula PbSSCOR interactúa

y combina con el átomo de azufre del cristal de la galena recobrando su carácter divalente.

Hagihara también postula que en la vecindad de la superficie de la galena los iones xantato empiezan a oxidarse a dixantógeno liberando electrones a los iones plomo.

Esto resulta más más difícil de creer, porque la galena es generalmente considerada como un donador de electrones y la liberación de electrones a los iones plomo no es una condición necesaria para la formación de la película monocapa formulada por Hagihara.

La adsorción de la monocapa puede ser explicada simplemente en base al mecanismo de intercambio iónico.

Los iones plomo de la superficie están originalmente enlazados con iones hidroxilo o un número equivalente de iones oxisulfuro, los cuales posteriormente son intercambiados por iones xantato; esto también es satisfecho por datos de entalpía de Mellgren.

Yamasaki y Usui han estudiado el mecanismo colector de xantato en superficies de sulfuro de zinc.

Sus resultados muestran estrecha similitud con el mecanismo colector en la galena.

El análisis de los productos de suspensión remanente revelan que los iones xantato son adsorbidos por el mecanismo de intercambio iónico, una cantidad equivalente de iones tales como el sulfato empiezan a liberarse en el proceso.

En el caso de una muestra oxidada distinta a la monocapa de xantato, el dodecil xantato de zinc es formado por reacción entre

el dodecil xantato de potasio y el producto de oxidación del mineral.

Steininger ha dado soportes favorables acerca de la teoría del mecanismo de par iónico. Sus resultados experimentales indican que la flotación es inhibida cuando aproximadamente el 95% del colector es ionizado. Esto ha sido interpretado en base al mecanismo de adsorción de molécula neutra, el cual se presenta en dos pasos:



donde $-Zn^+$ representa sitios en la superficie del zinc.



R es un grupo alkilo y $-ZnSR$ es el colector adsorbido en la superficie del mineral.

Se ha demostrado que el pH límite superior de flotación está directa y cercanamente relacionado al pK_a de la molécula neutral colectora (por ejemplo el ácido xántico formado por la hidrólisis del xantato), así tenemos:

$$pH = pK_a + \log \frac{[RS^-]}{[RSH]}$$

y a una adición de colector constante (C), y para bajas recuperaciones de flotación cuando la cantidad de colector adsorbido sobre el mineral es pequeña comparado con C, tenemos:

$$[RS^-] \cong C - [RSH]$$

por lo cual:

$$pH = pK_a + \log \left\{ \frac{C}{[RSH]} - 1 \right\}$$

de acuerdo al mecanismo propuesto, la densidad de superficie de colector adsorbido varía con $[RSH]$ y con la densidad de sitios de superficie hidroxilatados ($-ZnOH$); de aquí:

$$[-ZnSR] = K_s[RSH][-ZnOH]$$

K_s es una constante

$$[\text{RSH}] = [-\text{ZnSR}]/K_s[-\text{ZnOH}]$$

de aquí se puede asumir que la recuperación de flotación (ρ) es determinada por la densidad superficial de colector adsorbido $[-\text{ZnSR}]$ a bajos cubrimientos de la superficie.

$$\rho = f([-ZnSR]) \quad \text{o} \quad [-ZnSR] = g(\rho)$$

por lo tanto podemos tener:

$$[\text{RSH}] = g(\rho)/K_s[-\text{ZnOH}]$$

y finalmente tendríamos:

$$\text{pH} \cong \text{pK}_a + \log \left\{ \frac{C \cdot K_s [-\text{ZnOH}]}{g(\rho)} - 1 \right\}$$

De esta última expresión tenemos que para una densidad constante de sitios de superficie hidroxilados y una recuperación de flotación constante, hay una relación lineal entre el pH y el pKa si K_s es el mismo para diferentes colectores.

El mecanismo anterior explica el hecho conocido de que la esfalerita no es efectivamente flotada por xantatos de cadena corta, tal como el xantato etílico de potasio. Ya que el valor de pKa disminuye con la disminución de la cadena del hidrocarburo, los xantatos de hidrocarburo de cadena menor son fuertemente ionizados, y ya que las sales de zinc de estos xantatos son relativamente solubles, la película hidrofóbica no es formada en la superficie de la esfalerita.

Con un colector no ionizado la formación de agua también contribuye a la energía libre de la reacción y representa una fuerza suplementaria a manejar para el desplazamiento de grupos OH^- por entidades de colector.

El análisis de Steininger no toma en cuenta la estabilidad de la película del colector en la superficie de la esfalerita en relación

a la estabilidad de la molécula neutral en la solución.

Se sabe que el ácido xántico es inestable en agua, su vida media es de unos cuantos minutos.

Si esto se aplica a la película del colector en la superficie mineral, entonces la flotación por adsorción de molécula neutral debe ser más inestable.

Es posible sin embargo, explicar el mecanismo postulando que el estado adsorbido del colector no es idéntico con el de la fase acuosa.

Yamasaki y Usui, también han preferido sugerir la adsorción de par iónico en vez de la adsorción por molécula neutra.

De todo esto se deriva que el mecanismo colector con respecto a la esfalerita es aún muy ambiguo.

Por otro lado, analizando un poco la termodinámica de todo este proceso se puede decir que las especies adsorbidas del xantato en la superficie de la galena no son necesariamente iguales con el xantato etílico de plomo normal existente en la fase acuosa.

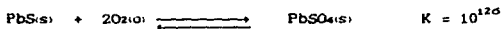
Esto se explica en base a que, aunque los valores de entalpía son los mismos, la entropía y la energía libre de Gibbs de las especies en el seno de la solución son diferentes de las especies adsorbidas.

Una característica entre especies en el seno de la solución y especies adsorbidas ya se mencionó anteriormente, y es la existencia de una molécula de xantato de plomo donde el átomo de plomo muestra un carácter monovalente ($Pb - SSCOR$) en la parte adsorbida, mientras que el xantato de plomo normal precipitado en solución tiene un carácter divalente $Pb(SSCOR)_2$.

En sistemas deficientes de oxígeno solo ocurre un cubrimiento del xantato sobre la galena.

En sistemas con oxígeno ocurre un cubrimiento con multicapas y se postula que este fenómeno ocurre como resultado de la siguiente secuencia de eventos:

1.- Oxidación de la superficie del sulfuro a tiosulfato y sulfato.



$$K = [\text{PbSO}_4]/[\text{PbS}][\text{O}_2]^2 = 1/[\text{O}_2] = 1/(\text{p O}_2)^2 = 10^{126}$$

en el equilibrio $\text{p O}_2 = 10^{-63}$ atm.

Como la presión de oxígeno en el aire es de 0.2 atm., ocurre la oxidación de sulfuro a tiosulfato.

2.- Reemplazamiento metatético de la superficie de tiosulfato y sulfato por carbonato:



3.- Reemplazamiento metálico de las especies de carbonato, sulfato y tiosulfato de plomo por xantato.

A los pH comunes de flotación 8-9, los xantatos de plomo son más estables que los carbonatos, sulfatos o tiosulfatos de plomo, y el xantato se formará por reemplazamiento metatético de estas sales de plomo.

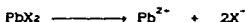
La verificación de las reacciones se han llevado a cabo por mediciones calorimétricas (2).

A continuación se muestran los calores de reacción del xantato etílico con sales de plomo y calores de adsorción del xantato en la superficie de la galena (2).

	Reacción	$-\Delta H$ (Kcal/mol Pb^{2+})
1.-	$PbSO_4 + 2KX \longrightarrow PbX_2 + K_2SO_4$	22
	$\overline{Galena}SO_4 + 2KX \longrightarrow \overline{Galena} \frac{X}{X} + K_2SO_4$	21.4
2.-	$PbCO_3 + 2KX \longrightarrow PbX_2 + K_2CO_3$	17.2
	$\overline{Galena}CO_3 + 2KX \longrightarrow \overline{Galena} \frac{X}{X} + K_2CO_3$	17.1
3.-	$PbS_2O_3 + 2KX \longrightarrow PbX_2 + K_2S_2O_3$	19.6
	$\overline{Galena}S_2O_3 + 2KX \longrightarrow \overline{Galena} \frac{X}{X} + K_2S_2O_3$	19.7

Como podemos ver los calores de reacción de las sales de plomo coinciden con los calores de adsorción de la galena por el xantato.

Así también tenemos a:



$$K_{ps} (PbX_2) = 2 \times 10^{-17}$$

$$\Delta G^{\circ}_{form.} = -RT \ln K_{ps} = -1.987 \times 298 \times \ln 2 \times 10^{-17} = 23.1 \text{ Kcal/mol.}$$

La adsorción de xantato sobre la galena por lo tanto ocurre en dos etapas:

La primera comprende la adsorción química de un ión xantato sobre cada ión plomo de la superficie, aquí posiblemente se lleva a cabo un intercambio del ión xantato por un ión hidroxilo.

La segunda etapa comprende la formación y adsorción de un precipitado global de xantato de plomo formado por reemplazamiento metatético de las especies oxisulfuro y carbonato sobre la superficie.

Una de las características de la cadena del hidrocarburo del colector es que mientras más grande sea esta cadena, se requerirá menor concentración. Entonces la estabilidad de los diferentes xantatos de plomo se incrementará a medida que la longitud de la

cadena tambien lo haga.

Así, si tenemos una misma concentración de Pb^{2+} , se requerirá menor concentración de xantato amílico para formar el precipitado de xantato amílico de plomo que xantato etílico para formar el xantato etílico de plomo.

También se tendrá una mayor hidrofobicidad en la superficie mineral cuando es mayor la cadena del hidrocarburo.

Investigaciones termodinámicas y de intercambio iónico muestran que el consumo de xantato durante la flotación se debe principalmente a las reacciones metatéticas entre los productos de oxidación de la superficie y los iones xantato²⁻.

Tales reacciones tambien ocurren en soluciones libres de oxígeno o en las que contienen agentes reductores, en ambas la flotación de la galena es mejorada.

La formación de capas hidrofóbicas sobre la superficie de la galena en soluciones de xantato aeradas es un resultado de las reacciones químicas y electroquímicas.

El exceso de oxígeno u oxidación es dañino para la flotación de la galena.

La intensidad y duración de agitación por burbujeo de oxígeno tambien es otro factor importante.

La figura 6 es un diagrama potencial-pH en el cual existe un área favorable para la flotación de la galena, así mismo también se observa un rango experimental de potenciales en los cuales el contacto de burbuja es analizado a diferentes valores de pH. Estos potenciales son el resultado de varias reacciones electroquímicas y caen en el área donde se favorece la coexistencia de PbX_2 , X^- y X_2 .

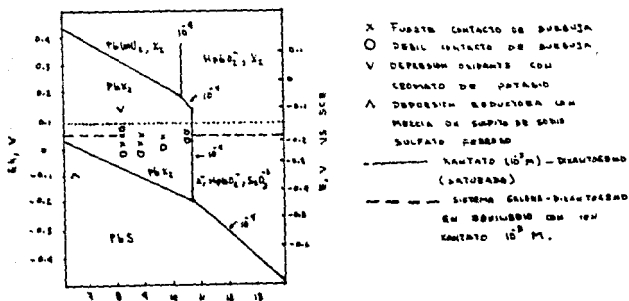


Figura 6. Sistema galena-oxigeno-xantato

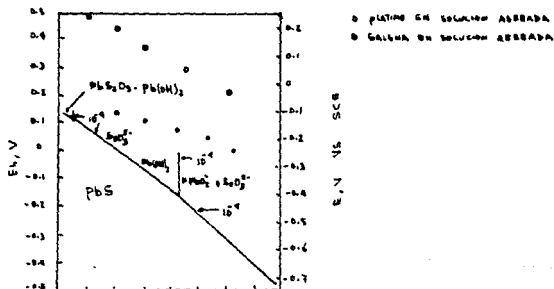


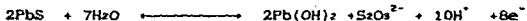
Figura 7. Sistema galena-oxigeno-agua

Sistema galena-oxígeno-agua

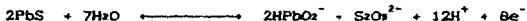
Los potenciales mínimos requeridos para la oxidación de la galena pueden ser calculados de las siguientes reacciones, fig.7:



$$\text{Eh} = 0.505 - 0.059\text{pH}$$



$$\text{Eh} = 0.632 - 0.0737\text{pH} + 0.007 \log(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$



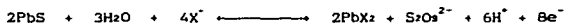
$$\text{Eh} = 0.841 - 0.0885\text{pH} + 0.015 \log(\text{HPbO}_2^-) + 0.007 \log(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Analizando el diagrama potencial-pH anterior (Fig.7) podemos concluir lo siguiente:

- la galena es un mineral inestable en agua que contiene oxígeno, una película de tiosulfato básico de plomo o de hidróxido de plomo cubre la superficie, inhibiendo su posterior oxidación aproximadamente a un pH de 7 o en soluciones un poco alcalinas.
- a potenciales menores que los indicados por líneas inclinadas, la velocidad de oxidación de la galena se vuelve teóricamente insignificante, y a potenciales mayores que los del electrodo de platino en una solución aireada (círculos vacíos) la velocidad de reducción del oxígeno del aire se vuelve prácticamente insignificante.
- el potencial mixto del electrodo de galena (círculos negros) se determina entonces por las velocidades de reducción catódica del oxígeno y la oxidación anódica de la galena.

