

20 207



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

INFLUENCIA DEL OXIGENO EN EL PROCESO DE FLOTACION DE UNA MENA DE COBRE

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A :
JORGE LOPEZ GARCIA



MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN.....	2
INTRODUCCION.....	3
OBJETIVOS.....	5
CAPITULO I	
ANTECEDENTES.....	7
CAPITULO II	
DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	37
CAPITULO III	
RESULTADOS.....	47
REPRESENTACION GRAFICA	
DE RESULTADOS.....	80
DISCUSION.....	95
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.....	103
APENDICE.....	104
GLOSARIO.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	115

RESUMEN
INTRODUCCION
OBJETIVOS

R E S U M E N

El presente estudio consistió en analizar la influencia del oxígeno en el proceso de flotación de una mena de cobre y analizar la influencia del reactivo colector xantato etílico de potasio en presencia de oxígeno.

Para este propósito se diseñó una serie de 26 flotaciones, efectuadas a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto, que van desde 0.2 hasta 9.7 p.p.m. con intervalos de 1 a 1; cada una de estas concentraciones de oxígeno fué trabajada conjuntamente durante la flotación con un reactivo colector xantato etílico de potasio a tres diferentes concentraciones (9×10^{-4} , 4×10^{-4} , 9×10^{-5}) $\frac{\text{mol}}{\text{l}}$.

Todo esto llevado a cabo en una celda específica y utilizando un mineral de tipo industrial, sin previa selección de especies minerales para su flotación y manteniendo las demás condiciones constantes a lo largo de los experimentos.

I N T R O D U C C I O N

El descubrimiento, desarrollo y crecimiento de México han estado íntimamente relacionados con su minería desde el siglo XVI. La historia misma de México ha sido forjada junto con la de su minería. La industria minera y extractiva han sido la vanguardia del desarrollo nacional en lo económico, geográfico, industrial y financiero.

Debido al gran desarrollo nacional en lo que a industria minera y extractiva se refiere se tiene la necesidad actualmente de mejorar los procesos de extracción y concentración de minerales, es por ello que se ha puesto mayor importancia en los procesos de concentración como en el de flotación, debido a que en México existen plantas de gran capacidad que utilizan como único proceso de concentración la flotación.

En base a esto, se ha despertado un gran interés en el estudio de todas aquellas variables que influyen en la flotación, con el objeto de optimar dicho proceso.

Actualmente una de las variables que está cobrando mayor interés es la de la influencia del oxígeno en el proceso de flotación; Trabajos experimentales se han abocado a estudiar y analizar las reacciones que se presentan entre el oxígeno y el mineral, reacciones electroquímicas, reacciones de oxidación de agentes colectores, diagramas de estabilidad, etc.; Sin embargo el estudio de la influencia de el oxígeno disuelto en una pulpa no ha sido del todo estudiado, esto se debe a que la mayor parte de los estudios

mencionados han sido efectuados en especies minerales puras esta constante hace pensar en un modelo ideal de mineral, que en la realidad industrial aumentaría los costos de producción, debido a que sumaría al proceso el paso de selección de especies puras, para posteriormente ser concentradas.

En estudios anteriores se ha encontrado que el oxígeno es un agente esencial de la flotación de sulfuros, debido a que el oxígeno puede causar cambios fundamentales en la superficie del mineral, por acción química promoviendo la deshidratación de la superficie mineral, facilitando de esta forma la penetración de moléculas de reactivo colector, como ejemplo tenemos al xantato, y su consecuente adhesión a las partículas.

Como se puede observar los estudios hechos hasta la fecha coinciden en mencionar la importancia del oxígeno en el proceso de flotación, por ello este trabajo pretende obtener información acerca de la influencia del oxígeno en el proceso de flotación, utilizando para ello una mena de cobre como muestra mineral, que contiene : Sulfuro de cobre y fierro (calcopirita) como especie principal en contenido de cobre, sulfuro cuprico (covelita), disulfuro de fierro (pirita), bisulfuro de molibdeno (molibdenita); lo que hace de este mineral de sulfuros una muestra del tipo industrial que se utiliza en el norte del país en la compañía Mexicana de Cobre, S.A. como mineral para concentración de cobre.

O B J E T I V O S

- 1.- Conocer la influencia del oxígeno en el proceso de flotación para un mineral de cobre.
- 2.- Conocer las dosificaciones de la mezcla de gases (oxígeno y nitrógeno) con miras a optimar el proceso de flotación.
- 3.- Conocer la influencia de la concentración de reactivo colector sobre el mineral de cobre, en presencia de oxígeno.
- 4.- Trabajar con una muestra mineral representativa de una planta en funcionamiento, lo que nos lleva a trabajar con una muestra real de tipo industrial.

C A P I T U L O I
A N T E C E D E N T E S

ANTECEDENTES

PROCESO DE FLOTACION

El proceso de flotación es el proceso de beneficio que más desarrollo ha tenido los últimos años, la esencia del proceso de flotación es la concentración de minerales finamente divididos en base a las variaciones de su habilidad para mantenerse en una fase o interfase. Bajo estas condiciones, las partículas son separadas junto con la fase en la cual se mantienen, este proceso es llevado a cabo en un medio acuoso en el que intervienen dos fases; la primera fase es agua, la segunda fase es aire o algún otro gas, o más raramente aceite.

Aunque el proceso de flotación tuvo su origen en la industria minera, el proceso se ha extendido a otros campos de la industria dando lugar a una diversificación de el proceso y, por otro lado a otros tipos de flotación; sin embargo actualmente el proceso puede ser dividido en tres tipos :

- 1o Flotación colectiva (Bulk)
- 2o Flotación de partícula.
- 3o Flotación por espuma.

Flotación colectiva (Bulk) con aceite se basa en el hecho de que los minerales de brillo metálico se humedecen preferencialmente por aceite en presencia de agua y en consecuencia pasan a la interfase entre el aceite y agua, mientras que la ganga humedecida por el agua tendía a separarse.

La flotación de partícula por otra parte dependía del hecho de que cuando un mineral seco, finamente dividido era

puesto suavemente en agua inmóvil, las partículas de mineral tendían a flotar más que la ganga. Este proceso fue desarrollado en el período de 1890 - 1915 pero tanto este proceso como el anterior con aceite quedarón relegados con el advenimiento del proceso de flotación por espuma.

En el año de 1902, Frement y Ballot (9) en Australia, se dieron cuenta de que las burbujas de gas constituían un medio flotante ideal para llevar las partículas de sulfuros minerales empapadas de aceite a la superficie de la pulpa. Ellos al igual que otros investigadores generaron burbujas por acción química o aplicando un vacío parcial sobre la pulpa formada por mineral y agua, sin embargo, correspondió a Ballot, Sulman y Picard (1905) (9) el método de utilizar una corriente ascendente de burbujas de aire como medio principal para separar las partículas de mineral de la ganga, este proceso se conoce con el nombre de FLOTACION POR ESPUMA, que es generalmente el más utilizado, y se basa en el hecho de utilizar las diferencias de las propiedades fisicoquímicas de superficie en los minerales de la siguiente forma:

Una vez formada la pulpa con mineral finamente dividido y agua, ésta es tratada químicamente con reactivos apropiados, cuya acción es hacer que las superficies de las partículas minerales se conviertan en hidrofóbas o sea repelentes al agua, en cuyas condiciones las partículas son flotables. La operación que consiste en preparar las superficies de esta modo se conoce con el nombre de acondicionamiento.

Después de un período determinado de acondicionamiento la pulpa pasa a la máquina de flotación, en donde se in-

introduce aire a la pulpa, junto con un reactivo espumante, cuya función es la de hacer que la corriente entrante de aire se desbarate o rompa formando burbujas pequeñas. Las partículas minerales que son repelentes al agua se adhieren a las burbujas en cuanto establecen contacto con ellas. Las burbujas cargadas con las partículas minerales de la pulpa forman una espuma que continuamente se derrama, descargandola sobre el vertedor de la celda, mientras que los minerales estériles o no deseables son hundidos en el fondo de la celda, siendo enviados a operaciones subsiguientes de concentración o de espesamiento y filtrado.

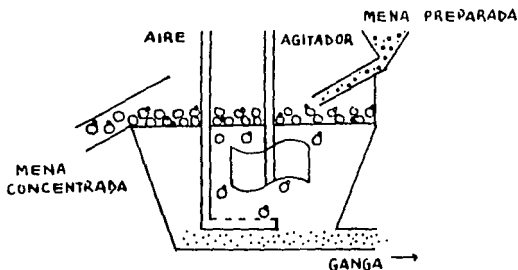


FIG. 1 PROCESO DE FLOTACION.

El desarrollo del proceso de flotación tiene su base en el estudio de los factores que afectan este proceso, cada uno de estos factores constituye por sí mismo una variable de flotación, y el estudio de la influencia de cada una de estas variables está encaminado a la optimización del proceso.

Mucho se ha discutido sobre la importancia de las variables de flotación y cada autor reconoce diferentes va-

riables, por ello menciono solo algunas que coinciden ser las más importantes:

- a) Calidad del mineral por concentrar.
- b) Tamaño de partícula.
- c) Densidad de pulpa.
- d) Reactivos alimentados.
- e) pH.
- f) Angulo de contacto.
- g) Trabajo de adsorción y adhesión.

a) Calidad del mineral por concentrar :

Las características de las menas por concentrar pre-determinan las condiciones bajo las cuales pueden ser flotadas. Las características del material, esto es, composición mineralógica (las propiedades de los minerales individualmente y su relación con otros), cuantas especies minerales coexisten desarrollados, la presencia de impurezas isomórficas, y la naturaleza de cambios secundarios (oxidación temporal, etc). Todos estos factores afectan las propiedades de flotación del mineral. Estas son afectadas por la forma en que el mineral se formó y los cambios que sufre durante el proceso de beneficio, como son molienda, transportación, almacenamiento, concentración, etc.

Las investigaciones han mostrado que minerales que poseen composición similar siendo el mismo mineral presentaban diferentes propiedades de flotación, aun incluso teniendo la misma procedencia. (8).

Los cambios ocurridos en las propiedades de flotación en las menas como resultado de la molienda y su subsecuente almacenamiento, ocasionarán un deterioro en su flotabi-

lidad debido a la oxidación de la superficie de las partículas.

Las condiciones bajo las cuales son formados los minerales determinan su estructura y tienen profunda influencia en las propiedades de flotación; por ejemplo los sulfuros minerales son formados bajo altas presiones por precipitación de la masa de magma a por soluciones acuosas calientes y son generalmente de alta densidad y no porosos.

Sus cristales son relativamente grandes individualmente.

b) Tamaño de partícula :

Los minerales son reducidos de tamaño antes de la flotación por dos razones básicas : a) romper la base de los diferentes minerales, liberandolos de esta manera; b) brindar a las partículas un tamaño dentro de los límites de flotación.

De esta manera el tamaño característico del material inicial afecta la flotación de dos maneras, por alteración de la flotabilidad de las partículas según su tamaño y por la extensión de la matriz en la cual se encuentran. Algunas veces es necesario reducir en tamaño las menas de acuerdo con las condiciones requeridas del concentrado. Esto es evidente debido a que el crecimiento de diferentes especies minerales y su interrelación determina las condiciones (tamaño de liberación y granulometría) bajo las cuales va a ser flotado; dichas condiciones deberán conservarse para un mismo mineral, y serán modificadas cuando se trabaje con otra mena con diferente mineralización.

Si la flotación se considera con velocidad necesaria

para ser un proceso selectivo, debe cumplirse que el mineral tenga un tamaño de partícula que permita la liberación de las especies. En muchos casos la flotación da buenos resultados con partículas de tamaño intermedio. La presencia de lodos finos en la pulpa generalmente causa deterioros en la flotación reduciendo la rapidez y selectividad e incrementando el consumo de reactivos.

En términos generales, no pueden recuperarse de una manera selectiva partículas de sulfuros minerales que sean mayores a malla 40 (alrededor de 245 micrometros de diámetro) y no menores a 5 micrometros debido a que ocasionan los problemas que arriba se mencionan. Partículas que son muy largas generalmente no pueden ser flotadas satisfactoriamente y son dejadas en las colas, donde grandes cantidades de colector son necesarias para su flotación y esto de ninguna manera es bueno, ya que cantidades muy grandes de reactivos reducen la selectividad e incrementan los costos de operación.

c) Densidad de pulpa :

La separación por flotación es llevada a cabo en una pulpa tan densa como sea posible, favoreciendo así, una buena selectividad y condiciones de operación. A mayor densidad de pulpa, se requiere de menor volumen de celda y generalmente son necesarias menos cantidades de reactivos porque la eficiencia de estos es una función de su concentración en solución, la cual es en turno una función de la densidad de pulpa. En varias separaciones comerciales (flotaciones) se utilizan densidades de pulpa de entre 25 y 40 % sólidos, pero la densidad puede llegar a ser tan alta co-

mo de 55 % sólidos o más y tan baja como 8 % sólidos.

Durante una prueba de flotación la densidad de pulpa varía continuamente desde el inicio hasta el final, conforme los sólidos son separados con la espuma y el agua es adicionada para mantener el nivel de pulpa adecuado. Estas variaciones continuas en la densidad de pulpa cambian las concentraciones de todos los reactivos en la celda.

En general al incrementarse la densidad de la pulpa, hay un deterioro drástico en la aereación de la misma y en la flotabilidad de partículas de tamaño grande, la adición de partículas finas de ganga se incrementa y se reduce la calidad del concentrado, debido a esto las pruebas de flotación requieren de una determinada densidad de pulpa, para lograr mejores concentrados.

d) Adición de reactivos :

Los reactivos para las pruebas de flotación son usados en muy pequeñas cantidades. Su clasificación esta en función de su papel en la flotación, dividiéndose en los siguientes grupos : colectores, espumantes, activadores, depresores, reguladores de pH y floculantes.

COLECTORES :

Son un grupo grande de reactivos orgánicos, compuestos individualmente o productos técnicos, bastante diversos por su composición y estructura. El destino principal de los colectores es la hidrofobización selectiva de la superficie de las partículas de ciertos minerales en la pulpa de flotación, creando condiciones favorables de su adherencia a las burbujas de aire para su ulterior extracción en concentrados. Los colectores disminuyen la humectación de las

partículas de mineral y aumentan su capacidad de adherencia a las burbujas de aire.

Los colectores se dividen en dos grupos debido a su capacidad a la disociación en la pulpa de flotación: los ionógenos, que se disocian en iones, y los no ionógenos, que actúan en forma molecular. En función de si la parte de flotación activa de la molécula es anión o catión, los colectores ionógenos se subdividen en aniónicos y catiónicos, debido a que los colectores presentan una parte no polar (hidrocarburo), sin carga y otra parte polar con carga y dando ésta el carácter catiónico o aniónico.

En función de la estructura química, los colectores aniónicos se dividen en sulfhídricos, para los cuales es característica la existencia de la parte polar del grupo $-SX(X=H, Na, K, NH_2)$, ácidos grasos y sus sales (jabones), alquilsulfatos y alquilsulfonatos, los que tienen en su composición $-SO_3X$ y $-OSO_3X$ ($X = H, Na, K$), respectivamente.

Los colectores catiónicos son compuestos orgánicos en los cuales el radical hidrocarburo es el catión. El grupo de estos reactivos esta representado por aminas, sus sales bases amónicas, aminas cuaternarias y otras bases nitrogenadas (derivados de la guanidina, tiouronio, etc.).

Los colectores no ionógenos también se dividen en los reactivos que contienen azufre bivalente, aceites hidrocarbonados apolares y los ésteres polialquilenglicólicos de los ácidos grasos, alcoholes, alquifenoles, etc.

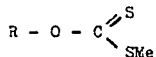
Es racional separar en un grupo aparte las resinas, pues-
to que éstas son de composición especial, frecuentemente
mezclas de sustancias orgánicas de diversa estructura (tan-

to ionógenas como no ionógenas). (14)

XANTATOS :

Los colectores sulfhídricos corresponden a grupos de sustancias que poseen el grupo polar sulfhídrico (hidrosulfúrico) -SH : sales de ácidos xantogénicos (xantatos o xantogenatos) sales de ácidos de diaril- y dialquilditiofosfóricos (ditiofosfatos o aeroflotes), mercaptobenzotiazol y otras.

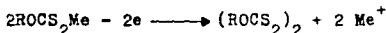
Los xantatos son sales del ácido xantogénico y su fórmula química es :



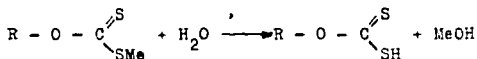
siendo Me catión K^+ , Na^+ , o H^+ .

Los xantatos son sustancias cristalinas duras con un olor característico, que les es propio gracias a la existencia de una ínfima cantidad de mercaptanos. Los xantogenatos de metales alcalinos tienen generalmente tonos claros, desde blanco hasta amarillo claro.

Los xantatos pueden oxidarse, convirtiéndose en este caso en dialquixantogenuros:



Las soluciones acuosas de los xantatos se hidrolizan formando los ácidos xantogénicos:



El ácido xantogénico puede descomponerse espontáneamente formando alcohol y disulfuro de carbono. En solución acuosa, la hidrólisis de los xantogenatos aumenta con la reducción del pH del medio, la elevación de la temperatura

y disminución de la concentración. (14).

EFFECTO DE pH :

En forma general el pH influye en la flotabilidad de un mineral pues a un cierto pH tenemos una cierta carga superficial, la cual repercutirá en la adsorción del colector. (13).

Existen ecuaciones empíricas las cuales dan información de 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 :

$$\text{pH crítico} = 14.4 + \log (X^-)$$

donde (X^-) corresponde a la concentración del reactivo colector xantato.

A valores por abajo del pH crítico, el mineral flota y a valores por encima del pH crítico el mineral no flota.

AGENTES ESFUMANTES :

Son sustancias tensoactivas heteropolares que pueden adsorberse en la superficie de separación agua-aire.

En la fase líquida de la pulpa de flotación su acción eleva la resistencia mecánica de las burbujas de aire, favorece su conservación en estado disperso, aumentando de esta forma la superficie de adherencia de las partículas de mineral flotante y la estabilidad de la espuma de flotación.

La eficacia del empleo de algunos agentes espumantes depende en gran parte del pH de la pulpa. Su capacidad para la formación de la espuma es máxima cuando el reactivo se halla en forma moléculas.

En referencia a la eficacia de acción de los espumantes con diversos valores de pH de la pulpa, estos se divi-

den en básicos, los que poseen una propiedad espumígena máxima en pulpas alcalinas; ácidos, los que disminuyen sus propiedades espumígenas a medida que se incrementa la alcalinidad de la pulpa, y los neutros, cuyo empleo en la flotación no depende prácticamente del pH de la pulpa.

A los espumantes ácidos pertenecen los reactivos fenólicos (cresol, xilenol, aceites de madera que contienen fenol y otros) y los alquilarilsulfonatos (detergentes y azolatos). Puesto que la flotación de los minerales se efectúa generalmente en pulpas alcalinas, en la práctica de enriquecimiento los agentes espumantes ácidos se conocen como débiles, pero en su mayoría son reactivos bastante selectivos.

A los agentes espumantes principales pertenecen las bases de piridina pesadas (elevada masa molecular), que poseen una elevada propiedad espumígena en medios muy alcalinos.

El grupo más considerable de agentes espumantes por su cantidad e importancia es el de reactivos neutros. Es racional subdividirlos en tres grupos: Los reactivos que contienen alcoholes aromáticos y alicíclicos; reactivos que contienen alcoholes alifáticos y los que contienen sustancias con enlaces de éteres.

Al primer grupo de reactivos corresponden las sustancias que contienen terpineol.

En el segundo grupo entran sustancias individuales o mezclas de alcoholes.

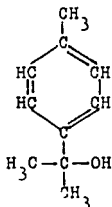
En el tercer grupo entran los reactivos que contienen sustancias con enlaces éteres. (14)

ACEITE DE PINO :

El aceite de pino se obtiene de la destilación destructiva de ciertas variedades de pino. El ácido cresílico es producto de la destilación de la brea del carbón consistente principalmente de xilenoles con una pequeña proporción de cresoles.

El aceite de pino consiste principalmente de terpineol con una pequeña proporción de otros alcoholes de terpeno e hidrocarburos. Es un vigoroso espumante no selectivo con cierto poder colector para los sulfuros minerales a causa de los hidrocarburos de terpeno que contiene; estos tienden a cubrir o revestir todas las partículas minerales sin diferencia alguna, haciéndolas que floten en grados variables. (13).

La espuma de α - terpinol, es el principal componente del aceite de pino, el cual se muestra a continuación:



REACTIVOS REGULADORES :

Es posible dividirlos en dos grupos: inorgánicos y orgánicos.

Los reguladores inorgánicos a su vez se subdividen en ácidos, álcalis y sales de metales.

A las sustancias orgánicas de acción depresora corres-

ponden aquellas que tienen en su composición grupos funcionales hidrofílicos, tales como:

-OH, -COOH, -NH₂, -SO₃H y otros.

Teniendo en cuenta las particularidades de los grupos polares, los que ejercen una influencia considerable en las propiedades de adherencia de los depresores de elevada masa molecular en los minerales, se subdividen en:

1) Los polímeros no iónicos, o sea, compuestos de elevada masa molecular que contienen gran número de los grupos funcionales hidrofílicos no iónicos -OH, -CONH₂, -OCH₃, -OC₂H₅, -OCOCH₃ y otros.

2) Los polímeros aniónicos, a los cuales corresponden los compuestos que contienen grupos aniónicos: -COOH, -SO₃H, -OSO₃H y otros.

3) Los polímeros catiónicos, o sea, compuestos que contienen grupos catiónicos: -NH₂, =NH.

4) Los polímeros anfóteros, a los cuales corresponden los compuestos que contienen simultáneamente tanto grupos catiónicos como aniónicos.

ANGULO DE CONTACTO :

El trabajo que debe realizarse para despojar una partícula mineral de una burbuja a la que ha llegado a adherirse, es una medida de su tenacidad para pegarse a la burbuja, esto es, de su flotabilidad.

La flotabilidad puede ser determinada o evaluada en forma indirecta, en condiciones ideales, a base de medidas del ángulo de contacto, aunque los resultados obtenidos no necesariamente se aplican a las condiciones de la flotación conseguidas en la práctica.



Figura 2. Diferentes ángulos de contacto.

La figura (2) muestra como las gotas de agua colocadas en diferentes tipos de superficie, asumen formas diferentes, ofreciendo distintos ángulos de contacto. El ángulo de contacto que usualmente se le designa por la letra griega θ , es aquel comprendido entre la tangente a la interfaz aire/agua en su punto de contacto con el sólido y la superficie del propio sólido.

En una superficie aceitada repelente al agua, la gota tiende a permanecer en forma esférica, como en la figura (2A), por lo que el ángulo θ es grande. En una superficie que atrae al agua, la gota tiende a extenderse, como en la figura (2B) y el ángulo θ correspondiente es pequeño.

En forma matemática uno puede asumir una tensión hipotética γ_{sw} que actúa en todos los puntos de la línea de contacto entre el líquido y el sólido, que tiende a jalar la gota hacia adentro para producir el mínimo de área seca; figura (2A). Con una superficie hidrofóbica γ_{sw} es comparativamente grande y γ_{SA} es comparativamente pequeña, por lo tanto, la gota tiende a abultarse. Con una superficie hidrofílica sucede lo contrario y la gota se aplana, extendiéndose.

La experiencia nos dice que a un pequeño ángulo de con-

tacto entre el líquido y el sólido corresponde una mayor facilidad para el esparcimiento del líquido sobre la superficie, llegando $\theta \approx 0^\circ$ a la mayor facilidad del líquido para mojar la superficie. Si el ángulo de contacto es grande $\theta > 90^\circ$ el líquido tiende a formar gotitas esféricas sobre la superficie.

TRABAJO DE ADSORCION Y ADHESION :

El trabajo de adsorción es el trabajo necesario para separar una fase en varias partes, obteniéndose una mayor superficie.

El trabajo de adhesión es el trabajo necesario para formar una interfase, es este caso sólido-gas.

Por la tanto para que tengamos flotabilidad el trabajo de adhesión debe ser mayor que el trabajo de adsorción.

INFLUENCIA DEL OXIGENO SOBRE LOS MINERALES

La reacción química entre el sulfuro mineral y el oxigeno disuelto en agua es extremadamente importante, el efecto del oxigeno en una solución de minerales (pulpa) puede ser descrita como sigue: el oxigeno puede causar cambios fundamentales en la composición de la superficie del mineral por acción química (8).

A presión normal, un litro de agua de lluvia, que es considerada como saturada de aire contiene 25 - 30 c.c. de gas el cual consta de 30% de oxigeno, 10% de dióxido de carbono, 60% de nitrógeno. De esta manera el aire disuelto en agua es mucho más rico en oxigeno y dióxido de carbono que el aire atmosférico.

La acción de este oxigeno en sulfuros minerales, especialmente en presencia de agua, dá como resultado su oxidación, seguida por la transformación a sulfato, antes pasando por estados intermedios. La oxidación de la calcopirita guía la formación de los sulfatos de cobre (8).

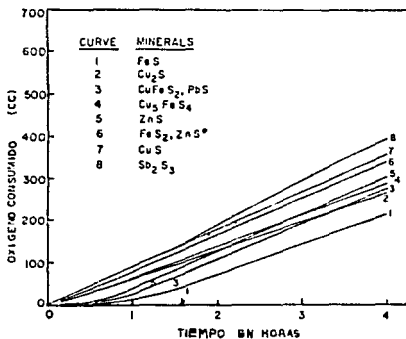
Un resultado extremadamente importante de la oxidación del sulfuro mineral es el cambio fundamental que esto produce en la composición de la estructura de la superficie otro factor de gran importancia es que el sulfato formado es inmensurablemente más soluble que su correspondiente sulfuro (11).

La relación de oxidación de los sulfuros en solución se incrementa en una cantidad considerable si estos son oxidados juntamente cuando están en contacto.

Esto se debe a otros factores al lado del efecto de

oxidación y de los productos de solución de algunos sulfuros y otros. Esto establece que las corrientes que sobrevienen en puntos de contacto entre minerales, teniendo diferentes potenciales, tienen un papel activo en la oxidación y en la reacción con varios agentes. Las diferencias de potencial entre los minerales que se encuentran en contacto aceleran la oxidación y la disolución de uno de los minerales.

Las cantidades de oxígeno requeridas para completar las flotaciones con xantato aumentan para los sulfuros minerales en la siguiente forma: Galena, Pirita, Esfalerita, Calcopirita, Pirrotita, Arsenopirita (2). Esta afinidad por el oxígeno se puede observar en la siguiente gráfica (A).



Gráfica (A). Intervalos de oxidación de minerales (consumo de oxígeno) en soluciones neutras pH = 7.1 (11).

Recientes investigaciones mencionan que el orden de influencia del oxígeno y xantato sobre la superficie fresca del sulfuro mineral es la siguiente : Primero el oxígeno es adsorbido por el mineral para posteriormente ser fijado el xantato (9).

Debido a que el oxígeno es adsorbido primeramente por el mineral se menciona a continuación el efecto del oxígeno sobre las superficies de sulfuros metálicos recordando que el oxígeno al reaccionar primeramente con la superficie del sulfuro en una solución acuosa da como resultado la oxidación de este mineral (8).

La adsorción física de gases como el oxígeno o vapores puede cambiar a adsorción química cuando existan características físicas entre el adsorbato y el sustrato sólido. Para minerales expuestos a la acción del aire ocurre algo parecido a una quimisorción cuando los elementos que componen al mineral reaccionan en fase para formar los correspondientes óxidos o nitruros. De esta manera todos los sulfuros tienden a quimisorber el oxígeno sustituyendo la fisisorción, los sulfuros tienden a formar productos de oxidación adicionales en la superficie, desde sus elementos constituyentes que tienen gran afinidad por el oxígeno.