Sistema galena-oxígeno-xantato

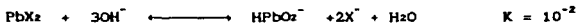
La reacción electroquímica que produce el xantato de plomo es:



$$E_h = 0.194 - 0.44\text{pH} + 0.007 \log (\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) - 0.0295 \log (\text{X}^-)$$

Para dibujar la línea de equilibrio las especies iónicas pueden permanecer constantes a 10^{-4} M.

La estabilidad del xantato de plomo es determinada por la siguiente ecuación:



manteniendo la plumbita y el xantato igual a 10^{-4} M el pH crítico se vuelve 10.7.

La descomposición del xantato de plomo por oxidación es determinada por las siguientes reacciones:

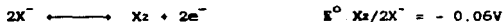


$$E_h = 1.225 - 0.0885\text{pH} + 0.0295 \log (\text{HPbO}_2^-)$$



$$E_h = 0.800 - 0.059 \text{pH}$$

La oxidación de ión xantato a dixantógeno es:



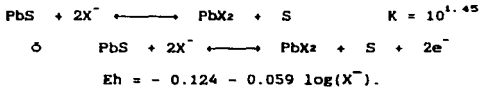
$$E_h = -0.081 - 0.059 \log (\text{X}^-)$$

La adhesión de la burbuja solamente puede ser obtenida en el área donde el xantato de plomo es estable, y la oxidación del xantato fue apreciable. Cuando los potenciales se vuelven más altos que el de saturación de la solución con dixantógeno, al mismo tiempo la formación de tiosulfato básico de plomo se vuelve más apreciable, desaparece el contacto de burbuja.

A un pH de 9 aparece el contacto de burbuja antes que cualquier formación de tiosulfato básico de plomo. Además la interacción del ión xantato con su producto de oxidación es innecesario para la

formación de la película hidrofóbica.

También se observa que los potenciales correspondientes a un fuerte contacto de burbuja caen en un área paralela al potencial de equilibrio del sistema xantato-dixantógeno, y coincide muy cercanamente con el potencial de equilibrio del sistema dixantógeno-galena (línea punteada).



La solubilidad de dixantógeno en agua es de 10^{-5} M.

La adhesión fuerte de burbuja ocurre a una concentración de dixantógeno aproximadamente de $10^{-0.45}$ M.

La transferencia de electrones y por lo tanto la quimiadsorción de los iones xantato se vuelve más apreciable a estos potenciales, a potenciales mayores la formación de productos de oxidación hidratados compite con el xantato de plomo hidrofóbico y finalmente impide el contacto de burbuja.

Los potenciales correspondientes a la depresión por oxidación de la galena por cromato y a la depresión por reducción con iones sulfito también justifica estas consideraciones.

Como conclusión de la parte de sistemas de equilibrio de especies del el diagrama potencial-pH podemos concluir lo siguiente:

Los potenciales a los cuales aparece la adhesión de burbuja están situados en paralelo bajo la línea de equilibrio del sistema galena-dixantógeno. Esta reacción concuerda con la reacción de transferencia de electrones del ión xantato, habiendo

químicas de adsorción y formación del dixantógeno.

Así como con soluciones libres de oxígeno, los agentes reductores son capaces de producir potenciales suficientemente bajos en soluciones aeradas evitando el contacto de la burbuja por la ausencia o muy pequeña interacción química entre la galena y el ión xantato.

Cuando la galena es agitada en soluciones de xantato completamente oxigenadas, el contacto de la burbuja se desvanece debido a la competencia en la formación de productos de oxidación hidratados (ej. tiosulfato básico de plomo). Efectos similares también pueden ser obtenidos por agentes de oxidación los cuales llevan el potencial de la galena al mismo nivel o a uno más alto.

A un pH de 8 el contacto de la burbuja aparece antes de cualquier formación posible termodinámicamente de tiosulfato básico de plomo.

Una interacción del ión xantato con su producto de oxidación es además innecesario para la formación de una capa hidrofóbica.

Hay un rango límite de potencial para el sistema galena-oxígeno-xantato, solución en la cual el contacto de burbuja se lleva a cabo.

El área la cual indica las condiciones apropiadas para la flotación de la galena en un diagrama potencial-pH cae en los límites de estabilidad donde la coexistencia de xantato de plomo, ión xantato y dixantógeno es más favorable.

CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental consistió en la flotación de un mineral de galena, el cual se llevó a cabo en una celda no convencional, sellada y con una serie de aditamentos para suministrar el nitrógeno, aire, pulpa, reactivos, etc., esta se detalla posteriormente.

Como se menciona al principio de este trabajo, se analizó la influencia del oxígeno disuelto en la pulpa y su efecto en la recuperación del mineral de plomo.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Se efectuó un barrido de concentraciones de oxígeno de 0.1-7.3 ppm con intervalos de 0.9 ppm.
- Se manejaron tres concentraciones diferentes de un solo reactivo (xantato etílico de potasio): 5.21×10^{-5} , 1.29×10^{-4} , 2.07×10^{-4} M

Por lo cual combinando estas pruebas se tuvieron un total de 27 corridas experimentales.

- La pulpa manejada fue de un 25% en peso; esto es 1500 g de agua y 500 g de mineral.

procedimiento

La secuencia fue la siguiente:

- 1.- se colocó en la celda 1500 cm³ de agua, con la posterior introducción del electrodo de medición de oxígeno disuelto y se sellaba la celda herméticamente.
- 2.- Se introdujo un flujo de aire o de nitrógeno de tal manera que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua fuese la deseada.
- 3.- Enseguida se alimentó el mineral (500g).

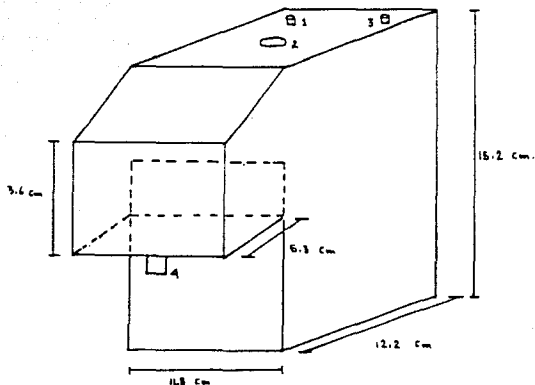
- 4.- Se ajustó el pH a 9 con Na_2CO_3 .
- 5.- A continuación se adicionó el colector y se le proporcionó un tiempo de acondicionamiento de 5 minutos.
- 6.- Finalmente se adicionó el espumante y se llevó a cabo la flotación (aproximadamente durante 10 min.).

Es importante hacer notar que el contenido de oxígeno disuelto permaneció constante durante todo el tiempo que duró la prueba.

Material y equipo usado

- Se usó un medidor de oxígeno marca YSI modelo 54A con un rango de medición de 0-20ppm, con sensibilidad de 0.1 ppm.
- Dos flujómetros para medir el nitrógeno y aire inyectados; N° 12 de 0 - 2000 ml/min y N° 13 de 0 - 14 lt/min para agua y aire, marca Gilmont.
- Un tanque de nitrógeno.
- Una celda de flotación, la cual se fabricó en el laboratorio.

Esta se construyó de acrílico y con un volumen aproximado de 2000 cm^3 . Estas dimensiones son cercanas a una celda Denver de laboratorio de capacidad de 2500 cm^3 .

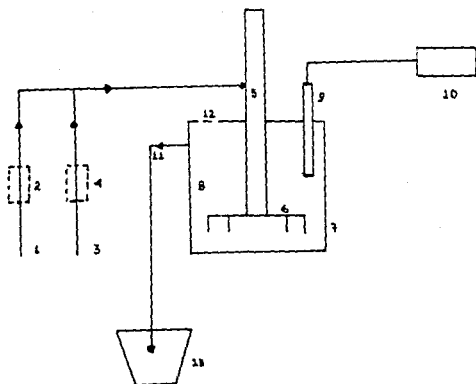


- 1.- Orificio para alimentar mineral, agua y reactivos.
- 2.- Orificio para el agitador.
- 3.- Orificio para el electrodo de medición del oxígeno.
- 4.- Orificio para recuperar el concentrado.

Además, se usó el aspersor y agitador de una celda Denver de laboratorio.

Por otro lado, hablando en cuanto al mineral en sí, se hizo un análisis mineralográfico de éste para analizar que especies mineralógicas se tenían en la muestra a trabajar y como estaban relacionadas e interaccionadas entre sí.

Para dicho análisis se cortaron tres piezas de mineral (aproximadamente de unos 2 cm.) y se montaron en probetas, se prepararon pasándolas por lija 200 a 600, a continuación se pulieron pasándolas por paño grueso y fino con alúmina de 3 a 0.05 μm , y por último se analizaron al microscopio.



Dispositivo Experimental

- 1.- Flujo de nitrógeno.
- 2.- Flujoímetro para nitrógeno.
- 3.- Flujo de aire.
- 4.- Flujoímetro para aire.
- 5.- Tubo alimentador de gases.
- 6.- Agitador.
- 7.- Celda de flotación.
- 8.- Pulpa
- 9.- Electrodo para medir oxígeno.
- 10.- Medidor de oxígeno disuelto.
- 11.- Salida de concentrado.
- 12.- Orificio para introducir agua, mineral y reactivos.
- 13.- Recipiente para concentrado.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y GRAFICAS

Con el objeto de identificar las especies minerales, sus dimensiones, porcentaje de cada una de ellas en las muestras y sus relaciones texturales, se realizó un estudio mineralográfico sobre tres muestras representativas de la mena, los resultados se presentan a continuación.

MUESTRA 1



MINERALES ESENCIALES (mayores al 10%): galena (tamaño promedio 100 μm), esfalerita (cristales de 100 μm hasta 500 μm) y pirita (tamaños aproximados de 100 a 400 μm).

MINERALES ACCESORIOS (del 1 al 10%): calcopirita con tamaños de aproximadamente 20 μm hasta diseminados), pirrotita (se encuentra como diseminados).

MINERALES ACCIDENTALES (menores al 1%): ninguno.

DESCRIPCION: La pirita se presenta como cristales euedrales de sección cuadrada, así como también subedrales y ocasionalmente anedrales.

La esfalerita exhibe una relación de reemplazamiento sobre la

galena y la pirita, adaptándose ocasionalmente a la forma geométrica de la pirita sin llegar a reemplazarla.

La galena se presenta como cristales subedrales.

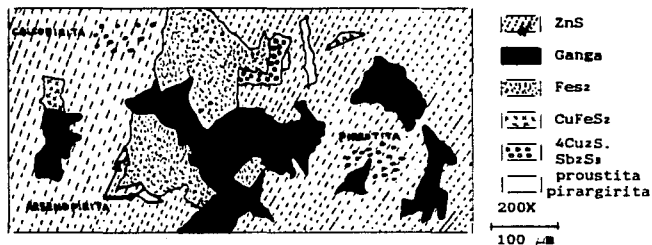
La calcopirita y la pirrotita ocurren a manera de cristales anedrales diseminados principalmente en la esfalerita.