En vista de la heterogeneidad de las superficies sólidas, ni la adsorción inicial ni las subsecuentes reacciones formando productos de oxidación en la superficie proceden uniforme y completamente a la superficie total. Inicialmente los pliegues, las salientes de la superficie adsorben oxígeno preferencialmente y comienzan formando ca-

pas como producto de la oxidación. Diferentes caras de cristales (expuestas como superficies) son oxidadas a diferentes intervalos. La presencia de defectos en las caras del sólido, la afinidad por el oxígeno y la contaminación sobrevienen de una variedad de causas que en mucho dominan la influencia de la cinética de reacción de diferentes caras del sólido.

La afinidad de una reacción como lo es la oxidación, es definida en termodinámica como la derivada del cambio de la energía libre con respecto a la extensión de la reacción que toma lugar cuando dadas las cantidades de reactivos son convertidos en las apropiadas cantidades de productos.

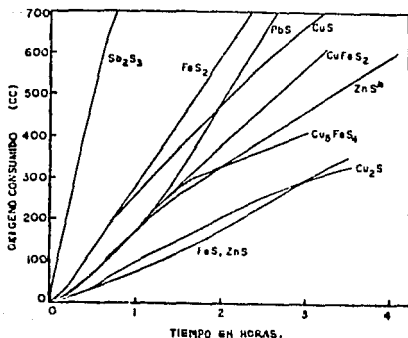
Dependiendo de la estructura electrónica del átomo del metal incorporada en la superficie, los enlaces formados por quimisorción a diferentes pliegues, salientes, dislocaciones, etc. pueden variar considerablemente en carácter y energía.

Consecuentemente a el desarrollo de un enlace durante la quimisorción ocurre alguna perturbación de los átomos de la superficie. La superficie, resultado de la perturbación por quimisorción puede provocar tensiones o esfuerzos de compresión en diferentes porciones de la superficie, en algunos casos esfuerzos se pueden cancelar y en otros casos aumentar en magnitud.

Una superficie policristalina recién fracturada contiene una variedad de fases cristalinas muy grande, cada una de las cuales tiende a quimisorber el oxígeno a diferentes intervalos y reaccionan subsecuentemente con oxígeno adicional para dar una película oxidada de diferente

espesor. Capas de diferentes óxidos son formados paralelamente a la superficie con un menor estado de oxidación. Cuando una fracción fresca de superficie de un sulfuro metálico experimenta oxidación en aire o solución acuosa, el producto formado consiste de una larga variedad de especies comenzando con el sulfuro elemental, metal hidróxido, metal tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$), metal politionato ($S_xO_6^{2-}$, $x = 2 - 6$) y metal sulfato (SO_4^{2-}). El número de especies posibles se incrementa rápidamente con estados de oxidación múltiple de los elementos metálicos, como $CuFeS_2$. Las cuales ocurren en las reacciones de oxidación y juegan un papel decisivo en el establecimiento de la naturaleza de las especies presentadas en la película de oxidación. La afinidad del oxígeno (medida por PO_2 , la presión parcial de oxígeno de la reacción sólido-gas, o por μO_2 el potencial químico de disolución del oxígeno en solución por las reacciones sólido-líquido), la temperatura del sistema, la existencia de agentes catalíticos en el sistema y el tiempo de oxidación, todas intervienen en la composición de la película de óxido.

Los intervalos de oxidación son medidos en términos del volumen de oxígeno consumido por unidad de superficie de área expuesta empleando tamaños de partícula equivalentes, densidades de pulpa, agitación y presión de oxígeno equivalentes, para mantener las mismas condiciones durante los experimentos; estos consumos se muestran en la gráfica (B).



Gráfica (B). Intervalos de oxidación de minerales (consumo de oxígeno) en soluciones básicas pH= 11.1 (11).

ADSORCIÓN DE LOS COLECTORES EN FLOTACIÓN

Como ya se mencionó es necesario que el reactivo colector se fije en el mineral para que adquiera su carácter hidrófobo, para que esto ocurra primeramente es necesario que el oxígeno se fije en el mineral para la posterior fijación del colector.

Existen algunos sólidos que no requieren de un colector para tornarse hidrofóbicos y ser separados.

Al mejorar la cinética de flotación, un sólido hidrofóbico requiere una adición de un espumante dipolar, ocasionalmente una adición de un no polar.

De experiencias anteriores es bien conocido que no muchos surfactantes pueden actuar como un colector para un

sólido dado.

El criterio de mojado parcial de una superficie hidrofóbica connota una resistencia a desplazar la superficie del adsorbato a la línea de contacto entre las tres fases sólido-líquido-gas.

De esta manera se maneja el fenómeno de adsorción, implicando la transferencia de materia de una fase a una interfase; existiendo dos tipos que son:

-Adsorción física: las moléculas de adsorbato se mantienen adheridas a la superficie del sólido por fuerzas relativamente débiles de Van der Waals (electrostáticas); en ésta fisisorción es factible la posibilidad de formar más de una capa, ya que el adsorbato queda como película, este proceso a menudo es reversible y se establece rápidamente, aunado a un desprendimiento de energía, se favorece la adsorción a bajas temperaturas.

-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 ó covalentes).

En la quimisorción solo se forma una capa. El aumento en la temperatura lo favorece; también el proceso es amenudo 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 • ad-

sorbato.

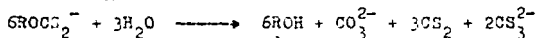
La adsorción de los surfactantes dentro de una fase acuosa sobre los minerales, es un proceso que es función de varios parámetros, tales como:

- Propiedades del sólido.- Solubilidad y potencial electroquímico interfacial.
- Propiedades de la solución.- Salinidad, pH, temperatura.
- Propiedades de la superficie en si 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 pone 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.

INFLUENCIA DEL OXIGENO SOBRE EL COLECTOR XANTATO

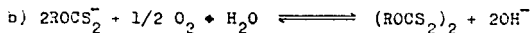
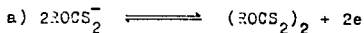
En soluciones altamente alcalinas las reacciones de descomposición dan como productos finales : carbonatos, hidrosulfuros y tritio carbonatos en forma iónica y al alcohol como se indica en la reacción:



Para propósitos de flotación, las reacciones más importantes ocurren en soluciones de Xantato en rangos de pH de 6 - 12, en las últimas dos décadas se ha demostrado que la oxidación (causada por un agente oxidante u oxígeno en forma de aire) de forma descriptiva es esencial antes que los

xantatos y algunos thiosurfactantes, pueden actuar como colectores en sistemas de sulfuros, dichos colectores sufren las siguientes transformaciones:

La oxidación del ion xantato a dixantogeno se representa por la siguiente reacción:



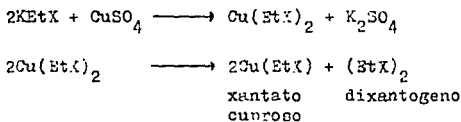
o la oxidación de los sulfuros proporciona hidrofobicidad al metal xantato pero los productos siguen siendo un problema en cuestión; la oxidación a dixantogeno se observa realmente a concentraciones de soluciones de xantato, desde que el dixantogeno insoluble es separado de la solución como una emulsión de aceites dispersos (produciendo una notable turbulencia). La reacción de oxidación del xantato anterior ha sido considerada irreversible y el dixantogeno no reactivo. De cualquier modo estudios espectrofotométricos en dispersiones de xantato (dixantógenos) muestran que éstos reaccionan en soluciones alcalinas y vuelven en parte al xantato descomponiéndose en CS_2 . Rao Y Patel (11) establecen que la oxidación del ion xantato en soluciones acuosas a dixantogeno es catalizada por iones multivalentes reducibles como son Cu^{2+} y Fe^{3+} . Golikov (2) predice que las superficies de los sulfuros metálicos pueden actuar como catalizadores de oxidación.

Finkelstein (1967) observa que las constantes de equilibrio para la reacción del xantato a dixantogeno difiere por ordenes de magnitud, si es calculada por medio de datos potenciométricos, con la calculada por medio de datos espectroscópicos. Finkelstein (5) establece en contradicción con los resultados que la oxidación del xantato a di-

xantogeno no toma lugar en soluciones homogéneas puras, sin importar la cantidad de oxígeno disuelto.

Otras investigaciones mostrarán que muchas reacciones de xantatos a dixantogenos son influenciadas por trazas de impurezas en el sistema.

Los xantatos y muchos colectores similares estudiados son fácilmente oxidados y también forman sales insolubles con metales pesados (9).



Las solubilidades de metales xantatos se incrementan en el siguiente orden: oro, cobre, plomo, níquel, zinc, hierro.

Solubilidad promedio del $\text{Cu}_2(\text{EtX})_2 = 4.1 \times 10^{-8}$ mol/lit. en agua a 20°C

Solubilidad del metal Cu^+ $\text{pk}_{\text{sp}} = 19.28$ $\text{pk}_{\text{K}^-} = 9.64$ en agua a 25°C .

donde $\text{K}_{\text{sp}} = [\text{M}^{n+}][\text{X}^-]^n$ y $\text{pK}_{\text{s}} = -\log \text{K}_{\text{sp}}$

donde M^{n+} = ion metálico.

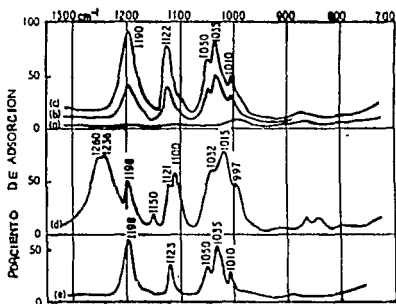
X^- = ion xantato (ROCSS^-)

La extensión de la reactividad entre los iones xantato y los iones metálicos ha sido de gran interés, particularmente para Taggart cuya hipótesis es que la flotación es debida a la precipitación de xantatos de metales pesados insolubles. (4)

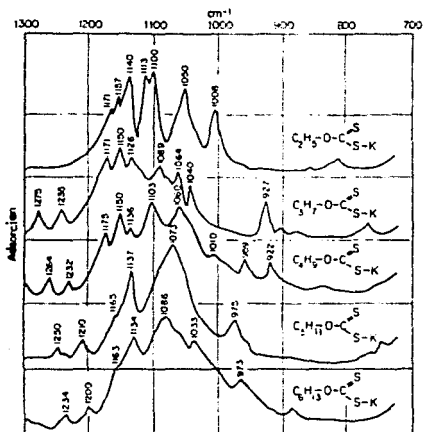
Estas apreciaciones de que los enlaces entre el metal y los átomos de sulfuro son covalentes en todos los

metales xantatos insolubles, estos se explica debido a que al aumentar la solubilidad disminuye el carácter covalente de sus enlaces y con ello la hidrofobicidad natural del metal xantato disminuye.

Los metales xantatos pueden ser identificados realmente por dos técnicas: difracción de rayos X y espectroscopía de infrarrojo, es por lo común la más versátil y la más fácil de llevar a cabo ésta última ya que proporciona información sobre la naturaleza química del xantato y sobre la forma de enlace con el grupo polar y de éste con el sustrato por medio de los cambios en el espectro como muestra en las gráficas (C) y (D).



Gráfica (C). Espectros de especies xantatos adsorbidos en sustratos oxidados y sulfidizados de cobre
a) superficie fresca y pulida de cobre.
b) y c) xantato etílico cuproso formado por adsorción de xantato etílico de potasio.
d) mezcla de xantatos cuprosos y etil dixantogenos.
e) efecto de limpieas. (11).



Gráfica (D). Espectro de infrarrojo de xantato etílico de potasio a hexílico. (11).

MECANISMOS DE REACCION ENTRE XANTATOS Y SULFUROS MINERALES

La reacción entre el colector y la superficie del mineral en flotación es muy importante para aclarar los principios de flotación.

Sin embargo los mecanismos del colector no son del todo entendidos, dado que el fenómeno de fijación se debe principalmente a la formación de una película mono-molecular la cual se produce en la superficie del mineral por la reacción entre el colector y la superficie del mineral y es tan pequeña que es difícil medirla para confirmar los productos.

Se han investigado las reacciones entre los agentes de flotación y las superficies de sulfuros minerales por procesos electroquímicos por muchos años, sin embargo, esta reacción del ion xantato en sulfuros minerales puede ser considerada de la afinidad química, en base a constantes termodinámicas.

Taggart (4) mencionó que los minerales generalmente son oxidados por el proceso de conminución en húmedo. Los productos que contienen ion xantato son solubles en agua y la reacción por cambio de ion acorde a la diferencia de solubilidad puede ocurrir con la producción de una película de metal xantato compuesta en la superficie del mineral por lo que el mineral se vuelve hidrofóbico y flotable.(4)

La razón por la cual taggart postula la oxidación de la superficie del mineral es probablemente que la solubilidad de el sulfuro mineral es generalmente más pequeña, esto explica la producción de el metal xantato en la superficie del mineral, sin asumir la oxidación de

la superficie mineral.

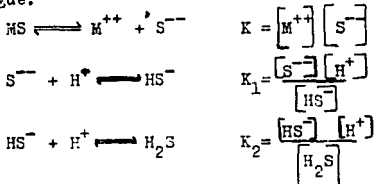
Recientemente Rietsz considerará la importancia de la reacción química en flotación. El estima las solubilidades de el metal xantato y del metal hidróxido en la solución de varios valores de pH. De esta manera se ha intentado investigar la condición de flotación de minerales en base a la diferencia de solubilidades. (4)

La reacción de flotación en la teoría de solubilidades por Taggart fué considerada solo en base de los productos de solubilidad en la reacción a productos. En el estudio por Rietsz, la reacción de flotación se considera por la variación de solubilidad en solución a varios valores de pH.

Sin embargo en estos dos trabajos las solubilidades de los productos en la flotación solo consideran las concentraciones de reactivos y la reacción del sistema no se considera. Es bien conocido que la flotabilidad de los minerales es considerablemente influenciada por las cantidades de colectores o depresores en la pulpa.