PARAGENESIS:

MINERALES HIPOGENICOS

PIRITA	(FeS ₂)	_____
GALENA	(PbS)	_____
PIRROTITA	(Fe _{x-1} S _x)	_____
CALCOPIRITA	(CuFeS ₂)	_____
ESFALERITA	(ZnS)	_____

MUESTRA 2



MINERALES ESENCIALES (mayores al 10%): pirita (tamaño aproximado entre 100 y 200 μm), esfalerita (tamaño promedio 500 μm).

MINERALES ACCESORIOS (1 al 10%): calcopirita (tamaño aproximado 5 μm a 40 μm), pirrotita (con tamaño promedio de 5 a 40 μm).

MINERALES ACCIDENTALES (MENORES AL 1%): arsenopirita (con tamaño aproximado de 10 μm), tetrahedrita (tamaño de 50 μm), sulfosales de la serie proustita-pirargirita (tamaño alrededor de 10 μm).

DESCRIPCION: La pirita se presenta como cristales subedrales.

Los cristales de la arsenopirita son euedrales de sección rómbica, los cuales están diseminados en la muestra o intercrecidos con pirita.

La tetrahedrita ocurre como cristales anedrales adaptándose al contorno de la pirita, así como también diseminados a manera de inclusiones dentro de la esfalerita.

Proustita-pirargirita, son los miembros extremos de una serie mineral también conocida como "platas rojas", estos minerales se encuentran rellenando pequeñas fracturas dentro de la mena, así como también incluidos en la galena o intercrecidos con la tetrahedrita.

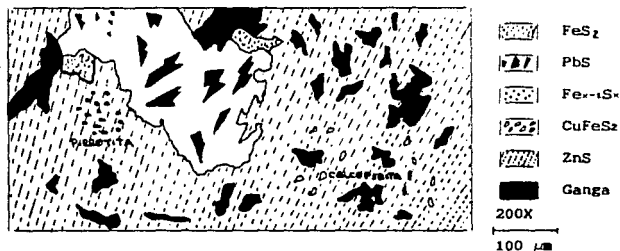
Los diseminados de calcopirita se encuentran en la esfalerita.

PARAGENESIS

MINERALES HIPOGENICOS

PIRITA	(FeS_2)	_____
PIRROTITA	($\text{Fe}_{1-x}\text{S}_x$)	—
CALCOPIRITA	(CuFeS_2)	—
ESFALERITA	(ZnS)	_____
TETRAHEDRITA	($4\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$)	_____
PROUSTITA-PIRARGIRITA	($3\text{As}_2\text{S}_3 \cdot \text{As}_2\text{S}_3$) ($3\text{As}_2\text{S}_3 \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$)	_____

MUESTRA 3



MINERALES ESENCIALES (mayores al 10%): galena (tamaño promedio 180 μm), esfalerita (aproximadamente 200 μm).

MINERALES ACCESORIOS (1 AL 10%): pirita (cristales de aproximadamente 60 μm), calcopirita (con tamaños de 10 μm), pirrotita (tamaño de 5 μm).

MINERALES ACCIDENTALES (menores al 1%): ninguno.

DESCRIPCION: La galena se presenta como cristales subedrales, los cuales se encuentran adaptados a la forma geométrica de la pirita, la cual también presenta una forma de cristales subedrales.

La calcopirita y pirrotita se encuentran diseminadas en toda la muestra, principalmente en los cristales de la esfalerita.

La esfalerita presenta un frente de avance o de reemplazamiento sobre la galena.

PARAGENESIS

MINERALES HIPOGENICOS

PIRITA	(FeS ₂)	—
GALENA	(PbS)	————
PIRROTITA	(Fe _{x-1} S _x)	—
CALCOPIRITA	(CuFeS ₂)	—
ESFALERITA	(ZnS)	————

ANALISIS DE CABEZA

Pb	Cu	Zn	Fe
5.96	0.792	10.0	16.6

BALANCES METALURGICOS

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB. CALC.	CONC.	COLAS	CAB. CALC.
GRAMOS	205.8	288.9	494.7	168.4	327	495.4
% PESO	41.6	58.4	100	33.99	66.01	100
% LEY						
Pb	9.41	1.12	4.56	12.17	1.36	5.03
Cu	1.178	0.32	0.68	1.316	0.35	0.67
Zn	9.4	11.2	10.45	8.7	10	9.55
Fe	26.1	10.84	17.18	25.6	12.6	17.01
CONT. MET.						
Pb	391	65.4	456.8	413.6	89.77	503.3
Cu	49	19.03	68.03	44.73	23.1	67.83
Zn	391	654	1045	295.7	66.1	955.8
Fe	1085.7	633	1718	870.1	831.7	1701.8
% REC.						
Pb	85.67	14.33		82.16	17.84	
Cu	72.05	27.95		65.92	34.08	
Zn	34.41	62.59		30.93	69.07	
Fe	63.15	36.85		51.14	48.86	

PRUEBA 1

0.1 PPM O₂ DISUELTO
 0.0125 g KEX
 0.021 ml ESPUMANTE
 % SOL. PESO = 25
 N₂ = 2 lt/min
 AIRE = 0 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min.
 t FLOTAC. = 10 min.
 pH = 9

PRUEBA 2

1 PPM O₂ DISUELTO
 0.0125 g KEX
 0.020 ml ESPUMANTE
 % SOL. PESO = 25
 N₂ = 3 lt/min
 AIRE = 400 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min.
 t FLOTAC. = 10 min.
 pH = 9

KEX es el xantato etilico de potasio.

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	194.5	294.5	489	146	351.1	497.1
% PESO	39.7	60.3	100	29.37	70.63	100
% LEY						
Pb	12.8	0.6	5.57	15.32	3.644	7.07
Cu	1	0.276	0.57	1.433	0.303	0.63
Zn	7.69	3.72	6.07	8.8	10.4	9.92
Fe	26.9	10.84	17.38	24.7	13.32	16.6
CONT. MET.						
Pb	508.2	36.18	544.38	391	65.4	456.8
Cu	39.7	11.6	56.13	49	19.03	68.03
Zn	305.3	224.3	529.6	391	654	1045
Fe	1067.9	653.6	1721.5	725.4	940.7	1666.1
% REC.						
Pb	93.3	6.7		63.57	36.43	
Cu	70.5	29.5		66.24	33.76	
Zn	57.6	42.4		26.02	73.98	
Fe	62	38		43.54	56.46	

PRUEBA 3

1.9 PPM O₂ DISUELTO
 0.0125 g KEX
 0.02 ml ESPUMANTE
 % SOL. PESO = 25
 N₂ = 2 lt/min
 AIRE = 800 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min
 t FLOTAC. = 10 min
 pH = 9

PRUEBA 4

2.8 PPM O₂ DISUELTO
 0.0125 g KEX
 0.02 ml ESPUMANTE
 % SOL. PESO = 25
 N₂ = 2 lt/min
 AIRE = 1.2 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min
 t FLOTAC. = 10 min
 pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CAL.	CONC.	COLAS	CAB.CAL.
GRAMOS	138.8	355.2	494	133.5	360.9	494.4
% PESO	28.09	71.91	100	27	73	100
% LEY						
Pb	15.44	4.79	7.78	15.52	3.49	6.74
Cu	1.41	0.29	0.60	1.535	0.28	0.62
Zn	9.2	10.8	10.35	7.5	9.6	9.03
Fe	24.8	13.64	16.77	25	12.8	10.09
CONT. MET.						
Pb	433.7	344.8	778.5	419.04	255.2	674.24
Cu	39.6	21.06	60.66	41.4	20.65	62.05
Zn	258.4	776.6	1035	202.5	700.8	903.3
Fe	696.6	980.8	1677.4	675	934.4	1609.4
% REC.						
Pb	55.7	44.3		62.14	37.86	
Cu	65.34	34.66		66.77	33.33	
Zn	24.96	75.04		22.41	77.59	
Fe	41.52	58.48		41.96	58.04	

PRUEBA 5

3.7 PPM O₂ DISUELTO

0.0125 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

% SOL. PESO = 25

N₂ = 1.5 lt/min

AIRE = 1100 ml/min

t ACONDIC. = 5 min.

t FLOTAC. = 10 min.

pH = 9

PRUEBA 6

4.6 PPM O₂ DISUELTO

0.0125 g KEX

0.03 ml ESPUMANTE

% SOL. PESO = 25

N₂ = 1.5 lt/min

AIRE = 1500 ml/min

t ACONDIC. = 5 min.

t FLOTAC. = 10 min.

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB. CALC.	CONC.	COLAS	CAB. CAL.
GRAMOS	74.4	422.9	497.3	75.9	420.6	496.5
% PESO	14.96	85.04	100	15.28	84.72	100
% LEY						
Pb	13.82	5.62	6.54	11.71	8.908	9.33
Cu	1.715	0.412	0.60	1.697	0.401	0.59
Zn	8.7	9.2	9.12	10.5	8.8	9.05
Fe	24.2	15.12	16.4	24	15.76	17.01
CONT. MET.						
Pb	206.7	447.9	654.6	178.92	754.6	933.52
Cu	25.65	35.03	60.68	25.93	33.97	59.9
Zn	130.1	782.3	912.4	160.44	745.5	905.9
Fe	362	1285	1647	366.72	1335.1	1701.9
% REC.						
Pb	31.57	68.43		19.16	80.84	
Cu	42.24	57.76		43.31	56.69	
Zn	14.25	85.75		17.71	82.29	
Fe	21.97	78.03		21.51	78.49	

PRUEBA 7

5.5 PPM O₂ DISUELTO

0.0125 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1.25 lt/min

AIRE = 1500 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 8

6.4 PPM O₂ DISUELTO

0.0125 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 0.8 lt/min

AIRE = 1700 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	50	443.3	493.3	255.7	238.3	494
% PESO	10.13	89.87	100	51.76	48.24	100
% LEY						
Pb	13.37	7.628	8.2	8.69	0.52	4.74
Cu	1.836	0.416	0.55	1.151	0.218	0.70
Zn	10.5	7.6	7.89	17.2	6.8	12.18
Fe	23.2	15.12	15.93	23.3	11	17.36
CONT. MET.						
Pb	135.4	685.5	820.9	449.8	25.08	474.88
Cu	18.59	37.38	55.97	59.57	10.51	70.08
Zn	106.36	683	789.36	890.2	328	1218.2
Fe	235	1358.8	1593.8	1206	530.6	1736.6
% REC.						
Pb	16.49	83.51		94.72	5.28	
Cu	33.15	66.85		85	15	
Zn	13.47	86.53		73.07	26.93	
Fe	14.75	82.25		65.47	30.53	

PRUEBA 9

7.3 PPM O₂ DISUELTO

0.0125 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 700 ml/min

AIRE = 3.5 lt/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 10

0.1 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.020 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 2 lt/min

AIRE = 0 lt/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	163.7	332.3	496	179.5	317.3	496.8
% PESO	33	77	100	36.13	63.87	100
% LEY						
Pb	11.94	1.12	4.2	13.05	1.516	5.7
Cu	1.211	0.33	0.65	1.283	0.256	0.62
Zn	6.7	9.6	9.6	8.2	10.8	9.85
Fe	25.8	12.32	18	24.7	11.76	16.43
CONT. MET.						
Pb	394.02	86.24	420.26	473.5	96.82	570.3
Cu	39.96	25.41	65.37	46.35	16.35	62.7
Zn	221.1	739.2	960.3	296.2	689.7	985.9
Fe	851.4	948.6	1800	892.4	751.1	1643.5
% REC.						
Pb	82	18		82.9	17.1	
Cu	61.1	38.9		73.96	26.04	
Zn	23.03	76.97		30	70	
Fe	47.3	52.7		54.29	45.71	

PRUEBA 11

1 PPM O₂ DISUELTO
 0.0311 g KEX
 0.028 ml ESPUMANTE
 25% SOL. PESO
 N₂ = 3 lt/min
 AIRE = 400 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min
 t FLOTAC. = 10 min
 pH = 9

PRUEBA 12

1.9 PPM O₂ DISUELTO
 0.0311g KEX
 0.03 ml ESPUMANTE
 25% SOL. PESO
 N₂ = 2 lt/min
 AIRE = 800 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min
 t FLOTAC. = 10 min
 pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB. CALC.	CONC.	COLAS	CAB. CALC.
GRAMOS	132.5	365	497.5	179.3	313	492.3
% PESO	26.63	73.37	100	36.42	63.58	100
% LEY						
Pb	16.12	3.084	6.55	15.82	1.352	6.62
Cu	1.442	0.309	0.61	1.368	0.239	0.65
Zn	9.9	10	9.97	9.0	11.2	10.39
Fe	23.6	13.84	16.43	25	11.36	16.32
CONT. MET.						
Pb	429.2	226.2	655.5	576.1	85.96	662.06
Cu	38.4	22.6	61.07	49.82	15.19	65.01
Zn	263.6	733.7	997.3	327.7	712	1039.7
Fe	628.4	1015	1643.4	910.5	722.2	1632.7
% REC.						
Pb	65.48	34.52		87.02	12.98	
Cu	62.95	37.06		76.73	23.27	
Zn	26.44	73.56		31.51	68.49	
Fe	38.22	61.78		55.52	44.48	

PRUEBA 13

2.8 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 2 lt/min

AIRE = 1200 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 14

3.7 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1.5 lt/min

AIRE = 1110 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	107.2	386.4	493.6	77.5	416.5	494
% PESO	21.71	78.29	100	15.68	84.32	100
% LEY						
Pb	11.54	5.216	6.58	15.93	7.292	8.64
Cu	1.533	0.339	0.59	1.645	0.404	0.59
Zn	9.1	8.4	8.55	9.1	8.4	8.5
Fe	25.6	13.2	15.89	24.2	14.8	16.47
CONT. MET.						
Pb	250.5	408.3	658.8	249.7	614.8	864.5
Cu	33.28	26.54	59.82	25.79	34.06	59.85
Zn	197.5	657.6	855.1	142.6	708.2	850.9
Fe	555.7	1033	1588.7	379.4	1247.9	1647.3
% REC.						
Pb	38.02	61.98		28.88	71.12	
Cu	55.61	44.39		43.04	56.96	
Zn	23.11	76.89		16.77	83.23	
Fe	34.94	65.06		23.3	76.7	

PRUEBA 15

4.6 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1.50 lt/min

AIRE = 1500 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 16

5.5 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1.25 lt/min

AIRE = 1500 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. 10 min

PH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB. CALC.
GRAMOS	94.1	399.5	493.3	63.9	393.3	456.2
% PESO	19.07	80.93	100	14	86	100
% LEY						
Pb	11.8	6.428	7.45	11.08	7.628	8.11
Cu	1.532	0.37	0.59	1.655	0.393	0.56
Zn	12.4	8	8.83	10.3	7.6	7.97
Fe	23.5	13.7	15.56	22.5	14.52	15.93
CONT. MET.						
Pb	225	520.2	745.2	155.1	656	811.1
Cu	29.21	29.94	59.15	23.17	33.79	56.96
Zn	236.4	647.4	883.9	144.2	653.6	797.8
Fe	448.1	1108.7	1556.8	315	1248.7	1563.7
% REC.						
Pb	30.19	69.81		19.12	80.88	
Cu	49.4	50.6		40.66	59.34	
Zn	26.76	73.24		18.08	81.92	
Fe	28.75	71.25		20.15	79.85	

PRUEBA 17

6.4 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1 lt/min

AIRE = 1650 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 18

7.3 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 800 ml/min

AIRE = 3.75 lt/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	182.5	312.7	495.2	179	321	500
% PESO	36.85	63.15	100	35.8	64.2	100
% LEY						
Pb	11.28	1.416	5.05	11.32	0.648	4.46
Cu	1.091	0.398	0.65	1.193	0.312	0.62
Zn	9.2	10	9.7	9	9.6	9.38
Fe	25.7	11.72	16.87	25	12.16	16.75
CONT. MET.						
Pb	415.6	89.42	505.08	405.2	41.6	446.8
Cu	40.2	25.13	65.33	42.7	20.03	62.73
Zn	339.0	631.5	970.5	322.2	616.3	938.5
Fe	947	740.1	1678.1	895	780.6	1675.6
% REC.						
Pb	82.29	17.71		90.68	9.32	
Cu	61.56	38.44		68.1	31.9	
Zn	34.93	65.07		34.34	65.66	
Fe	56.13	43.87		53.43	45.57	

PRUEBA 19

0.1 PPM Oz DISUELTO
 0.0499 g KEX
 0.026 ml ESPUMANTE
 25% SOL. PESO
 Nz = 6 lt/min
 AIRE = 0 lt/min
 t ACONDIC. = 5 min
 t FLOTAC. = 10 min
 pH = 9

PRUEBA 20

1 PPM Oz DISUELTO
 0.0499 g KEX
 0.030 ml ESPUMANTE
 25% SOL. PESO
 Nz = 3 lt/min
 AIRE = 400 ml/min
 t ACONDIC. = 5 min
 t FLOTAC. = 10 min
 pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	205.4	292.3	407.7	170	330	500
% PESO	41.26	58.74	100	34	66	100
% LEY						
Pb	14.12	1.136	6.49	15.12	3.028	7.13
Cu	1.22	0.253	0.65	1.356	0.288	0.65
Zn	8	11.2	9.87	10.3	10.8	10.63
Fe	24.7	10.92	16.6	25.7	13.32	17.52
CONT. MET.						
Pb	582.5	66.72	649.2	514.08	199.8	713.9
Cu	50.33	14.86	65.19	46.1	19	65.11
Zn	330	657.8	987.8	350.2	712.8	1063
Fe	1019	641.4	1660.4	873.8	879.1	1752.9
% REC.						
Pb	89.72	10.28		72	28	
Cu	77.27	22.73		70.81	29.19	
Zn	33.4	66.6		32.95	67.05	
Fe	61.38	38.62		49.82	50.18	

PRUEBA 21

1.9 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.03 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 2.5 lt/min

AIRE = 800 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 22

2.8 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 2 lt/min

AIRE = 900 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB.CALC.	CONC.	COLAS	CAB.CALC.
GRAMOS	182.9	309.2	492.1	98.8	394.1	492.9
% PESO	37.16	62.84	100	20.05	79.95	100
% LEY						
Pb	12.92	4.696	7.75	12.96	5.44	6.94
Cu	1.352	0.257	0.66	1.531	0.378	0.609
Zn	11.7	9.6	10.38	10.4	8.4	8.8
Fe	24.6	12.72	17.13	24	13.92	15.94
CONT. MET.						
Pb	480.1	295	775.2	259.8	434.9	694.7
Cu	50.24	16.14	66.39	30.69	30.22	60.9
Zn	434.7	603.2	1038	208.5	671.5	880
Fe	914.1	799.3	1713.4	481.2	112.9	1594.1
% REC.						
Pb	62.18	37.82		37.39	62.61	
Cu	75.71	24.28		50.32	49.68	
Zn	41.89	58.11		23.69	76.31	
Fe	53.35	46.65		30.19	69.81	

PRUEBA 23

3.7 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 2 lt/min

AIRE = 1700 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 24

4.6 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.030 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1.5 lt/min

AIRE = 1600 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB. CALC.	CONC.	COLAS	CAB. CALC.
GRAMOS	86.1	409	495.1	96.1	396.5	492.6
% PESO	17.39	82.21	100	19.51	80.49	100
% LEY						
Pb	11.83	6.432	7.34	11.85	7.552	8.39
Cu	1.571	0.401	0.60	1.52	0.342	0.57
Zn	10.2	8.4	8.67	10.8	8.4	8.86
Fe	24.7	14.16	15.93	24.3	14.04	16.04
CONT. MET.						
Pb	205.7	528.7	734.4	231.1	607.8	839
Cu	27.79	32.96	60.75	29.65	27.52	57.18
Zn	177.3	690.5	867.9	210.7	676.1	886.8
Fe	429.5	1164	1593.6	474	1130	1604
% REC.						
Pb	28	72		27.54	72.46	
Cu	45.34	54.66		51.87	48.13	
Zn	20.44	79.56		23.76	76.24	
Fe	26.93	73.07		29.55	70.45	

PRUEBA 25

5.5 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1.5 lt/min

AIRE = 1600 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRUEBA 26

6.4 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 1 lt/min

AIRE = 1650 ml/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 MIN

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB. CALC.
GRAMOS	81.1	415.2	496.3
% PESO	16.34	83.66	100
% LEY			
Pb	12.43	4.82	6.06
Cu	1.508	0.348	0.53
Zn	12.4	6.8	7.71
Fe	22.2	12.84	14.36
CONT. MET.			
Pb	203.1	403.2	606.3
Cu	24.64	29.11	53.75
Zn	202.6	568.8	771.5
Fe	363.7	1074.1	1436.8
% REC.			
Pb	33.49	66.51	
Cu	45.81	54.19	
Zn	26.27	73.73	
Fe	25.2	74.8	

PRUEBA 27

7.3 PPM O₂ DISUELTO

0.0499 g KEX

0.028 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N₂ = 800 ml/min

AIRE = 3.75 lt/min

t ACONDIC. = 5 min

t FLOTAC. = 10 min

pH = 9

PRODUCTO	CONC.	COLAS	CAB. CALC.
GRAMOS	256.6	242.6	499.2
% PESO	51.4	48.6	100
% LEY			
Pb	11.6	1.28	6.58
Cu	0.8	0.16	0.48
Zn	8.97	5.28	7.17
Fe	21.8	11.12	16.6
CONT. MET.			
Pb	596.24	62.2	658.44
Cu	41.12	7.77	48.89
Zn	461.06	256.6	717.65
Fe	1120.5	540.43	1660.93
% REC.			
Pb	90.55	9.45	
Cu	84.1	15.9	
Zn	62.24	37.76	
Fe	67.46	32.54	

PRUEBA 28

3.5 PPM O₂ DISUELTO

0.0311 g KEX

0.050 ml ESPUMANTE

25% SOL. PESO

N_r = 1200 ml/min

AIRE = 1 lt/min

t ACONDIC. = 7 min

t FLOTAC. = 20 MIN

pH = 9

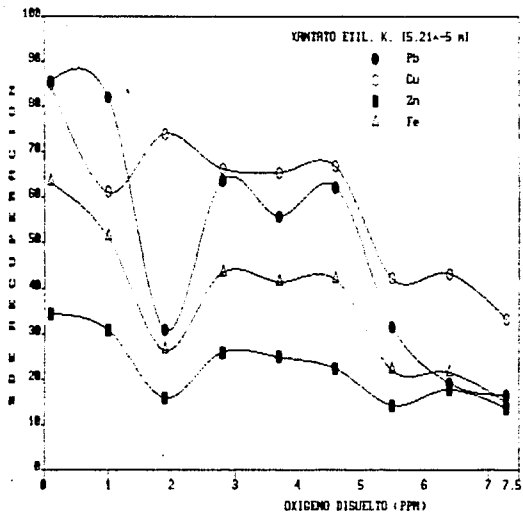
RESULTADOS PRUEBA SELECTIVA

PRODUCTO	% LEY				% RECUPERACIÓN			
	Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe
CONCENTRADO PLOMO	72.0	0.906	20.8	9.04	77.6	9.06	22.0	4.4
CONCENTRADO ZINC	0.99	1.481	15.7	14.4	1.29	18.0	20.3	8.5
CONCENTRADO COBRE	4.98	2.29	2.41	36.7	7.1	30.2	3.32	23.5