1) Solubilidad de el sulfuro mineral con la variación del pH en solución:

Cuando un sulfuro metálico representado por HS es inmerso en agua pura existe el siguiente equilibrio con el agua como sigue:



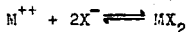
Si la solubilidad del sulfuro esta representada como:

$$[M^{++}], \quad [M^{++}] = \sqrt{K \left(1 + \frac{[H^+]}{K_1} + \frac{[H^+]^2}{K_1 K_2} \right)^{1/2}}$$

2) Afinidades químicas entre el sulfuro mineral y el ion xantato:

Horowitz concluyó en sus estudios de adsorción que en un electrolito los iones tienden a ser fuertemente adsorbidos en un sólido cristalino si éste forma un compuesto difícilmente o débilmente disociado con el ion de carga opuesta en el cristal, la adsorción depende en la reacción de el producto de solubilidad y la afinidad química. (4)

Assumiendo que la adsorción de el ion xantato en la superficie de el sulfuro mineral depende de la afinidad química de la reacción entre el catión debido a la estructura y al ion xantato, se tiene que:



donde X^- = ion xantato y MX_2 = metal xantato.

El cambio de energía libre G para esta reacción es:

$$\Delta G_1 = \Delta G_1^0 + RT \ln \frac{[MX_2]}{[M^{++}][X^-]^2}$$

donde $[MX_2]$, $[M^{++}]$, y $[X^-]$ son las actividades de los reactivos sólidos. Si uno, entonces las actividades son identificadas como concentraciones.

Simplificando:

$$[MX_2] \text{ asumiendo que es un sólido}$$

$$\Delta G_1 = \Delta G_1^0 - RT \ln [M^{++}][X^-]^2$$

Los valores de MX_2 para xantato de cobre $6.3 \times 10^{-28.5}$

CAPITULO II
DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo del trabajo experimental se dividió en dos secciones:

I) PREPARACION DEL MINERAL.

II) FLOTACION DEL MINERAL.

I) PREPARACION DEL MINERAL :

Debido a que el mineral procedente de "Unidad Minera, La Caridad" que pertenece a la compañía Mexicana de Cobre, S.A., localizada en el norte del país a 15 Km del poblado de Nacoziari, Sonora, fue recibido en trozos procedientes de una trituración, se procedio a:

- 1) Análisis mineragráfico.
- 2) Trituración primaria y secundaria.
- 3) Molienda.

1) Análisis mineragráfico:

En esta etapa se eligieron trozos de mineral a manera de muestras representativas, aproximadamente de 0.5 in de longitud promedio, con el objeto de ser montadas en bakelita en forma de probeta para posteriormente ser pulidas, pasando por desbaste en lija 200 a 600, a continuación fueron pulidas en paño fino con alúmina de 0.01 a 3 micrometros y finalmente fueron observados al microscopio y fotografiadas.

2) Trituración:

Primeramente todo el mineral se sometió a trituración primaria reduciendo su tamaño a malla 5 (4.013 micrometros) para posteriormente ser alimentada a trituración secundaria el tamaño de partícula a malla -8 (2.362 micrometros); finalmente fue alimentado al pulverizador con objeto de homogeni-

zar su tamaño a malla + 40 (325.8 micrometros).

3) Molienda:

Se hicieron pruebas de molienda al mineral con los siguientes tiempos: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 minutos, con el objeto de encontrar las condiciones optimas de molido para obtener el 80 % Ac (-) en el tamaño de liberación del mineral que es de 104.14 micrometros correspondientes a la malla -120 +150 hasta -325; el tiempo de molienda elegido fue 35 minutos, para el cual, con muestras de 200 gramos se obtenía 72.49 % Ac (-) para dichas mallas de liberación.

II) FLOTACION :

Para la etapa de flotación fueron diseñados una serie de 26 experimentos a diferentes concentraciones de reactivo colector y diferentes concentraciones de oxígeno que van desde 0.2 ppm hasta 7 ppm quedando como se muestra en la siguiente tabla:

Conc. O ₂	Conc. de reactivo colector mol/l		
	9x10 ⁻⁴	4x10 ⁻⁴	9x10 ⁻⁵
0.2 ppm	-	-	-
1 "	-	-	-
2 "	-	-	-
3 "	-	-	-
4 "	-	-	-
5 "	-	-	-
6 "	-	-	-
7 "	-	-	-
STD "	-	-	-

Las pruebas fueron realizadas de la siguiente manera:

- 1.- Las flotaciones realizarón un barrido a concentraciones de oxígeno que van desde 0.2 ppm hasta 7 ppm.
- 2.- Cada una de las concentraciones de oxígeno a su vez era corrida a 3 diferentes concentraciones : (9×10^{-4} , 4×10^{-4} , 9×10^{-5} mol/litro) de reactivo colector (Xantato etílico de potasio).
- 3.- Dando un total de 26 flotaciones que fueron elaboradas bajo las siguientes constantes :

$$\text{pH} = 10$$

Modificador de pH = óxido de calcio CaO

Colector = Xantato etílico de potasio

Cantidad de colector:

$$9 \times 10^{-4} \text{ mol/l} = 0.216 \text{ g}$$

$$4 \times 10^{-4} \text{ mol/l} = 0.096 \text{ g}$$

$$9 \times 10^{-5} \text{ mol/l} = 0.0216 \text{ g}$$

Espumante = aceite de pino

Cantidad de espumante

por flotación = 0.062 ml (2 gotas)

pulpa

Porcentaje de sólidos

en peso % "sol

= 30.21 %

{ 1,155 ml H₂O
500 g de mineral
preparado

SECUENCIA DE OPERACION :

- 1.- Colocar en la celda específica de flotación la canti-

dad mencionada de agua para obtener 30.21 %^w sol en la pulpa, que es de 1,155 ml H₂O, introducir el electrodo de cuantificación de oxígeno disuelto, luego sellar la celda.

- 2.- Encender el agitador de la celda "Denver" y ajustar las revoluciones por minuto antes mencionadas (1200 rpm).
- 3.- Se introduce el flujo de oxígeno a la celda, que es cuantificado por el electrodo de medición de oxígeno y posteriormente se inyecta el flujo de nitrógeno con objeto de ajustar la cantidad de oxígeno disuelto en la pulpa.
- 4.- Una vez que se tiene ajustada la cantidad de oxígeno requerida para la prueba, se alimenta el mineral previamente preparado y pesado (500 g).
- 5.- Se modifica el pH de la pulpa a 10 con óxido de calcio. (14)
- 6.- Se agrega el reactivo colector (Xantato etílico de potasio) y se proporciona un tiempo de 5 minutos de acondicionamiento.
- 7.- Finalmente se acondiciona el espumante.
- 8.- El tiempo de cada flotación fue de 10 minutos posteriores a la adición del espumante.
- 9.- La adición de reactivos en el siguiente orden :
 - 1o. reguladores de pH
 - 2o. colectores
 - 3o. espumantesdebe mantenerse a lo largo de todas las flotaciones

para obtener resultados óptimos. (8)

Un punto importante en el procedimiento de flotación es, que la cantidad de oxígeno disuelto en la pulpa una vez que es ajustado debe permanecer sin variación durante los 10 minutos de duración de la flotación y a temperatura ambiente.

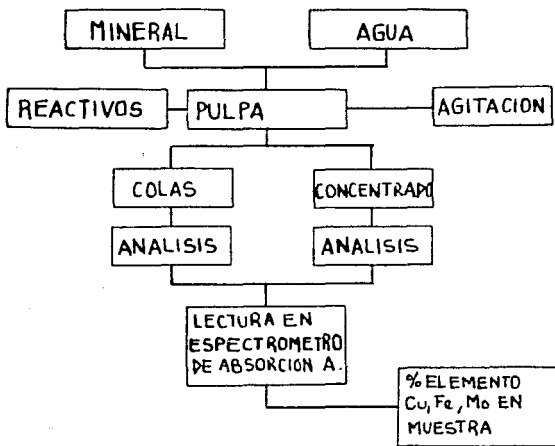
MATERIAL Y EQUIPO :

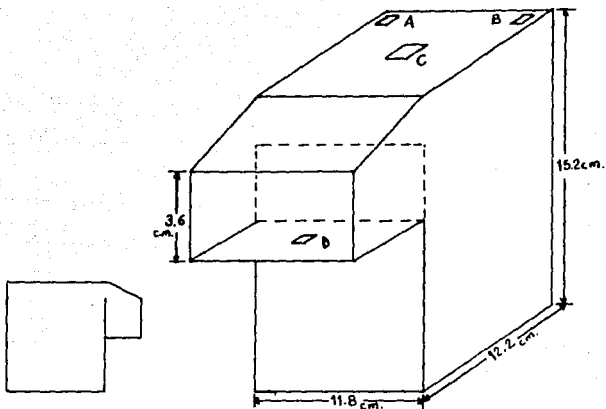
- Cuantificador de oxígeno modelo 54 A, marca YSI; intervalo de 0 - 20 ppm, con sencibilidad de 0.1 ppm.
- Dos flujómetros No 12 de 0 - 2000 ml/min. y No 13 de 0 - 14 l/min para agua y aire marca Gilmont.
- Celda de flotación para laboratorio marca "Denver" con intervalo de 0 - 3000 rpm.
- Celda específica para este estudio, material = acrílico, volúmen = 2000 cm³, construida en el laboratorio.
- Tanque de nitrógeno.
- Filtro.
- Estufa.
- Pissetas.
- Microscopio.

SUSTANCIAS

- Xantato etílico de potasio.
- Oxido de calcio.
- Aceite de pino.
- Agua potable y agua destilada.
- Nitrógeno.
- Mineral.

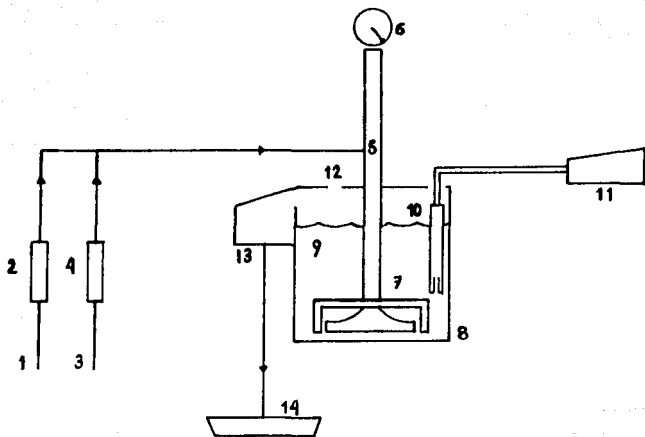
ESTUDIO DE FLOTACION





CELDA ESPECIFICA DE FLOTACION

- A Orificio para alimentar agua, mineral, reactivos.
- B Orificio para electrodo cuantificador de oxígeno.
- C Orificio para propulsor (Agitador) de celda "Denver".
- D Orificio para extracción de concentrado.



DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.

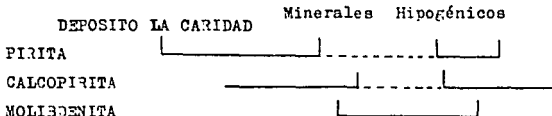
- 1.- Flujo de nitrógeno.
- 2.- Flujometro de nitrógeno.
- 3.- Flujo de aire.
- 4.- Flujometro de aire.
- 5.- Alimentación de gases en la celda
- 6.- Marcador de velocidad en rpm.
- 7.- Agitador.
- 8.- Celda específica.
- 9.- Pulpa.
- 10.- Electrodo de cuantificación de oxígeno disuelto.
- 11.- Aparato cuantificador de oxígeno.

- 12.- Orificio para carga de mineral y agua.
- 13.- Salida de concentrado.
- 14.- Recipiente colector de concentrado.

CAPITULO III
RESULTADOS
REPRESENTACION GRAFICA
DE RESULTADOS
DISCUSION

ANALISIS MINERAGRAFICO

DIAGRAMA PARAGENETICO DE EVENTOS GEOLOGICOS



En este diagrama no se da información a cerca de la especie calcopirita que aparece en el análisis de las muestras, sin embargo si se obtuvo dicha información de esta especie mineralógica a partir de las fotografías de las diferentes muestras del mineral cuyos antecedentes han sido descritos. (Ver apéndice).

El análisis minerográfico realizado a 4 muestras del mineral quedo de la siguiente manera:

Se eliminó una muestra por no reunir las características para ser considerada como representativa, ya que, contenía en su totalidad únicamente pirita.

De las otras tres muestras se presenta a continuación dicho análisis.

El análisis de dichas muestras sobre el mineral concuerdan con el diagrama paragenético de el depósito La Caridad, arriba mencionado, con la diferencia de que la especie molibdenita no fue observada en las muestras; sin embargo, el contenido de molibdeno fue revelado en el análisis químico de las muestras terminadas.

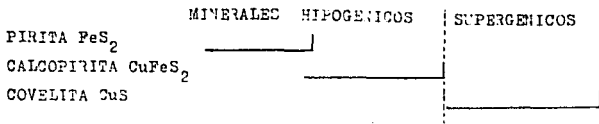


FOTOMICROGRAFIA
MUESTRA No I 10 X 10 (100 AUMENTOS)

En esta muestra se observa claramente que el disulfuro de hierro, (pirita FeS_2) es la primera especie mineralógica en formarse, debido a que para obtenerse estructuras Euedrales como la de ésta son necesarias condiciones de espacio y enfriamiento lento lo que hace pensar que fue la primera especie en formarse. En seguida se observa que la estructura que apareció en segundo término es el sulfuro de cobre y hierro (Calcopirita $CuFeS_2$) debido a que en esta muestra su crecimiento fracturó la estructura anteriormente formada (pirita) y dado que el mineral es considerado como meta para recuperación de cobre su tamaño es relativamente grande. Finalmente encontramos que la tercera especie en formarse es el sulfuro cúprico (Covelita CuS), que se observa que crece a partir de los bordes de la calcopirita hacia su centro lo que indica que su crecimiento es de origen secundario (formada durante la alteración y en-

riquecimiento de mineral de cobre, por acción de las soluciones ascendentes). (15)

DIAGRAMA PARAGENETICO DE EVENTOS GEOLOGICOS, MUESTRA # 1



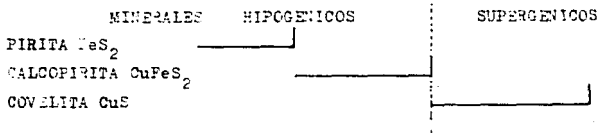
FOTOMICROGRAFIA

MUESTRA No 2 10 X 10 (100 AUMENTOS)

En esta muestra se aprecia que la especie disulfuro de hierro (pirita FeS_2) es la especie que tiende a ser simétrica aparentemente, aunque su estructura es del tipo subanaedral lo que hace suponer que es la primera especie que apareció en el mineral, ya que para obtener una estructura ordenada (subanaedral) son necesarias condiciones de tiempo suficiente para crecer y espacio. La especie que se con-

sidera la segunda en aparecer es el sulfuro de cobre y hierro (calcopirita CuFeS_2) debido a que su crecimiento rodea a una arista de la pirita y dado que su tamaño es menor que el de la pirita no la fractura a esta al crecer como en el caso anterior (muestra # 1). La tercera especie que aparece en el mineral es el sulfuro cúprico (covelita CuS) debido a que se observa que esta crece a partir de la calcopirita en forma de placas delgadas de los bordes hacia el centro; en esta muestra particularmente, debido a que la especie calcopirita es pequeña en dimensión se aprecia que el crecimiento de la especie covelita cubre casi por completo a la especie calcopirita.