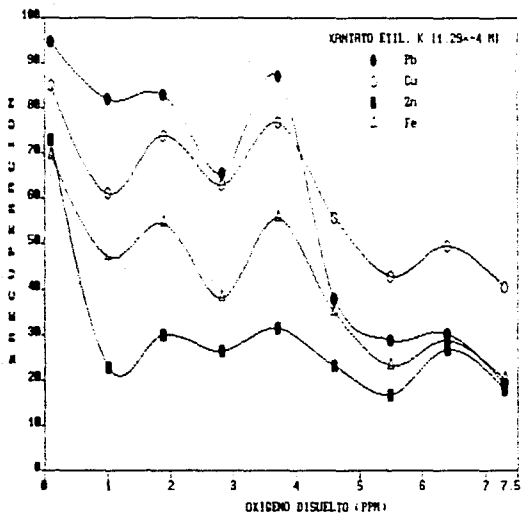
PRINCIPALES PLANTAS PROCESADORAS DE MINERALES DE PLOMO USANDO COMO REACTIVOS COLECTORES A LOS XANTATOS. (7*)

PLANTA	TIPO DE MINERAL	% DE LEY Pb		% REC.	REACTIVO
		CAB.	CONC.		
Rosario (Sinaloa)	PbS, ZnS, óxidos	5.0	62.7		XIS, XAP (11 g/t)
Sn. Fco. d. Oro (Chihuahua)	Pbs, ZnS, CuFeS ₂		59.14	84.7	XIS, XIBS 177,57g/t
Zimapán (Hidalgo)	FeS ₂ , PbS, ZnS		40.34	81.69	XIS 37.6 g/t
Fresnillo (Zacatecas)	PbS, ZnS, FeS, FeS ₂		25.71		XIS 100 g/t
Real d Angeles (Zacatecas)	PbS, Ag, ZnS, FeS ₂		55		complex 120(41g/t)
La negra (Querétaro)	PbS, ZnS, CuFeS ₂ FeS, FeS ₂	0.13	36.7		XIS
Charcas (S.L.P.)	CuFeS ₂ , PbS, ZnS FeS ₂	0.92	50.3		XIS, XA 24, 13g/t
Naica (Chihuahua)	PbS, ZnS, FeS ₂	4.7	64.0		XIS, XIB 16,3.8g/t

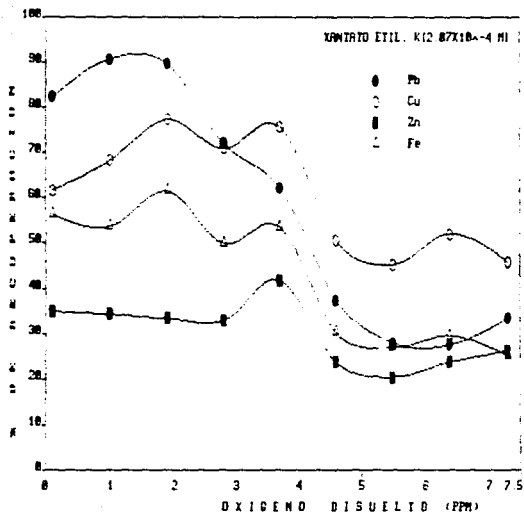
g/t son gramos por tonelada. XIS es xantato isopropilico de sodio
XAP es xantato amilico de potasio, XIB es xantato isobutilico.



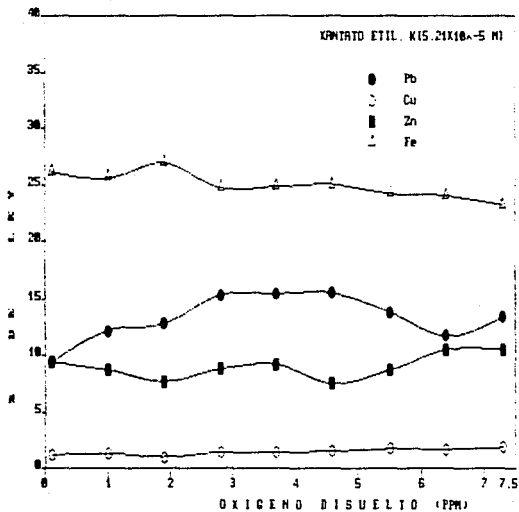
GRAFICA 1



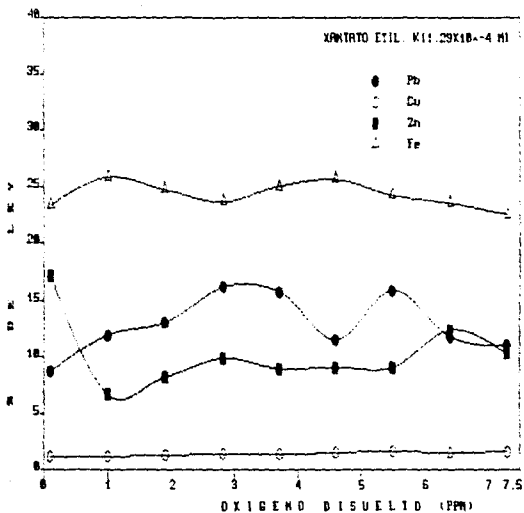
GRAFICA 2



GRAFICA 3

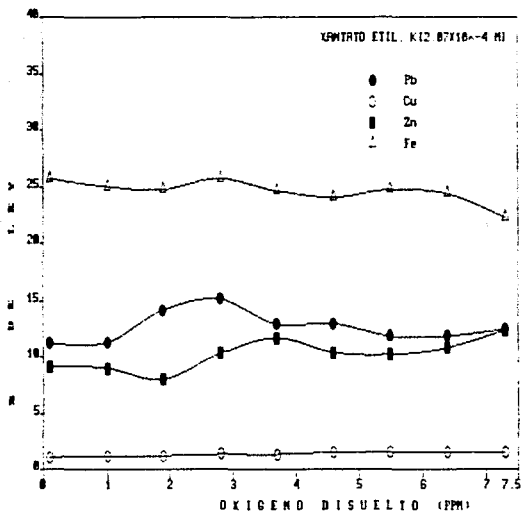


GRAFICA 4

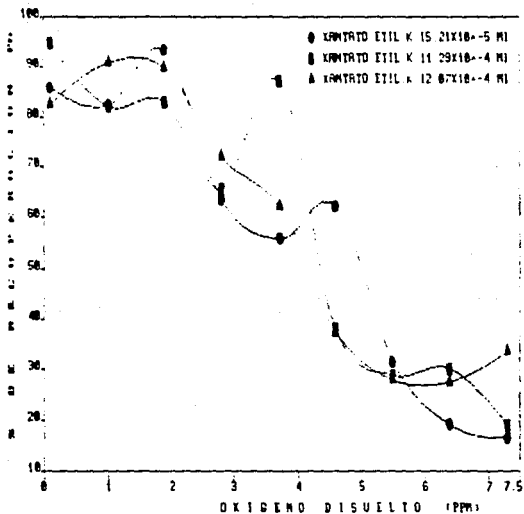


GRAFICA 5

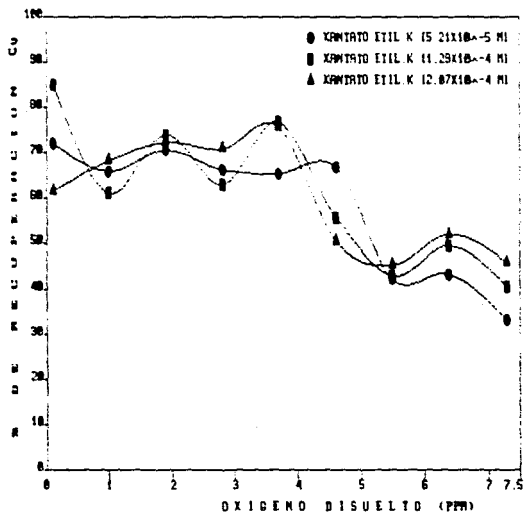
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



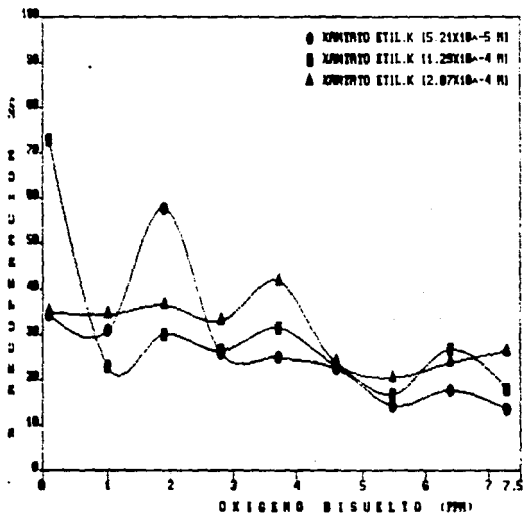
GRAFICA 6



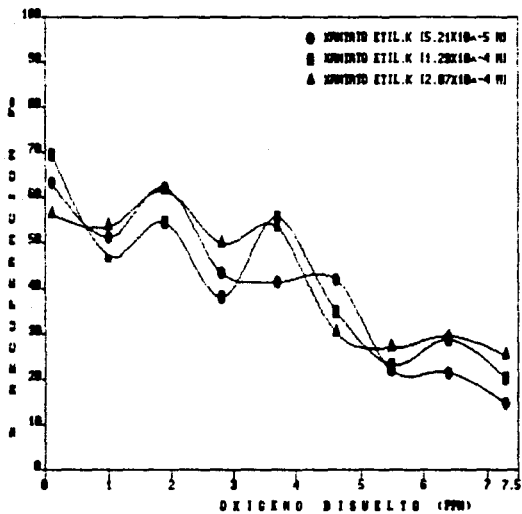
GRAFICA 7



GRAFICA B



GRAFICA 9



GRAFICA 10

Resultados experimentales

De la gráfica número 1, en la cual se representa el % de recuperación del plomo, cobre, hierro y zinc Vs ppm de O_2 disuelto en la pulpa, bajo condiciones constantes de reactivo ($5.21 \times 10^{-3} M$) podemos observar lo siguiente:

- 1.- El comportamiento del Pb, Cu, Fe y Zn a nivel general es de una manera similar, esto es, se puede apreciar que las recuperaciones son paralelas entre si.
- 2.- El % de recuperación para todos los elementos disminuye conforme aumenta el contenido de oxígeno disuelto en la pulpa. Aunque, si vamos analizando punto por punto cada curva nos daremos cuenta de que existen disminuciones y aumentos de la recuperación conforme avanzamos en contenido de oxígeno, esto se repite paralelamente para cada especie mineral. Parece ser que estas disminuciones y aumentos en recuperación implican una serie de mesetas en donde la recuperación permanece más o menos constante y después existe una disminución más marcada de la recuperación.
- 3.- La curva de mayor recuperación corresponde al plomo, hasta aproximadamente 2.5 ppm O_2 disuelto, ya que después cae por abajo de la del cobre, la segunda especie mineral en recuperación es precisamente la del cobre, después la del hierro y finalmente la del zinc. Cuando el contenido de oxígeno disuelto es alto, las recuperaciones son bajas y notamos un estrechamiento en los rangos de recuperación del plomo, hierro y zinc, esto es la relación paralela que venían guardando entre si se vuelve menor.
- 4.- Los valores más bajos de recuperación están entre 13 y 16% y el valor más alto corresponde al plomo con una recuperación del 93%.

La gráfica número 2 también nos representa % de recuperación del Pb, Cu, Fe y Zn en función de ppm de O_2 disuelto a otra concentración de reactivo constante (1.29×10^{-4} M) mayor que para la gráfica número 1, así, podemos decir lo siguiente:

- 1.- Nuevamente el comportamiento entre las cuatro especies minerales es similar y paralelo a lo largo de todo el barrido de oxígeno.
- 2.- El aumento y disminución de recuperación en forma de pequeños valles vuelve a aparecer, solo que a comparación de la gráfica número 1, aquí se observa un ligero corrimiento horizontal de los puntos. Esto es, aquí empieza a verse la influencia de la cantidad de reactivo.
- 3.- Nuevamente la curva de máxima recuperación corresponde al plomo, aunque cuando la concentración de oxígeno es mayor, dicha recuperación cae por abajo de la del cobre (igual que en gráfica 1). Por otro lado el Cu, Fe, y Zn disminuyen en ese orden respectivamente en sus recuperaciones.
- 4.- Además de que existen ligeros corrimientos de los puntos horizontalmente, también se refleja un corrimiento vertical, así, tenemos que con esta concentración de reactivo la recuperación de cada curva aumenta ligeramente con respecto a la gráfica anterior.
- 5.- La recuperación máxima, aproximadamente 90%, corresponde al plomo a 0.1 ppm O_2 , y el rango de recuperación mínima está entre 18 y 20 %.