DIAGRAMA PARAGENETICO DE EVENTOS GEOLOGICOS, MUESTRA # 2



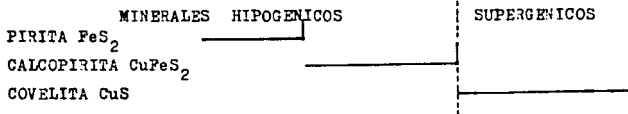


FOTOMICROGRAFIA

VENTANA 10 10 X 10 (1000 X 1000)

En esta muestra se observa que el disulfuro de hierro (pirita FeS_2) presenta una estructura cúbica lo que hace suponer que tuvo el tiempo necesario para crecer y desarrollarse con dicha estructura por ello suponemos que fue la primera especie en formarse. La segunda especie que aparece es el sulfuro de cobre y hierro (calcopirita $CuFeS_2$) debido a que su crecimiento cúbico rodea perfectamente a la estructura de la pirita. La tercera especie que aparece es el sulfuro cúprico (covelita CuS) debido a que en esta muestra su crecimiento es casi completo cubriendo a la estructura calcopirita de la cual crece y desarrolla en forma de laminillas o placas, ya crecen desde los bordes hacia el centro en donde todavía existe calcopirita; esto significa que a la tercera especie le precede en crecer y que la calcopirita es la segunda.

DIAGRAMA PARAGENETICO DE EVENTOS GEOLOGICOS, MUESTRA #3



Por análisis de absorción atómica de la muestra mineral sin procesarse (cabeza) se obtuvo el siguiente análisis :

L E Y

% Cu	% Fe	% Mo
0.567	2.320	0.032

BALANCES METALURGICOS

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	39.5	6.62	7.57	21.76	0.301	50.153	144.16	1.994	84.436	52.865	64.025
COLAS	556.7	93.37	0.099	0.912	0.012	9.244	85.15	1.120	15.563	37.134	35.974
CAB. CALC.	596.2	100	0.5939	2.229	0.0311	59.397	229.32	3.114			

-54-

PRUEBA 1. ESTANDAR

ppm de O ₂ disuelto	= 9.7
g de KEX	= 9×10^{-4} mol/l
ml de espumante	= 0.0313
Flujo de O ₂	= 10 l/min.
Flujo de N ₂	= -----
Tiempo de acond.	= 5 min.
Tiempo de flotación	= 10 min.
% ^w sólidos	= 30 % ^w
pH	= 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT.MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	33.8	6.789	6.09	18.48	0.330	41.35	125.4	2.240	75.36	56.79	58.575
COLAS	464	93.210	0.145	1.024	0.017	13.51	95.44	1.584	24.63	43.20	41.424
CAB. CALC.	497.8	100	0.548	2.209	0.038	54.86	220.9	3.825			

-55-

PRUEBA 2 . ESTANDAR

ppm de O₂ disuelto = 9.7
g de KEX = 4×10^{-4} mol/l
ml de espumante = 0.0313
Flujo de O₂ = 10 l/min.
Flujo de N₂ = ----
Tiempo de acond. = 5 min.
Tiempo de flotación = 10 min.
%^w sólidos = 30.21 %^w
pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	33.6	6.778	7.17	20.94	0.295	48.600	141.9	1.99	83.37	61.75	58.84
COLAS	462.1	93.22	0.104	0.943	0.015	9.695	87.90	1.398	16.63	38.24	41.15
CAB. CALC.	495.7	100	0.583	2.298	0.034	58.29	229.8	3.397			

-56-

PRUEBA 3. ESTANDAR.

ppm de O_2 disuelto = 9.7
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313
 Flujo de O_2 = 10 l/min.
 Flujo de N_2 = ----
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	35.4	7.128	6.32	19.35	0.305	45.05	137.9	2.174	82.62	61.69	70.07
COLAS	461.2	92.871	0.102	0.922	0.010	9.472	85.62	0.928	17.37	38.30	29.93
CAB. CALC.	496.6	100	0.545	2.235	0.031	54.52	223.5	3.10			

-57-

PRUEBA 4 .

ppm de O_2 disuelto = 7
 Conc. de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313
 Flujo de O_2 = 5 l/min.
 Flujo de N_2 = 800 ml/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % ^w sólidos = 30.21
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	35.5	7.094	6.64	20.02	0.305	47.106	142.0	2.163	76.58	60.96	73.39
COLAS	464.9	92.905	0.155	0.979	0.007	14.40	90.954	0.706	23.41	39.04	24.60
CAB. CALC.	500.4	100	0.615	2.329	0.028	61.50	232.9	2.869			

-58-

PRUEBA 5.

ppm de O₂ disuelto = 7
 Conc. de KEX = 4×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313
 Flujo de O₂ = 5 l/min.
 Flujo de N₂ = 800 ml/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %^w
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	40.3	8.0535	5.18	9.69	0.240	41.71	78.03	1.93	61.92	26.48	53.87
COLAS	460.1	91.946	0.279	2.356	0.018	25.65	216.6	1.65	38.07	73.51	46.12
CAB. CALC.	500.4	100	0.673	2.946	0.035	67.37	294.6	3.587			

PRUEBA 6.

ppm de O ₂ disuelto	= 7
Conc de KEX	= 9×10^{-5} mol/l
ml de espumante	= 0.0313 ml
Flujo de O ₂	= 5 l/min.
Flujo de N ₂	= 800 ml/min.
Tiempo de acond.	= 5 min.
Tiempo de flotación	= 10 min.
% ^w sólidos	= 30.21 %
pH	= 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. NET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	31.6	6.331	6.93	20.32	0.230	43.87	128.6	1.456	76.36	56.93	56.43
COLAS	467.5	93.668	0.145	1.039	0.012	13.58	97.32	1.124	23.63	43.06	43.56
CAB. CALC.	499.1	100	0.574	2.259	0.025	57.45	225.9	2.580			

-60-

PRUEBA 7.

ppm de O₂ disuelto = 6
 Conc de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml.
 Flujo de O₂ = 5 l/min.
 Flujo de N₂ = 1500 ml/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT.MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	40.2	7.908	5.63	18.15	0.277	44.52	143.5	2.190	83.43	66.39	64.31
COLAS	468.7	92.091	0.096	0.789	0.013	8.840	72.66	1.215	16.56	33.60	35.68
CAB. CALC.	508.3	100	0.533	2.162	0.034	53.36	216.2	3.406			

-61-

PRUEBA 8.

ppm de O₂ disuelto = 6
 Conc. de KEX = 4×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 5 l/min.
 Flujo de N₂ = 1500 ml/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	30.4	6.101	8.05	21.38	0.307	49.12	130.4	1.873	83.15	60.47	55.49
COLAS	467.8	93.898	0.106	0.908	0.016	9.953	85.25	1.502	16.84	39.52	44.50
CAB. CALC.	498.2	100	0.590	2.157	0.033	59.07	215.7	3.375			

21

PRUEBA 9.

ppm de O₂ disuelto = 6
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 5 l/min.
 Flujo de N₂ = 1500 ml/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	32.2	6.322	7.01	20.75	0.298	44.32	131.18	1.884	78.05	59.45	52.77
COLAS	477.1	93.677	0.133	0.955	0.018	12.45	89.46	1.686	21.94	40.54	47.22
CAB. CALC.	509.3	100	0.567	2.206	0.035	56.78	220.6	3.570			

-63-

PRUEBA 10.

ppm de O₂ disuelto = 5
 Conc. de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 4.25 l/min.
 Flujo de N₂ = 3 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REG.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	25.3	4.965	9.62	20.38	0.216	47.77	101.2	1.072	69.36	36.65	32.91
COLAS	484.2	95.034	0.222	1.840	0.023	21.09	174.8	2.185	30.63	63.34	37.08
CAB. CALC.	509.5	100	0.688	2.760	0.032	68.86	276.0	3.25			

-64-

PRUEBA 11.

ppm de O_2 disuelto = 5
 Conc. de KEX = 4×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O_2 = 4.25 l/min.
 Flujo de N_2 = 3 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % W sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	34.1	6.872	6.46	18.64	0.237	44.39	128.0	1.628	78.57	57.80	47.92
COLAS	462.1	93.127	0.130	1.004	0.019	12.10	93.50	1.769	21.42	42.19	52.07
CAB. CALC.	496.2	100	0.565	2.216	0.034	56.50	221.6	3.398			

-65-

PRUEBA 12.

ppm de O₂ disuelto = 5
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 4.25 l/min.
 Flujo de N₂ = 3 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	41.2	8.243	5.32	17.06	0.272	43.86	140.6	2.242	81.70	64.27	72.64
COLAS	458.6	91.75	0.107	0.852	0.009	9.817	78.17	0.844	18.29	35.72	27.35
CAB. CALC.	499.8	100	0.536	2.188	0.030	53.67	218.8	3.086			

-66-

PRUEBA 13.

ppm de O₂ disuelto = 4
 Conc. de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 3.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 5 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	45	8.714	4.84	16.16	0.197	42.17	140.8	1.716	84.46	66.58	61.04
COLAS	471.4	91.285	0.085	0.774	0.012	7.759	70.655	1.095	15.53	33.41	38.95
CAB. CALC.	516.4	100	0.499	2.114	0.028	49.93	211.4	2.812			

-67-

PRUEBA 14.

ppm de O₂ disuelto = 4
 Conc. de KEX = 4x10⁻⁴ mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 3.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 5 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % s^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	31.1	6.036	6.63	20.55	0.214	40.02	124.0	1.291	71.59	55.96	39.56
COLAS	484.1	93.963	0.169	1.039	0.021	15.87	97.63	1.973	28.40	44.04	60.43
CAB. CALC.	515.2	100	0.559	2.216	0.032	55.90	221.6	3.265			

-68-

PRUEBA 15.

ppm de O₂ disuelto = 4
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 3.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 5 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% RES.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	42.7	8.555	5.63	18.25	0.337	48.16	156.1	2.027	21.29	65.19	61.29
COLAS	456.4	91.444	0.122	0.928	0.014	11.15	83.94	1.26	18.80	34.96	38.70
CAB. CALZ.	499.1	100	0.593	2.401	0.033	59.32	240.0	3.307			

-69-

PRUEBA 16.

ppm de O₂ disuelto = 3
 Conc.de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 3.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 5 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % sólidos = 30.71 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	31.9	6.334	7.05	20.25	0.253	44.65	128.2	1.602	77.05	48.67	48.73
COLAS	471.7	93.665	0.142	1.444	0.018	13.30	135.2	1.665	22.948	51.32	51.26
CAB. CALC.	503.6	100	0.579	2.635	0.032	57.95	263.5	3.288			

-70-

PRUEBA 17.

ppm de O₂ disuelto = 3
 Conc. de KEX = 4×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 3.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 7 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	42	8.405	5.17	16.88	0.251	43.454	141.8	2.109	77.97	61.44	67.53
COLAS	457.7	91.594	0.134	0.972	0.017	12.27	89.03	1.557	22.02	38.55	42.46
CAB. CALC.	499.7	100	0.557	2.309	0.036	55.72	230.9	3.606			

-71-

PRUEBA 18.

ppm de O₂ disuelto = 3
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 3.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 7 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	49.4	9.915	4.48	16.32	0.222	44.42	161.8	2.201	82.72	69.35	61.96
COLAS	448.8	90.084	0.103	0.794	0.015	9.278	71.52	1.351	17.28	30.65	38.03
CAB. CALC.	498.2	100	0.537	2.335	0.035	53.70	233.3	3.552			

-72-

PRUEBA 19.

ppm de O₂ disuelto = 2
 Conc. de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 2.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 8 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. NET.			% RES.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	37.8	7.523	6.19	16.36	0.707	46.57	138.1	1.557	61.74	19.85	44.50
COLAS	464.6	92.4761	0.114	1.002	0.021	10.54	91.66	1.941	16.45	40.14	55.49
CAB. CALZ	502.4	100	0.571	2.308	0.035	57.12	230.7	1.499			

PRUEBA 20.

ppm de O_2 disuelto = 2
 Conc. de KEX = 4×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O_2 = 2.5 l/min.
 Flujo de N_2 = 8 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.01 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	31.4	6.205	6.29	19.96	0.187	39.03	123.8	1.160	75.37	57.68	35.99
COLAS	474.6	93.79	0.136	0.961	0.022	12.75	90.13	2.06	24.63	42.12	64.00
CAB. CALC.	506	100	0.518	2.139	0.032	51.78	213.9	3.223			

-74-

PRUEBA 21

ppm de O₂ disuelto = 2
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = 2.5 l/min.
 Flujo de N₂ = 8 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	59.7	11.714	3.52	11.54	0.178	41.23	135.7	2.085	75.08	60.00	64.49
COLAS	445.4	88.285	0.155	1.025	0.013	13.68	90.49	1.147	24.91	39.99	35.50
CAB. CALC.	504.5	100	0.549	2.262	0.032	54.92	226.3	3.232			

-75-

PRUEBA 22.