La gráfica número 3 también nos representa % de recuperación del plomo, cobre, hierro y zinc en función de ppm O_2 disuelto a otra concentración constante de reactivo (2.07×10^{-4} M) mayor que para

grafica 1 y 2.

Similarmente a las gráficas 1 y 2 ,en la numero 3 podemos apreciar que:

1.- El comportamiento de las diferentes curvas sigue siendo semejante a las dos graficas anteriores. Siguen existiendo algunas altas y bajas en las curvas de recuperacion.

2.- La curva de recuperacion del plomo continua siendo la mayor con un decaimiento por abajo de la del cobre cuando el oxigeno disuelto se incrementa ;las curvas que siguen en orden descendente son la del Cu, Fe, y Zn respectivamente.

3.- A esta concentracion de reactivo se ve que las recuperaciones de cada especie mineral se elevan con respecto a las concentraciones anteriores. Es decir, existe un corrimiento de las curvas hacia arriba dicho corrimiento es más marcado que en las graficas 1 y 2.

4.- Nuevamente se puede apreciar el corrimiento horizontal de los puntos. Este corrimiento se fue dando conforme la concentracion de reactivo aumentaba.

5.- Las recuperaciones máximas corresponden al plomo, aproximadamente 90 % (1-2 ppm O₂), teniendo por otro lado recuperaciones mínimas entre 20 - 26 % (5.5- 7.5 ppm O₂).

La gráfica numero 4 nos muestra % de ley en concentrado Vs ppm O₂ disuelto a una concentracion de reactivo constante ($5.21 \times 10^{-5} M$), de aquí podemos analizar lo siguiente:

1.- Las curvas de % de ley de plomo y zinc, son las que más se ven afectadas por el contenido de oxigeno disuelto, el hierro es modificado ligeramente y el cobre se puede decir que casi permanece

constante.

Podemos decir que conforme aumenta el contenido de oxígeno, la ley del cobre no se altera, permanece constante entre 1 y 2%; para el hierro tenemos una ligera disminución (26.5 a 23 %).

El plomo tiene un comportamiento diferente, a bajas concentraciones de oxígeno existe una ley mínima, conforme aumenta el contenido de oxígeno disuelto también lo hace la ley, pero llega un momento en que casi permanece constante, posteriormente dicha ley decae.

El zinc se comporta en forma casi paralela al plomo pero en sentido inverso, esto es, la ley del zinc disminuye al aumentar el oxígeno disuelto llegando un momento en el cual, dicha ley aumenta sin llegar a sobrepasar la del plomo.

2.- La curva de mayor ley corresponde al hierro, siguiendo en orden descendente el plomo, zinc y cobre respectivamente.

3.- Para el plomo la zona de mayor ley (15.5 %) está entre 2.5 y 4.5 ppm Oz disuelto.

De la gráfica número 5 podemos observar lo siguiente:

1.- Nuevamente, al igual que en la gráfica 4, la curva de mayor ley corresponde al hierro, seguida por la de plomo, zinc y cobre.

2.- Existe un poco más de variación en el % de ley para el hierro, no baja en forma lenta y constante como en la gráfica 4, sino que tiene un ascenso y descenso, y solo a altas concentraciones de oxígeno el descenso es un poco más constante.

3.- La curva del plomo es análoga a la de la gráfica 4.

4.- La curva para el zinc sigue siendo más o menos paralela a la del plomo, excepto en los puntos inicial y final.

5.- El cobre es el que permanece sin afectarse mucho, su ley es casi constante.

De esta gráfica podemos resaltar lo siguiente:

- El aumento en la concentración de reactivo parece no afectar mucho en el % de ley para las especies minerales.
- El mayor % en ley para el plomo (aproximadamente 16%) está entre 2.5 y 4 ppm de O₂ disuelto.

La gráfica 6 nos plasma lo siguiente:

1.- La curva de mayor ley nuevamente es la del hierro, esta va disminuyendo lentamente a medida que se incrementa el contenido de oxígeno disuelto, su comportamiento es semejante al de las gráficas anteriores.

2.- Aquí se nota más claramente el comportamiento paralelo del plomo y el zinc, estando siempre por arriba la ley del plomo, excepto en la concentración mayor de oxígeno donde coinciden las dos leyes.

Los % en ley para el plomo bajaron ligeramente; las leyes más altas, (15% aproximadamente) sufrieron un ligero corrimiento a 2-3 ppm O₂ disuelto.

Así mismo las leyes del zinc también subieron ligeramente, lo cual hizo que la región paralela entre Pb y Zn se estrechara más.

3.- La curva que sigue sin alterarse es la del cobre.

Por lo tanto en forma general podemos decir que; en las curvas de % de ley Vs concentración de oxígeno disuelto a tres diferentes concentraciones de reactivo tienen un cierto efecto sobre las especies minerales:

- Para el hierro parece ser que no afecta la concentración de

reactivo, pues el comportamiento en las tres gráficas casi es el mismo.

- Para el plomo existe un ligero corrimiento de los puntos de mayor ley hacia menores concentraciones de oxígeno disuelto, esto es a medida que se incrementa la concentración de reactivo.

- El zinc sufre un ligero aumento en el % de ley a medida que incrementamos la cantidad de reactivo.

- El cobre es el que parece ser que no sufre mucho efecto por el aumento en la concentración de reactivo ni por el aumento en la concentración de oxígeno disuelto en la pulpa.

En la gráfica 7 se plasma el % de recuperación de plomo en función del oxígeno disuelto a tres diferentes concentraciones de reactivo; así, podemos deducir lo siguiente:

- 1.- Las tres curvas siguen en su totalidad casi el mismo comportamiento.
- 2.- Las más altas recuperaciones de las tres curvas se encuentran a las más bajas concentraciones de oxígeno disuelto.
- 3.- La diferencia entre la recuperación de las tres diferentes concentraciones de reactivo no es muy grande, por lo cual aparentemente la concentración de reactivo no tiene un efecto muy marcado sobre la recuperación.

Así mismo los rangos de recuperación están entre 90 y 16 %.

En la gráfica 8 también se observa que el % de recuperación del cobre en función del oxígeno disuelto a tres diferentes concentraciones de reactivo tienen un comportamiento similar a la anterior gráfica.

Las mayores recuperaciones en las tres concentraciones están

entre 0.1 y 3.5 ppm O_2 disuelto.

La diferencia en recuperación en base a la concentración de reactivo no es muy grande, aunque hay una ligera tendencia de mayor recuperación a la mayor concentración de reactivo.

Los rangos de recuperación del Cu en las tres diferentes concentraciones de reactivo van desde un 84 % hasta un 34 % .

En la gráfica 9 se plasma el % de recuperación del Zn Vs O_2 disuelto a tres diferentes concentraciones de reactivo.

El comportamiento entre las tres curvas es similar. La mayor concentración de reactivo es la que tiende a obtener una mayor recuperación.

Los rangos de recuperación están entre 40 y 12 % .

Para la gráfica 10 también tenemos % de recuperación del Fe Vs O_2 disuelto a tres diferentes concentraciones de reactivo.

La similitud entre las tres curvas continúa. Teniendo una relación en la recuperación de las tres curvas mucho más estrecha, es decir, el efecto de la concentración de reactivo se hace un tanto más difícil de marcar.

Los rangos de recuperación van desde un 12 hasta un 68 % .

CAPITULO V

DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.

Discusión

Antes de hacer una confrontación más amplia entre los resultados de este trabajo con respecto a los de la literatura, nombraremos algunas diferencias generales entre estos.

- Todos los trabajos realizados acerca de la galena y que se han reportado en la literatura han sido hechos con muestras minerales puras, es decir, en su totalidad es galena.

Algunos de estos trabajos han sido de tipo electroquímico y bajo condiciones específicas, las cuales, varios de los investigadores no las mencionan.

El tipo de información obtenida está basada en los posibles mecanismos de interacción entre el xantato, mineral, oxígeno, agua.

- El presente trabajo se llevó a cabo con una muestra mineral no pura, es decir no solamente era galena, sino que además contenía otras especies minerales tales como: esfalerita, pirita, calcopirita y pirrotita.

Esto es, se trabajó de una manera un tanto más ingenieril, buscando acercarse más a un proceso real.

No se trabajó ningún método para determinar las posibles interacciones en el sistema de flotación; no era el objetivo; sino que solo se quería ver si existía o no una influencia marcada, mínima o nula del oxígeno en el proceso de flotación de una mena de plomo.

Por lo tanto, supondremos y propondremos los posibles mecanismos que probablemente soporten los resultados de este trabajo de acuerdo a lo investigado en la literatura y en base a los mismos resultados experimentales.

Analizando y discutiendo las observaciones generales de los resultados podemos tener lo siguiente:

A concentraciones mínimas de oxígeno (0.1 ppm O_2) tenemos recuperaciones altas de las especies minerales, a concentraciones intermedias de oxígeno existen recuperaciones intermedias y a concentraciones máximas de oxígeno las recuperaciones son bajas.

De acuerdo a la literatura tenemos que: cuando la galena permanece como sulfuro de plomo no se produce la flotación; por lo cual para que exista dicha flotación es necesario que el ión sulfuro se oxide y entonces haya un recubrimiento del colector, por otro lado, también algunos autores mencionan que cuando no hay oxígeno, la superficie mineral es hidrofílica.

Por lo cual, podríamos pensar que a concentraciones mínimas de oxígeno no hay oxidación de la galena, que no se forman oxisulfuros y por lo tanto no hay un recubrimiento por el colector y no habrá flotación. Sin embargo en los resultados experimentales vemos que es donde tenemos mayor recuperación.

Esto podríamos soportarlo argumentando que: aunque casi no tengamos oxígeno o sea nulo, la superficie mineral no permanece como sulfuro porque tenemos en solución iones carbonato, los cuales provienen del agente modificador de pH, de esta manera, muy probablemente lo que se está formando es un carbonato de plomo, el cual es susceptible de ser reemplazado por iones xantato y entonces formar un xantato de plomo el cual es flotable (2).

Por otro lado, si analizamos un poco el potencial zeta de las galena en ausencia de oxígeno (fig. 3 de fundamentos teóricos) podemos deducir que a un pH de 9, que es el pH de trabajo

experimental, la galena tiene su superficie cargada negativamente y si adicionamos un colector aniónico (como el xantato), podríamos pensar que no existiría interacción entre estos, más, sin embargo si existe. Esto se puede aclarar mencionando que no solo existen mecanismos electrostáticos, sino también de otro tipo, y que en este caso podría existir una adsorción química entre el colector y la superficie iónica del mineral.

Así mismo, otro argumento que se puede dar para que exista flotación a concentraciones mínimas de oxígeno lo podemos comprobar con otro resultado de la literatura (fig.2 de fundamentos teóricos), donde se plasma densidad de adsorción del colector Vs pH, de aquí podemos ver que existe una densidad de adsorción constante del xantato sobre el mineral (aprox. 2×10^{-6} mol/g galena) lo cual explica que exista recuperación de la galena.

En la literatura se menciona que en sistemas deficientes de oxígeno la cubierta de colector que se llega a tener sobre el mineral, corresponde a una monocapa, lo cual podríamos pensar que también ocurre en este trabajo.