ppm de O_2 disuelto = 1
 Conc. de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O_2 = 1 l/min.
 Flujo de N_2 = 7 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	36.3	7.284	6.34	18.73	0.239	46.18	136.4	1.741	61.37	60.49	48.43
COLAS	462	92.715	0.114	0.961	0.020	10.57	89.09	1.854	18.62	39.50	51.57
CAB. CALC.	498.3	100	0.567	2.245	0.036	56.75	224.5	3.595			

-76-

PRUEBA 23

ppm de O ₂ disuelto	= 1
Conc. de KEX	= 4×10^{-4} mol/l
ml de espumante	= 0.0313 ml
Flujo de O ₂	= 1 l/min.
Flujo de N ₂	= 7 l/min.
Tiempo de acond.	= 5 min.
Tiempo de flotación	= 10 min.
% ^w sólidos	= 30.21 %
pH	= 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	30.8	6.1748	5.89	16.68	0.227	36.37	102.9	1.401	61.17	37.16	51.62
COLAS	468	93.825	0.246	1.856	0.014	23.08	174.1	1.313	38.82	62.83	48.37
CAB. CALC.	498.8	100	0.594	2.771	0.027	59.45	277.1	2.715			

-77-

PRUEBA 24.

ppm de O_2 disuelto = 1
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O_2 = 1 l/min.
 Flujo de N_2 = 7 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	41.5	8.324	0.39	2.97	0.219	3.246	24.72	1.823	17.41	20.68	64.38
COLAS	457	91.675	0.168	1.034	0.011	15.40	94.79	1.008	82.59	79.31	35.61
CAB. CALC.	498.5	100	0.186	1.195	0.028	18.64	119.5	2.831			

-78-

PRUEBA 25.

ppm de O₂ disuelto = 0.2
 Conc. de KEX = 9×10^{-4} mol/l
 ml de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O₂ = ----
 Flujo de N₂ = 14 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 %^w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

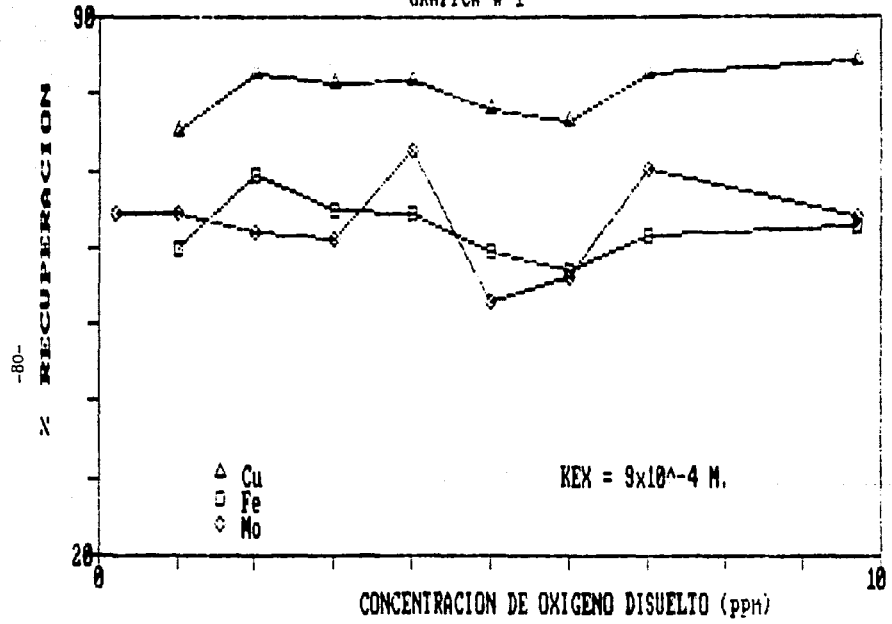
PRODUCTO	GRAMOS	% PESO	% LEY			CONT. MET.			% REC.		
			Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo	Cu	Fe	Mo
CONCENTRADO	40.7	8.159	3.63	15.36	0.224	29.62	125.3	1.827	50.82	56.60	58.70
COLAS	458.7	91.840	0.312	1.072	0.014	28.65	98.45	1.285	49.17	43.99	41.29
CAB. CALC.	498.8	100	0.582	2.238	0.031	58.27	223.7	3.113			

-79-

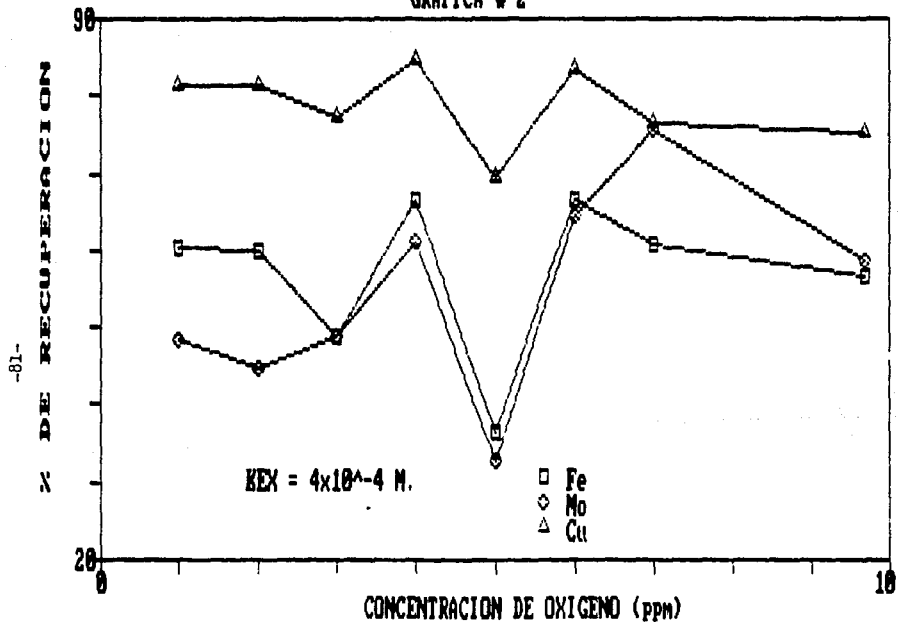
PRUEBA 27.

ppm de O_2 disuelto = 0.2
 Conc. de KEX = 9×10^{-5} mol/l
 ml. de espumante = 0.0313 ml
 Flujo de O_2 = ----
 Flujo de N_2 = 14 l/min.
 Tiempo de acond. = 5 min.
 Tiempo de flotación = 10 min.
 % w sólidos = 30.21 %
 pH = 10