Como observamos en las gráficas 1,2 y 3 el plomo es el de mayor recuperación, siguiendo en forma decreciente el cobre, hierro y zinc. Podemos pensar que el hecho de que haya mayor recuperación del plomo con respecto al zinc es por el Kps del xantato metálico de cada uno de ellos (2.1×10^{-17} para PbX_2 y 4.9×10^{-9} para ZnX_2), lo cual implica que el ZnX_2 es más soluble y por lo tanto más difícil de flotarse; pero con el cobre, el cual puede formar un CuX_2 o un CuX y liberar ión dixantogeno no podemos aplicar de igual manera el concepto de Kps, ya que no podemos saber exactamente que

producto se forma, de igual forma sucede con el Fe, el cual no forma un xantato de hierro, sino que se reduce a Fe^{2+} y oxida el xantato a dixantógeno, el hierro puede formar un hidroxido el cual puede ser más soluble que los otros productos formados del Pb, Cu y Zn.

Siguiendo el análisis con concentraciones intermedias de oxígeno, vemos que las recuperaciones bajan un poco, aunque también las leyes varían, esto es, para Pb y Zn aumentan, no pasando esto con el Cu y el Fe (aunque aquí varía en forma mínima), las cuales casi permanecen constantes.

Así, vemos que, incrementando el oxígeno, se activa la superficie mineral mejorando la flotabilidad, teniendo una estabilidad de las especies minerales en las reacciones que se llevan a cabo.

Según lo investigado en la literatura se dice que en sistemas donde se tiene oxígeno existe un cubrimiento del colector sobre la superficie mineral siguiendo una serie de etapas en donde el PbS se va oxidando por la presencia del O_2 , pasando por sulfatos, tiosulfatos y carbonatos, productos que se depositan sobre la superficie mineral y que son sustituidos por los iones xantato.

Podemos suponer que esto es lo que está sucediendo en nuestro sistema, ya que a concentraciones intermedias de oxígeno (2-4 ppm) tenemos un rango de leyes mayores y las recuperaciones no son tan bajas.

De acuerdo a los estudios de Rao se sabe que a pH de 8-9 el xantato de plomo es más estable que el sulfato, tiosulfato y

carbonato de plomo, podemos casi asegurar que la estabilidad que tenemos experimentalmente de las especies minerales a estas concentraciones de oxígeno y al pH de trabajo de 9 es la misma.

Esto es, estamos en un rango de oxígeno en que este es benéfico para la flotación.

Además si analizamos un poco más sobre el pH que estamos trabajando (pH = 9) para confirmar o no la flotación bajo estas condiciones, podemos corroborarlo con una expresión de la literatura : la cual nos relaciona el pH de trabajo con la flotabilidad, esta es:

$$\text{pH crítico} = 14.4 + \log [X^-]$$

$[X^-]$ es la concentración de xantato usada.

Si $\text{pH trabajo} > \text{pH crítico}$ entonces no flota el mineral. Si $\text{pH trabajo} < \text{pH crítico}$ entonces sí flota el mineral.

Las concentraciones de xantato usadas y los pH críticos son:

$[X^-]_1 = 5.21 \times 10^{-5} \text{ M}$ con $\text{pH crítico} = 10.11$. $[X^-]_2 = 1.29 \times 10^{-4} \text{ M}$
 con $\text{pH crítico} = 10.51$. $[X^-]_3 = 2.07 \times 10^{-4} \text{ M}$ con pH crítico de 10.71

El pH de trabajo es igual a 9.

Por lo tanto para las tres concentraciones de reactivo usadas el pH de trabajo es menor que el pH crítico; de aquí que respecto de la variable pH se asegura que el mineral flotará.

En forma adicional, analizando las concentraciones mayores de oxígeno vemos que las recuperaciones son mínimas.

Algunos autores dicen que el oxígeno es benéfico para la flotación de la galena y otros afirman que es dañino, más sin embargo estos no mencionan cantidades o intervalos. Como podemos

deducir en este trabajo experimental, a concentraciones de O_2 entre 0.1 - 4.5 ppm el efecto es benéfico, de 4.5 - 7.3 ppm aproximadamente que fue el máximo valor trabajado, el efecto del oxígeno es dañino, pues baja la recuperación y también la ley.

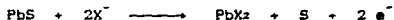
Las posibles respuestas a esta tendencia pueden ser las siguientes:

- De datos de la literatura (6) tenemos en la gráfica 5 (densidad de adsorción Vs pH a diferentes concentraciones de O_2) una curva en la cual vemos que, a 7.1 ppm O_2 y a un pH de 9 la densidad de adsorción del xantato sobre la galena es nula, lo cual explica de alguna manera que la recuperación disminuya tanto.

- Las concentraciones de O_2 son tan altas que existe una sobresaturación de este, lo cual impide la adsorción del xantato.

- Según Rao (6), en soluciones aeradas ocurre un cubrimiento en multicapas, las cuales están enlazadas por fuerzas de Van der Waals, que son mucho más débiles que si hubiera una quimisorción. Toda esta serie de eventos se da como un resultado de las reacciones químicas y electroquímicas que se llevan a cabo en la solución del xantato y la superficie de la galena, en donde puede haber una reducción del oxígeno y una oxidación del xantato tanto por el oxígeno como por los iones de las especies minerales.

Como un resultado de experimentos electroquímicos algunos investigadores(6) proponen un mecanismo de dos sitios, los cuales están formados por un proceso anódico, que es la quimisorción del xantato en la formación del PbX_2 por una reacción:



o la oxidación del xantato a dixantogeno: $2X^- \longrightarrow X_2$

y el proceso catódico, que es la reducción del oxígeno:



Así también puede suceder que, como el plomo es susceptible de formar hidróxidos anfóteros; se forme un hidróxido de plomo por la competencia de los iones OH^{-} con los iones xantato(X^{-}):



Por otro lado, analizando un poco la mineralogía de la muestra, podemos decir lo siguiente:

Como se mencionó en los resultados, las especies minerales son: galena, esfalerita, calcopirita, pirrotita y algunas sulfosales de plata.

El hecho de que tengamos buenas recuperaciones de Zn, Cu y Fe además del plomo estriba, además de que estas especies también son colectadas por el xantato; en que el Zn (esfalerita) está íntimamente intercrecida con el Pb (galena); y el Fe (como pirita y pirrotita) se encuentra muy diseminado en toda la muestra, y como su tamaño de grano es muy pequeño comparado con el de la galena y esfalerita no puede liberarse completamente. Por esto al momento de flotar la galena y la esfalerita dentro de estas se arrastra la pirrotita y algo de pirita.

El Cu, que viene como calcopirita también se encuentra diseminado, aunque hay algo de este que si alcanza a liberarse, este no se ve afectado grandemente por el oxígeno en la flotación, ya que las leyes casi permanecen constantes.

El estudio minerográfico realizado sirvió, como de antemano se mencionó para ver como estaban relacionadas las especies mineralógicas y tener una idea de la distribución de estas después

del proceso. Así se encontró que el fierro se encontraba, (una buena parte de éste) como diseminado en toda la muestra en forma de pirrotita, por lo cual esperaríamos que si no se tuviera una liberación de esta, el fierro podría quedar distribuido en los concentrados.

Lo mismo podríamos pensar para el cobre, el cual también se encontraba diseminado principalmente en la esfalerita, esto es, tal vez el cobre se recuperaría más en el concentrado de zinc.

Podemos comprobar esto analizando las leyes y recuperaciones de los concentrados de la flotación selectiva. El fierro se encuentra distribuido en todos los concentrados; la recuperación del cobre en el concentrado de zinc es muy alta (más de la mitad de la recuperación en el concentrado de cobre).

Además, basándonos en la literatura, encontramos que algunos investigadores han estudiado la relación de incrementos de flotabilidad para muchos sulfuros y han encontrado que dicha relación depende de su actividad con respecto al oxígeno.

Como se ha mencionado en los fundamentos teóricos, se tiene una serie de actividades de minerales en relación al oxígeno necesario para una flotación completa, la cual es: galena, pirita, esfalerita, calcopirita, pirrotita, arsenopirita.

Lo cual implica que la galena necesita menos oxígeno para flotar, siendo la arsenopirita la que requiere más.

Los resultados experimentales del presente trabajo parece ser que están muy cercanos en concordancia con el punto anteriormente mencionado.

Cabe aclarar que las flotaciones llevadas a cabo, fueron con el

objetivo de analizar a la galena; aunque secundariamente obtuvimos información para el Fe, Cu, y Zn, esto es, no se hizo una flotación selectiva para todas las concentraciones de oxígeno y reactivo trabajadas, solamente al final después de analizar los resultados de las pruebas bulk, y de conocer las mejores condiciones de concentración de reactivo y de oxígeno se realizó una prueba selectiva para tener una idea de las leyes y recuperaciones obtenidas en este trabajo y poder de alguna manera compararlas con algunos datos de algunas plantas industriales.

Es por esto que las leyes y recuperaciones para el plomo en las pruebas efectuadas (las iniciales, no la selectiva) no son tan altas, pues solo fueron unas pruebas rougher (vastas) y no se hicieron limpias de los concentrados.

Analizando un poco la operación técnica de las flotaciones llevadas a cabo podemos pensar que, el hecho de que mecánicamente no se haya estado retirando el concentrado, influyo de alguna manera para que las leyes bajaran; esto es, lo que se hacía era dejar que por si sola derramara la espuma, cuando no alcanzaba a derramar, se adicionaba un poco de agua para que subiera el nivel de la pulpa y hubiera nuevamente derrame.

Así, también hay que recordar que tenemos un efecto de la concentración de reactivo (aunque este no sea muy marcado), aparte del oxígeno; y que, como se menciona en los resultados experimentales existía hasta cierto punto una competencia entre el efecto del reactivo y del oxígeno. Por lo cual hay que pensar que los posibles mecanismos de interacción que estén sucediendo en el sistema pueden ser producto de ambos parámetros.

Por otro lado si observamos los datos obtenidos en la prueba selectiva:

* Prueba selectiva (4 ppm O₂ y 0.0311 g xantato etílico de potasio).

	% LEY				% RECUPERACION			
	Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe
CONCENTRADO Pb	72.0	0.90	20.8	9.04	77.6	9.0	22.0	4.4
CONCENTRADO Zn	0.99	1.48	15.7	14.3	1.29	18.0	20.2	8.5
CONCENTRADO Cu	4.98	2.29	2.4	36.6	7.09	30.2	3.32	23.5

y los comparamos con las tres mejores pruebas bulk obtenidas en las pruebas iniciales:

	% LEY				% RECUPERACION			
	Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe
CONCENTRADO I	11.6	0.8	8.97	21.8	90.5	89.1	62.2	67.4
CONCENTRADO II	14.12	1.2	8.0	24.7	89.7	77.2	33.4	61.3
CONCENTRADO III	15.82	1.3	9.0	25.0	87.0	76.7	31.5	55.5

CONCENTRADO I (3.5 ppm O₂; 0.0311 g de xantato etílico de potasio).

CONCENTRADO II (1.9 ppm O₂; 0.0499 g xantato etílico de potasio).

CONCENTRADO III (3.7 ppm O₂; 0.0311 g xantato etílico de potasio).

podemos resaltar lo siguiente:

El % de ley para el plomo (que en este caso es la especie mineral que más nos interesa) aumento de 11.6, 14.12 y 15.82 (pruebas bulk) a 72 (prueba selectiva); implicando una baja en la recuperación, de 90.5, 89.7 y 87.02 (pruebas bulk) a 77.59 (prueba selectiva). Esto es lógico, ya que la ley y la recuperación son dos funciones inversas.

Así mismo, haciendo una analogía semejante para el cobre y el zinc veremos que sus leyes aumentaron; (de 0.8, 1.22 y 1.36 a 4.8) con una disminución en la recuperación (de 89.1, 77.2 y 76.7 a 30.2)

para el caso del cobre y de (8.97, 8 y 9 a 15.72) disminuyendo la recuperación de (62.2, 33.4 y 31.5 a 20.29) para el zinc.

Quizá los resultados para el cobre y el zinc no fueron tan satisfactorios, pero los del concentrado de plomo tienen una buena ley y una aceptable recuperación.