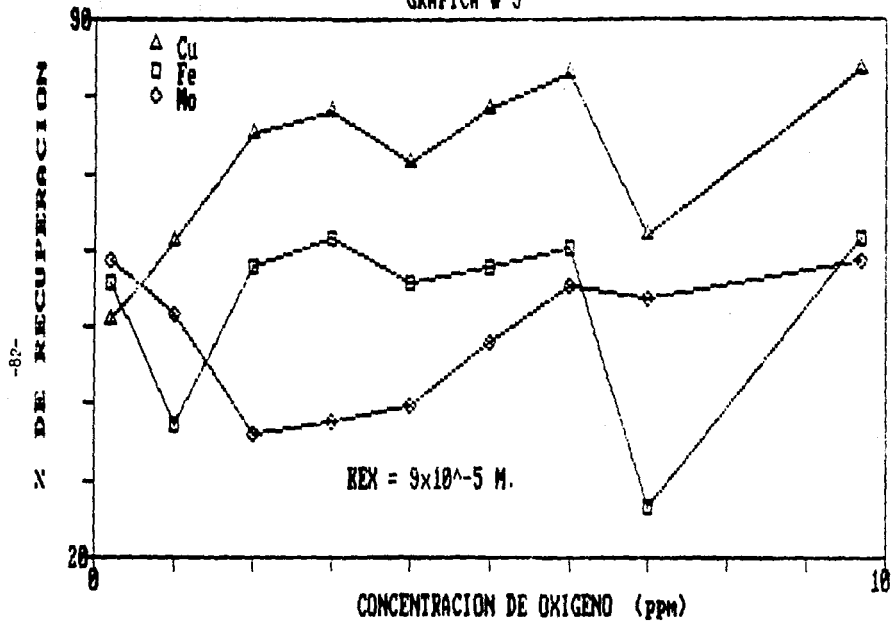
GRAFICA # 1



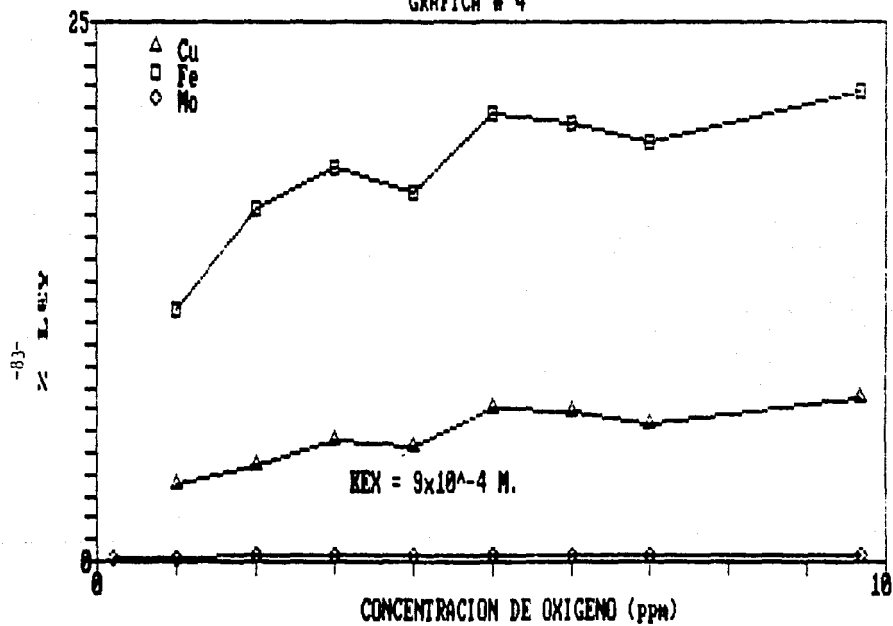
GRAFICA # 2



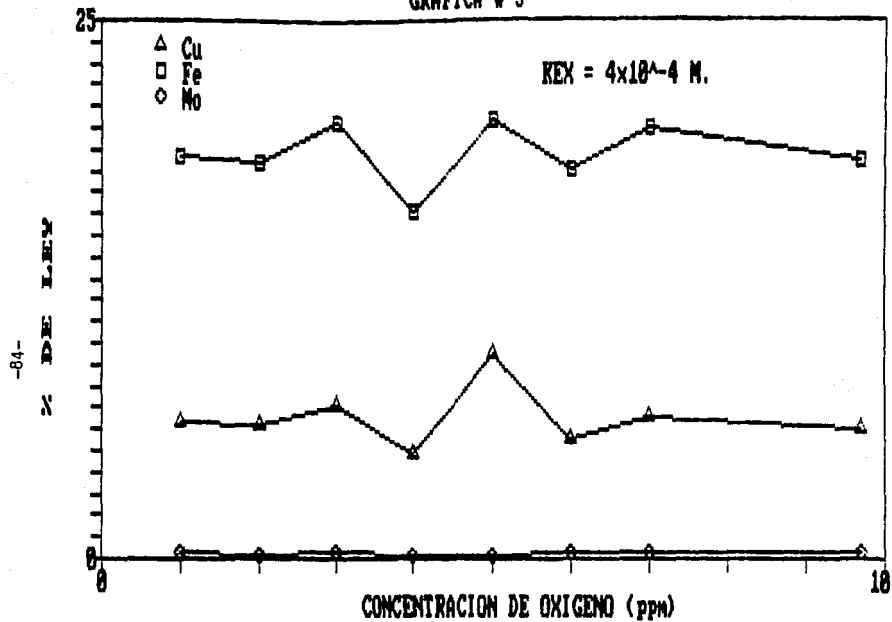
GRAFICA # 3



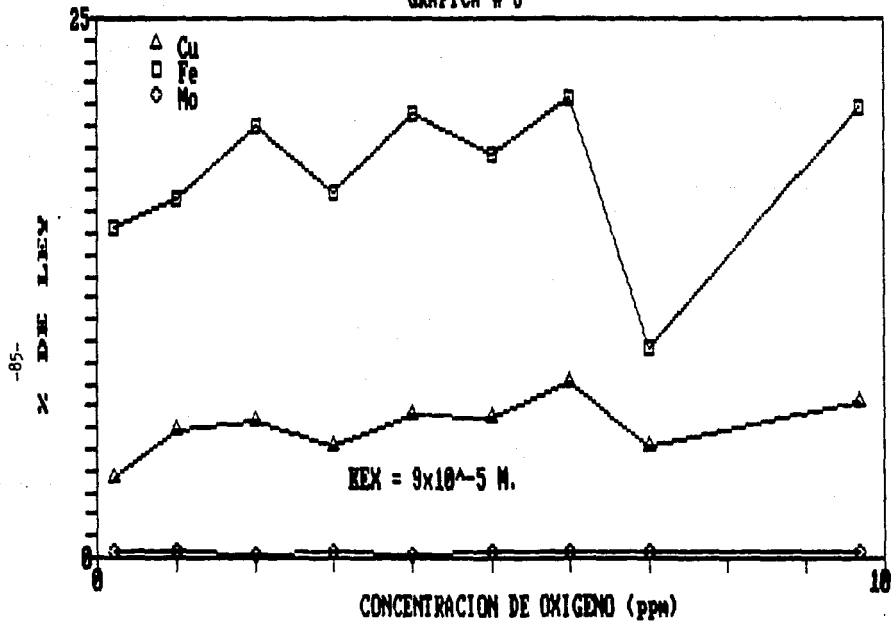
GRAFICA # 4



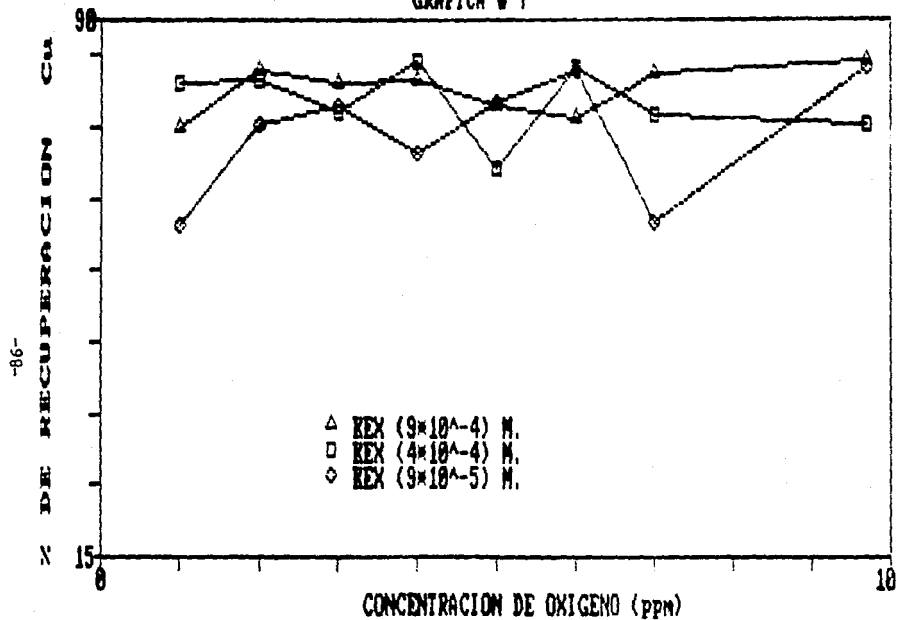
GRAFICA # 5



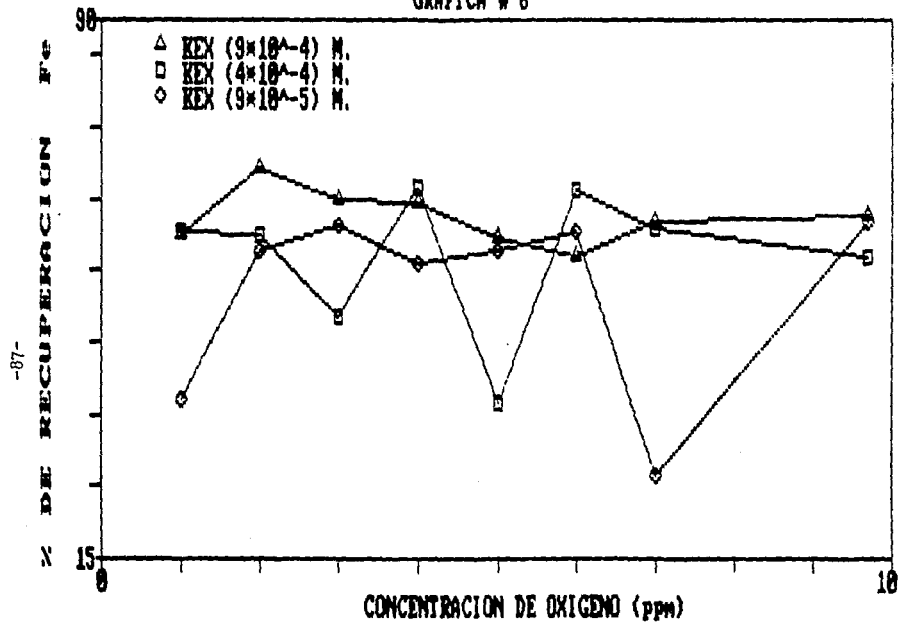
GRAFICA # 6



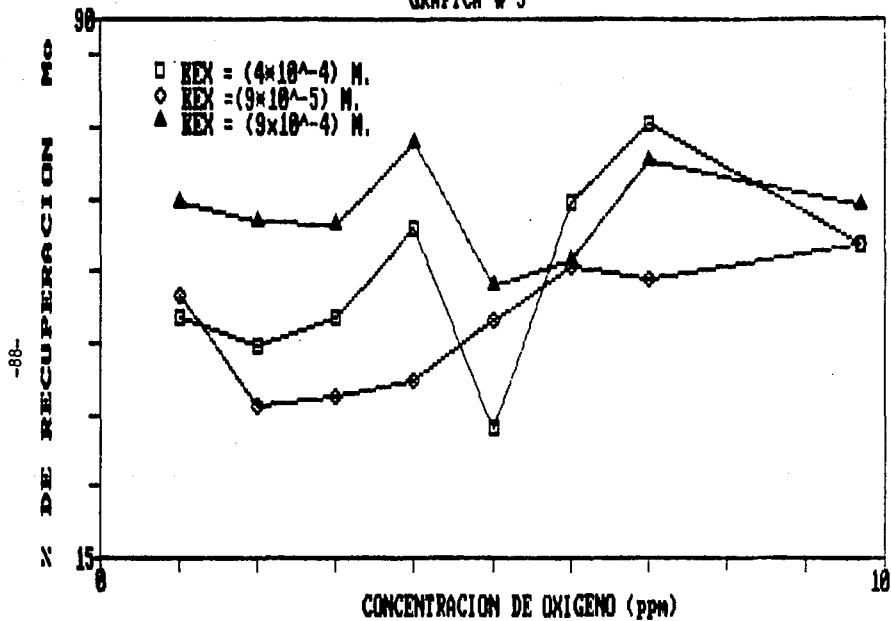
GRAFICA # 7



GRAFICA # 8



GRAFICA # 9



RESULTADOS EXPERIMENTALES

GRAFICA 1

Representa la variación de el porciento de recuperación contra la variación de oxígeno disuelto a una concentración constante de reactivo colector ($KEX = 9 \times 10^{-4} M$), que fue la más elevada que se utilizó.

En esta gráfica se observa que para Cu, Fe, Mo, las recuperaciones son en su mayoría superiores al 50% teniendo variaciones a medida que se aumenta la concentración de oxígeno.

Las mayores recuperaciones se encontraron para Cu, seguidas por las de Fe y finalmente da Mo. Las recuperaciones de Cu y Fe tienen el mismo comportamiento, aumentan a bajas concentraciones, tienen una disminución a 5 - 6 ppm de oxígeno y tienden a aumentar a mayores concentraciones de oxígeno. Las recuperaciones de Mo permanecen constantes, a bajas concentraciones de oxígeno en el intervalo de 5 - 6 ppm de oxígeno, tienen una disminución similar al de las recuperaciones de Cu y Fe y a concentraciones de oxígeno altas la recuperación disminuye.

En general las recuperaciones para Cu y Fe tienden a seguir el mismo comportamiento de aumentar a bajas concentraciones, seguido de una disminución entre 5 - 6 ppm de oxígeno para finalmente aumentar a concentraciones de oxígeno altas. El Mo se comporta de manera contraria al Cu y Fe.

GRAFICA 2

Representa la variación de porciento de recuperación

contra la variación de oxígeno disuelto a una concentración constante de reactivo colector ($KEX = 4 \times 10^{-4}$ M) que corresponde a la concentración intermedia trabajada.

En esta gráfica se observa que las recuperaciones para Cu en su totalidad son superiores a 80 % mientras que para Fe y Mo sus recuperaciones están por debajo del 70 %.

Como se menciona anteriormente las mayores recuperaciones siguen correspondiendo a Cu, seguidos por las de Fe y finalmente Mo. La similitud de el comportamiento de las recuperaciones de Cu y Fe sigue siendo marcadamente paralela; a bajas concentraciones de O_2 permanece constante, teniendo una disminución drástica a 5 ppm de oxígeno, seguida de una estabilidad, tendiendo a disminuir a mayores concentraciones de oxígeno. Para Mo a bajas concentraciones de oxígeno tiende a incrementarse seguido de una disminución drástica a 5 ppm de oxígeno, para proseguir con una tendencia de aumento a mayores concentraciones de oxígeno, para finalmente presentar baja de recuperación al final.

En forma general el Cu y Fe se comportan de manera similar a lo largo de las concentraciones de oxígeno, mientras que para el Mo este comportamiento similar únicamente aparece en el intervalo intermedio.

GRAFICA 3

Representa la variación de el porcentaje de recuperación contra la variación de concentración de oxígeno a una concentración de reactivo colector de $KEX = 9 \times 10^{-5}$ M, que corresponde a la menor concentración utilizada.

En esta gráfica las mayores recuperaciones alcanzadas pertenecieron a Cu, ya que todas se encuentran por arriba

del 50 %, seguidas por las de Fe y finalmente por Mo, cuyas recuperaciones estan por debajo del 60 % y 50 % respectivamente.

Las recuperaciones de Cu y Fe poseen la misma distribución; a bajas concentraciones de oxígeno tiende a aumentar hasta llegar a un máximo para después disminuir ligeramente y volver a aumentar hasta un máximo, seguido de una disminución severa a 7 ppm, para posteriormente tender a aumentar. La curva para Mo, por el contrario, a bajas concentraciones de oxígeno disminuye, permanece constante para luego tender a aumentar.

En forma general el Cu y Fe se comportan en forma similar aunque el Cu con mayor recuperación, mientras que el Mo restringe su zona de igualdad a la zona de altas concentraciones de oxígeno que es donde tiende a aumentar.

GRAFICA 4

Representa la variación de porcentaje de ley contra la variación de concentración de oxígeno a una concentración constante de reactivo colector ($KEX = 9 \times 10^{-4} M$).

En esta gráfica se observa que las mayores leyes obtenidas pertenecen a Fe seguidas de las de Cu y finalmente las de Mo.

Las leyes para Fe se incrementan de forma similar a las de Cu, estas tienden a aumentar a medida que aumenta la concentración de oxígeno disuelto y disminuyen a medida que la concentración de oxígeno disminuye. Las leyes de Mo permanecen casi constantes.

El comportamiento general tiende a aumentar al aumen-

tar el oxígeno disuelto.

GRAFICA 5

Representa la variación de porcentaje de ley contra la variación de la concentración de oxígeno a una concentración constante de reactivo colector ($KEX = 4 \times 10^{-4}$ M).

En esta gráfica se observa que las mayores leyes se obtuvieron para Fe, seguidos por las de Cu y finalmente las de Mo. Las leyes de Fe y Cu siguen un comportamiento paralelo en el que se observa que existen pequeñas variaciones en el intervalo intermedio de 3 - 6 ppm de oxígeno disuelto; sin embargo el comportamiento tiende a mantenerse constante. Las leyes de Mo no varían en particular.

GRAFICA 6

Representa la variación de el porcentaje de ley contra la variación de la concentración de oxígeno a una concentración constante de reactivo colector ($KEX = 9 \times 10^{-5}$ M), que corresponde a la menor concentración de reactivo utilizada.

En esta gráfica se observa que las mayores leyes siguen correspondiendo a Fe seguidas por Cu y finalmente Mo, a esta concentración de reactivo se encuentra que la curva de % de ley de Fe y Cu siguen teniendo un comportamiento similar tendiendo a aumentar a medida que aumenta el contenido de oxígeno teniendo una disminución de ambas leyes a 7 ppm de oxígeno.

De manera general las leyes de Fe y Cu tienden a aumentar a medida que aumenta el contenido de oxígeno y el Mo permanece sin cambios importantes.

Otro punto importante es la separación tan marcada de las curvas.

GRAFICA 7

Representa la variación de por ciento de recuperación para Cu contra la variación de concentración de oxígeno.

En esta gráfica se observa que las mayores recuperaciones de Cu se encuentran con la concentración más alta de reactivo ($KEX = 9 \times 10^{-4} M$) y tiende a aumentar a medida que aumenta la concentración de oxígeno.

Las recuperaciones intermedias encontradas corresponden a la concentración de reactivo intermedio.

Finalmente se encontro que las recuperaciones más bajas se encontrarón con la concentración de reactivo más bajo en donde se observa que estas recuperaciones tienden a aumentar a medida que aumenta el contenido de oxígeno, al igual que la mayor concentración de reactivo y a diferencia de la concentración intermedia de reactivo en donde la influencia del oxígeno no es tan marcada.

De manera general las curvas obtienen recuperaciones a partir de 1 ppm de oxígeno mayores al 50 % para las 3 concentraciones.

GRAFICA 8

Representa la variación de por ciento de recuperación de Fe contra la variación de la concentración de oxígeno.

Las mayores recuperaciones se encontrarón con la concentración de reactivo $KEX = 9 \times 10^{-4} M$, cuya curva a concentraciones de oxígeno pequeñas aumento la recuperación llegando a un máximo en 3 ppm, luego disminuyó hasta encon-

trar una disminución y un mínimo a 6 ppm de oxígeno, luego tiende a aumentar al aumentar el contenido de oxígeno. Las recuperaciones intermedias se encontrarán a una concentración de reactivo intermedio ($KEX = 4 \times 10^{-4} M$) cuyas variaciones no dan información a cerca de la influencia del oxígeno debido a fluctuaciones muy frecuentes, finalmente se encontró que las menores recuperaciones se obtienen a concentraciones menores de reactivo en cuyo caso encontramos que debido a sus fluctuaciones no daban información contundente con respecto a la influencia del oxígeno.

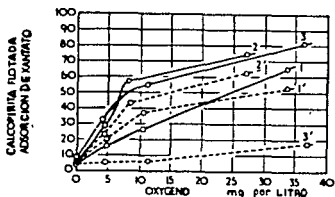
GRAFICA 9

Representa la variación del porcentaje de recuperación de Mo contra la variación de concentración de oxígeno.

Las mayores recuperaciones para Mo se encontrarán con la mayor concentración de reactivo ($KEX = 9 \times 10^{-4} M$), en esta curva en el intervalo de 1 - 3 ppm tiende a disminuir esta recuperación seguida de un aumento y luego disminución en el intervalo de 3 - 6 ppm para finalmente encontrar que a medida que el oxígeno aumenta, la recuperación de Mo disminuye. Las recuperaciones intermedias corresponden a concentraciones de reactivo intermedias ($KEX = 4 \times 10^{-4} M$) que siguen el mismo comportamiento de la curva anterior. Finalmente se encontró que las recuperaciones para el Mo menores corresponden a concentraciones de reactivo menores ($KEX = 9 \times 10^{-5} M$) que en su curva a bajas concentraciones de oxígeno disminuye la recuperación, seguida de un aumento progresivo a medida que aumenta el contenido de oxígeno.