Si comparamos los resultados de la prueba selectiva del presente trabajo contra los datos de algunas plantas metalúrgicas que procesan minerales de plomo, tabla página 33, podemos observar que son semejantes, e incluso en algunos casos los datos de este trabajo son mejores.

Como se aprecia de la misma tabla de plantas procesadoras de minerales de plomo, estas emplean diferentes tipos de reactivos para la flotación del mineral, además de que en algunas usan combinaciones de estos para obtener mejores resultados. En este trabajo solo se empleó un tipo de colector y los resultados fueron satisfactorios.

Por otro lado, haciendo un balance metalúrgico y económico para una cierta planta que procese un número de toneladas y extrapolando los datos del presente trabajo a las mismas condiciones, tendremos una mejor comparación para saber que tan redituables pueden ser dichos resultados experimentales a nivel industrial.

BALANCE METALURGICO

PLANTA

PRODUCTO	TONELADAS	% LEY			% REC.		
		Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn
CABEZA	2000	5	0.3	2.5	100	100	100
CONC. Pb	106	62.7	3.64	11.16	66.6	61.4	23.7
CONC. Zn	44	3.2	0.54	50.8	1.4	3.9	44.1
COLAS	1850						

LABORATORIO

	GRAMOS	% PESO						
CABEZA	450	100	8.0	0.86	8.13	100	100	100
CONC. Pb	38.8	8.62	72	0.90	20.8	77.59	9.06	22.01
CONC. Zn	47.2	10.48	0.99	1.48	15.72	1.29	18.02	20.29
CONC. Cu	51.3	11.4	4.98	2.29	2.40	7.09	30.22	3.22
COLAS	312.7	67.5						

EXTRAPOLACION DE DATOS DE LABORATORIO A LAS CONDICIONES DE PLANTA

CABEZA	2000	100	8.0	0.86	8.13	100	100	100
CONC. Pb	172.4	8.72	72	0.90	20.8	77.59	9.06	22.01
CONC. Zn	209.6	10.48	0.99	1.48	15.72	1.29	18.02	20.29
CONC. Cu	228	11.4	4.98	2.29	2.40	7.09	30.22	3.42
COLAS	1390	69.5						

BALANCE ECONOMICO

Considerando que los costos son los mismos para los dos procesos, y que unicamente habra un costo extra para el nitrógeno usado en el proceso de la extrapolacion del laboratorio, tendremos:

PRODUCTO	PRECIO
PLOMO	776.03 DOLARES/TON.
COBRE	2954.1 DOLARES/TON.
ZINC	1411.55 DOLARES/TON.
NITROGENO	1.86 DOLARES/m ³

1 DL. = 2680 PESOS

PLANTA

CONCENTRADO DE PLOMO.

Pb : 106 TON * 0.627 LEY = 66.402 TON ;

66.402 * 776.03 $\frac{\text{DLS.}}{\text{TON}}$ = 51,576.506 DLS.

Cu : 106 TON * 0.0364 = 3.865 TON ;

3.865 TON * 2954.1 $\frac{\text{DLS.}}{\text{TON}}$ = 11,22.27 DLS.

Zn : 106 TON * 0.1116 = 11.829 TON ;

1411.55 $\frac{\text{DLS.}}{\text{TON}}$ = 16,684.25 DLS.

SUMA = 79,683.026 DLS.

CONCENTRADO DE ZINC.

Pb : 44 TON * 0.032 = 1.408 TON;

1.408 TON * 776.03 DLS/TON = 1092.6502 DLS.

Cu : 44 TON * 0.0054 = 0.2376 TON;

0.2376 TON * 2954.1 = 701.89 DLS.

Zn : 44 TON * 0.508 = 22.352 TON;

22.352 TON * 1411.55 DLS/TON = 31,550.966 DLS.

SUMA = 33,345.506 DLS.

PAGO TOTAL = 113,028.53 DLS.

EXTRAPOLACION LABORATORIO

CONCENTRADO DE PLOMO.

Pb : 172.4 TON * 0.72 = 124.128 TON

124.128 TON * 776.03 DLS./TON = 96,327.052 DLS.

Cu : 172.4 TON * 0.0090 = 1.561 TON

1.561 TON * 2954.1 DLS./TON = 4614.2388 DLS.

Zn : 172 TON * 0.208 = 35.859 TON

35.859 TON * 1411.55 DLS./TON = 50,617.054 DLS.

SUMA = 151,558.24 DLS.

CONCENTRADO DE ZINC.

Pb : 209.6 TON * 0.0099 = 2.075 TON

2.075 TON * 776.03 DLS./TON = 1610.29 DLS.

Cu : 209.6 TON * 0.0148 = 3.6041 TON

3.6041 TON * 2954.1 DLS./TON = 9169.821 DLS.

Zn : 209.6 TON * 0.2572 = 32.949 TON

32.949 TON * 1411.55 DLS./TON = 46,509.33 DLS.

SUMA = 57,289.54 DLS.

TOTAL = 208,847.69 DLS.

CALCULO DEL COSTO DE NITROGENO.

Flujo de aire específico = $0.25 \text{ ft}^3/\text{min}/\text{ft}^3$.

Para el proceso de flotación en esta planta usan:

Concentrado de plomo.

Flotación primaria y agotativa: 1 banco de celdas de 500 ft^3 con 12 celdas tipo DR-2 N^o 24 y 10 celdas tipo DR-2 N^o 21.

Primera limpia: 1 banco de 160 ft^3 con 4 celdas DR-21.

Segunda limpia: 1 banco de 100 ft^3 de 4 celdas tipo DR-18.

Concentrado de zinc.

Flotacion primaria y agotativa: 1 banco de 580 ft³ de 14 celdas tipo DR-2 N^o 24 y 21.

Primera limpia: 1 banco de 75 ft³ con 3 celdas tipo DR-18.

Segunda limpia: 1 banco de 50 ft³ con dos celdas DR-18.

Así tenemos un volumen total de 1465 ft³.

Por lo tanto; $1465 \text{ ft}^3 \cdot 0.25 \text{ ft}^3 \text{ aire}/\text{min}/\text{ft}^3 = 366.25 \text{ ft}^3 \text{ aire}/\text{min}$
 $366.25 \text{ ft}^3 \text{ aire}/\text{min} \cdot (0.3047 \text{ m}/\text{ft})^3 = 10.36 \text{ m}^3 \text{ aire}/\text{min}.$

Para tener 4 ppm de O₂ disuelto en pulpa necesitamos 2 litros de nitrógeno y 1.8 litros de aire, esto es un flujo total de 3.8 litros de mezcla, donde:

$N_2 = (2/3.8) \cdot 100 = 52.6\%$ y aire = 47.4%.

Como a nivel industrial necesito un flujo total de 10.36 m³/min debo agregar:

$N_2 : 10.36 \text{ m}^3/\text{min} \cdot 0.526 = 5.45 \text{ m}^3/\text{min}.$

$\text{Aire} : 10.36 \text{ m}^3/\text{min} \cdot 0.474 = 4.91 \text{ m}^3/\text{min}.$

Considerando que para la prueba selectiva en el laboratorio se estuvo insuflando nitrógeno alrededor de 80 minutos.

$N_2 : 5.45 \text{ m}^3/\text{min} \cdot 80 \text{ minutos} = 436 \text{ m}^3.$

$436 \text{ m}^3 \cdot 5,000.00 \text{ pesos}/\text{m}^3 = 2,180,000.00 \text{ pesos}.$

$2,180,000.00 \text{ pesos} \cdot 1 \text{ dólar}/2680 \text{ pesos} = 813.43 \text{ dolares}.$

Costo del nitrógeno = 813.43 dolares.

COMPARACION

	PAGO		COSTO N ₂ DLS.	TOTAL DLS.
	CONC. Pb DLS.	CONC. Zn DLS.		
PLANTA	79,683.026	33,345.5	—	113,028.53
EXTRAPOLACION DE LABORATORIO	151,558.24	57,289.4	813.43	208,034.21
DIFERENCIA				95,005.68

Como observamos existe una gran diferencia en el resultado final; lo cual implica que la recuperación mayor obtenida en el laboratorio alcanza a pagar el costo del nitrógeno, siendo así rentable por este proceso.

Aclarando que este es un balance aproximado, solo para tener una idea general, pues para un cálculo más preciso se deben tomar en cuenta además otras variables.

CONCLUSIONES

En base a las observaciones de los resultados experimentales y a la discusion de estos, podemos concluir lo siguiente:

A las concentraciones de reactivo usadas en este trabajo experimental, la recuperacion de la galena (y tambien de las otras especies) no es una funcion muy directa de la concentracion usada, pues las variaciones existentes en las diferentes concentraciones fueron minimas, habiendo un ligero incremento con la concentracion mayor de reactivo (2.07×10^{-4} M).

Sin embargo la recuperacion disminuye al aumentar el contenido de oxigeno disuelto en la pulpa.

La ley para el plomo se modifica por efecto del oxigeno, tambien sucede esto con el Zn, para el Cu y Fe la variacion es minima.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados y al analisis de estos, podemos decir que las concentraciones de oxigeno mejores para obtener una buena flotacion (a las condiciones de trabajo realizadas en este experimento) estan entre 0.1 y 2 ppm de O_2 , o entre 2.5 y 4.5 ppm de O_2 , pero en este ultimo caso bajarian un tanto las recuperaciones aumentando un poco la ley.

Asi mismo se concluye que el efecto del oxigeno puede ser benefico o dafino para la flotacion de la galena, dependiendo de la concentracion y de las variables que se manejen.

En la revision bibliografica un gran numero de autores (1,5) coinciden en que los mecanismos de las reacciones mas probables que suceden son las siguientes:

- Las reacciones pueden ocurrir por metatesis cuando los productos de oxidacion han sido formados sobre la superficie de la galena.

- Procesar al mineral variando el oxígeno utilizando una variable diferente a la concentración de reactivo.
- Si se trabaja con una mena polimetálica (como fue el caso de este estudio) se sugiere manejar una concentración óptima de oxígeno, usando reactivos más selectivos. Así mismo se pueden obtener pruebas cíclicas para tener resultados comparables con procesos industriales.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Articulos

- 1.- S.R. Rao " The collector mechanism in flotation "
Separation Science, 4(5), pp 357-411, october, 1969
- 2.- S.R. Rao " Thermodynamic Analysis Of Ethyl Xanthate Adsorbed At
Galena Surface "
Surface Science 21, 1970, pp 413-425
- 3.- J.E.L Bowcott " Reactions Of The Xanthate ion At The Air/Water
interfase "
- 4.- P. Somasundaran y E.D Godadar " Electrochemical Aspects Of
Adsorsion On The Minerals Solids "
- 5.- D. Toperi y R. Tolun " Electrochemical Study and Thermodynamic
Equilibria Of The Galena-Oxygen-Xanthate Flotation System "
Institution Of Mining and Metallurgy, 10, December, 1969
- 6.- A.M Gaudin y N.P. Finkelstein "Interactions in the System
Galena-Potassium Ethyl Xanthate-Oxygen "
Nature, July, 24, 1965

LIBROS

- 1*- V.A. Glembotskii, V.I. Klassen, I.N. Plaksin
" Flotation "
Primary Sources, New York, 1972
- 2*- A.M. Gaudin " Principles of Mineral Dressing "
Ed. Mc Graw Hill
New York and London 1939
- 3*- Wills B.A. " Mineral Processing Technology "
Pergamon Press. 2^a Edition. Oxford, 1981

- 4*- Taggart Arthur Handbook of Mineral Dressing "
Jhon Wiley, New Yor 1945
- 5*- Jan Leja " Surface Chemistry of Froth Flotation "
University of British Columbia Vancouver, British Columbia
Canada. Plenum. Press.
New York y London. Second Priting December 1983
- 6*- N.L.Weiss, Editor
SME Mineral Processing Handbook
Vol. 1 New York. 1985
- 7*- American Institute Of Mining Metallurgical And Petroleum
Engineers.
Society Of Economic Geologist.
Sección Mexico, Minas Mexicanas.
Tomo I (1986), tomo II (1986) tomo III (1987).