DISCUSION DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos se observó que las recuperaciones de Cu y Fe tienden a aumentar a medida que aumenta la concentración de oxígeno; estos resultados concuerdan con lo establecido en la gráfica (E) (9), en donde, para una flotación de calcopirita en presencia de diferentes concentraciones de oxígeno en ppm.



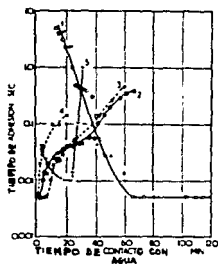
Gráfica (E). Influencia del oxígeno en flotación de calcopirita. Líneas sólidas (recuperación), líneas punteadas adsorción de xantato, conc. 1<2<3 (9)

Se tienen los siguientes resultados:

Utilizando xantato etílico de potasio a 3 diferentes concentraciones las recuperaciones para calcopirita aumentan conforme aumenta el contenido de oxígeno disuelto en pulpa, esto puede deberse a que la adsorción de xantato también aumenta conforme aumenta la cantidad de oxígeno, y debido a que el xantato es fijado después de que el oxígeno reaccionó sobre la superficie del mineral, a mayor cantidad de xantato adsorbido mayor cantidad de partículas adquieren hidrofobicidad, y por lo tanto, la recuperación

para Cu aumentará.

La afirmación anterior también se demuestra en la siguiente gráfica (F).



Gráfica (F) tiempo de adhesión de burbuja como una función de la duración del contacto mineral-agua (9).

1. calcopirita, 2. galena en agua
3. galena en aire 4. galena sulfidizada, 5. pirita.

En donde se observa que a tiempos muy largos de contacto del mineral con agua el tiempo de adhesión es muy bajo y a tiempos cortos de contacto con agua el tiempo de adhesión es muy alto para calcopirita; dado que el tiempo de adhesión es una medida de la humectabilidad de una superficie significa que la calcopirita es la especie que entra primero en contacto con el oxígeno disuelto en el agua lo que da como resultado que adsorba mayor cantidad de oxígeno que el fierro (pirita) y, por lo tanto, el entrar en contacto con el colector, fije más de este aumentando con ello la recuperación.

Estos resultados en apariencia son opuestos con los resultados obtenidos para recuperación de Cu y Fe a partir de una mena de galena (17), ya que en este trabajo se obtuvo que el porcentaje de recuperación para Cu y Fe disminuye a medida que aumenta la cantidad de oxígeno (ppm)

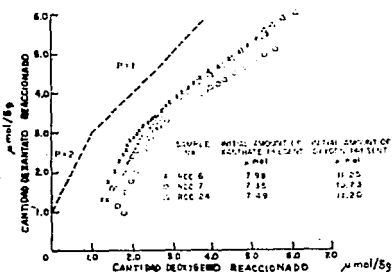
disuelto; esto sin embargo, se explica de la siguiente manera:

Debido a que una mena de galena requiere menor cantidad de oxígeno para completar su flotación con xantato esto da como resultado que a concentraciones de Oxígeno pequeñas las recuperaciones sean altas.

Por lo anterior los resultados son los correctos y diferentes para ambas menas debido a que siguen los principios de afinidad por el oxígeno que se menciona (2) galena, pirita, esfalerita, calcopirita, pirrotita, arsenopirita.

Se encontró que las mayores recuperaciones tanto para Cu como para Fe y Mo se obtienen a concentraciones de reactivo colector, xantato etílico de potasio, altas 9×10^{-4} molar; las recuperaciones intermedias se obtuvieron a concentraciones intermedias de reactivo colector, 4×10^{-4} molar y finalmente las concentraciones de reactivo menor 9×10^{-5} molar, dieron como resultado las menores recuperaciones.

Esto concuerda con los resultados obtenidos por Finkelstein (1) en la siguiente gráfica (G).



Gráfica (G). Reproducibilidad de la estequiometría de xantato 1/n oxígeno. (1)

En la cual a mayores cantidades de oxígeno que reacciona con la superficie se tienen mayores cantidades de xantato que es adsorbido en la superficie del mineral dando como consecuencia mayores recuperaciones, también se aprecia que a mayor cantidad de oxígeno que ha reaccionado, es mayor la cantidad de xantato que reacciona, por ello las concentraciones altas de xantato reaccionan casi en su totalidad sobre el mineral; concentraciones medianas reaccionan también casi en su totalidad, de igual manera para concentraciones bajas de xantato. Lo anterior da como resultado que aumenten las recuperaciones conforme aumenten las cantidades de reactivo colector xantato; ya que Finkelstein encontro que a medida que aumenta el oxígeno que reacciona con el mineral existe una relación lineal de uno con el xantato adsorbido. (1).

De igual manera esta tendencia se observa en la gráfica (E). En donde para calcopirita las recuperaciones aumentarán con la influencia de las cantidades de xantato de la siguiente manera:

Concentraciones elevadas de xantato ----- recuperaciones altas en el intervalo trabajado en este experimento 0 - 10 ppm O₂

línea 3

Concentraciones medias de xantato ----- recuperaciones intermedias de Cu
línea 2

Concentraciones bajas de xantato ----- recuperaciones bajas de Cu
Línea 1

De los resultados obtenidos observamos que las leyes para Cu y Fe tienden a aumentar a medida que aumenta el contenido de oxígeno.

Esto se debe a que como ya se discutió en los puntos anteriores, las recuperaciones de calcopirita aumentan a medida que aumenta la concentración de oxígeno (por lo anteriormente expuesto) por ello la ley aumenta debido a que se tiene mayor concentración de Cu recuperado, la ley de Fe aumenta, ya que la calcopirita es un sulfuro de Cu y Fe y al tener mayor concentración de calcopirita, por ende se tiene un aumento primeramente y en mayor cantidad de la ley de Cu ya que la calcopirita, por ser un sulfuro usado como mena para concentración de Cu contiene : 34.5 % de Cu mientras que de Fe contiene 30.5 %.

Sin embargo se encontró que las leyes de Fe en todos los experimentos fué mayor, y esto se debe a que el Fe además de proceder de la pirita (FeS_2 con 46.4 % de Fe), también procede de la calcopirita aumentando con ello su ley por arriba de la del Cu, que es la especie principal.

Por lo anterior se deduce que el Cu y el Fe siguen un comportamiento similar en los experimentos, punto que se ratificó en este trabajo y se encontró que el molibdeno se comporta de manera particular dado que no posee ningún elemento en común con las otras especies minerales de la mena (ver resultados mineragráficos).

Se encontró también que a concentraciones bajas de reactivo colector xantato etílico de potasio (9×10^{-5} M), el comportamiento de Cu, Fe y Mo se diferencia con mayor exactitud. Esto puede deberse a que existe una afinidad de las especies por el oxígeno antes mencionado, lo que lleva a pensar que las especies reaccionan con el oxígeno con diferente velocidad y debido a que la concentración de reac

tivo es baja, la especie que reacciona primero, con el oxigeno reaccionará primeramente con el xantato, dejando poca cantidad de reactivo (xantato) para reaccionar con las demás especies, debido a esto se encontró esa marcada separación en el comportamiento de las especies.

Por último se observó que existe un intervalo de concentración de oxígeno en el cual para la mayoría de los experimentos resultó que su comportamiento coincidía en un decaimiento de las propiedades estudiadas, para las tres especies Cu, Fe, Mo ;este intervalo se encuentra entre 4 y 7 p.p.m. de oxígeno.

Dicha deflexión o decaimiento varía con la concentración de xantato, encontrándose que a concentraciones elevadas de xantato (9×10^{-4} M.) la deflexión ocurría a concentraciones de oxígeno bajas (4 p.p.m.) y a medida que disminuía la concentración de xantato (9×10^{-5} M.) la deflexión ocurría a concentraciones de oxígeno mayores (7 p.p.m.). Este corrimiento de la deflexión de las curvas hacia concentraciones de oxígeno altas a medida que disminuía la concentración de xantato, da como resultado que el intervalo en que las curvas tienen un comportamiento similar se amplió.

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
APENDICES
GLOSARIO

CONCLUSIONES

Al término de este trabajo y después de analizar los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones :

- 1.- Existe una influencia del oxígeno sobre el proceso de flotación, ésta influencia resultó ser positiva (aumento de % de recuperación y % de ley a medida que aumenta la cantidad de oxígeno) e independiente de la naturaleza del mineral, es decir que ésta influencia es función de la afinidad de las especies minerales por el oxígeno y no depende de, si la mena es pura (únicamente calcopirita) o si ésta mena es del tipo industrial (calcopirita, pirita, covelita).
- 2.- Las concentraciones de reactivo colector xantato etílico de potasio tienen una influencia en la flotación cuando se trabajan conjuntamente con oxígeno, dicha influencia es función de la afinidad del mineral por el oxígeno y de la velocidad de ésta reacción, dando como resultado que a mayores concentraciones de xantato etílico de potasio las recuperaciones y las leyes aumentan.
- 3.- Cuando dos especies como calcopirita y pirita, tienen un elemento en común (Fe), el comportamiento de ambas especies bajo la influencia del oxígeno será similar, mientras que el comportamiento de una tercera especie que no posee un elemento en común diferirá en gran medida.

4.- Se ve la necesidad de trabajar concentraciones de oxígeno ya sea menores a 4 p.p.m. o mayores a 7 p.p.m., debido a que en el intervalo de 4-7 p.p.m. de oxígeno las especies minerales se comportan de manera similar, y por ello no es apreciable un efecto significativo de las concentraciones de reactivo colector ni de las concentraciones de oxígeno.

Recomendaciones para trabajos posteriores:

Investigar el mecanismo de reacción entre el oxígeno y el mineral y entre el oxígeno y el xantato etílico de potasio a concentraciones específicas de oxígeno de 4-7 p.p.m. detectando los productos de reacción, por alguna técnica de análisis.

A P E N D I C E

La muestra mineral con la que se trabajó posee las siguientes características:

Procedencia: Unidad Minera "La Caridad"

Localización: La Unidad Minera la Caridad se localiza a 15 km en línea recta a 560° E del poblado de Nacozari y 195 km al Noroeste de Hermosillo Sonora.

Perteneciente a: Compañía "Mexicana de Cobre, S.A."

Antecedentes del depósito:

El poblado de Nacozari, al cual pertenece la unidad de la Caridad, se ha distinguido desde antes de la llegada de los Españoles como una zona altamente minera, según documentos que datan de 1679, lo que hace de este distrito uno de los más distinguidos, debido a su tradición minera y a sus minas que recientemente se han descubierto y explotado; tal es el caso de la unidad "LA CARIDAD", sin embargo, Nacozari es una zona donde se han encontrado minas de oro, plata y cobre entre otras.

El descubrimiento más reciente en la zona de Nacozari es la mina de cobre la Caridad, que se remonta al año 1967. Este depósito de cobre catalogado como porfirítico, fué encontrado debido al esfuerzo conjunto de el entonces Consejo de Recursos Naturales No Renovables y el Fondo de Naciones Unidas, cuyos trabajos se centraron en una zona localizada a 14 Km. en línea recta al sur de Nacozari.

Para conocer la morfología del depósito encontrado se diseñó un programa de exploración a diamante, geologías

de detalle, obras subterráneas y pruebas metalúrgicas con el fin de cuantificar reservas y preveer problemas en la futura planta de beneficio. Como consecuencia de este programa de exploración, se encontró que la geología del noroeste de Sonora era en esencia una extensión de la geología del sur de Arizona. Los tipos de roca que bordean el depósito de La Caridad son predominantemente rocas volcánicas y consistentes en una gruesa secuencia de flujos de latita y andesita de probable edad cretácica, cubiertas por tobas y flujos de riolita más jóvenes, que probablemente son del terciario medio. Las rocas volcánicas más antiguas en el distrito son intrusionadas por plutones graníticos de probable edad laramídica. La estructura regional dentro del distrito no ha sido bien definida; sin embargo, la sierra Juriruiipa probablemente presenta un bloque levantado en la extensión sur de la provincia "Basin and Range". El depósito se encuentra afectado por un intrusivo cuarzomonzonítico expuesto en un área aproximada de 40 Km² y su forma es elongada en dirección NO - SE, y se localiza al sur del cinturón de depósitos de pórfidos cupríferos que se extienden desde el depósito de "Lakes more" en el sur de Arizona, hasta los distritos de Cananea y Macozari en México.

El mapeo detallado dentro del tajo ha hecho posible definir las siguientes unidades preliminares de rocas ígneas dentro de las cuales se incluyen las estructuras brechadas, diorita, andesita, brechadiorita, andesita, brecha tardía, pórfido temprano, pórfido textura gruesa, pórfido crema y pegmatita. Esta clasificación indica un evento de intrusión múltiple, que es un rasgo muy común en los depósitos

de pórfidos cúpriferos.

Este yacimiento adquiere mayor carácter económico al producir sulfuros secundarios, principalmente calcocita, la depositación de los sulfuros debió haber encontrado un lugar apropiado para su formación, siendo este principalmente las estructuras brechadas y en menor proporción las alteraciones permeables, rocas encajonantes.

La alteración ampliamente relacionada con el evento de mineralización concuerda en forma general con el modelo propuesto para los depósitos de pórfidos cúpriferos, tomando en cuenta que el depósito ha sido cortado por la falla La Caridad en su porción noroeste, observandose por lo tanto, en una sección E-O desde la periferia al posible centro del modelo con los siguientes tipos de alteración potásica, alteración filítica, alteración argilitica y alteración propiolítica; la alteración filítica concuerda con las estructuras brechadas y, por lo tanto, con las altas leyes de cobre, mientras que en la alteración potásica los valores de molibdeno son más notables.

RESERVAS :

De acuerdo con el programa de barrenación antes citado se procedió a la interpolación de leyes de cálculo de reservas utilizando los métodos de polígonos geoestadísticos y el inverso de la distancia al cuadrado por procedimientos computarizados; esto permitió analizar el alcance y limitaciones de cada método de interpolación, decidiendo usar $1/D^2$ como base para el cuadrado de reservas de acuerdo con las experiencias conocidas, y con las propias encontradas en el depósito La Caridad. (16)

G L O S A R I O

ALTERACIONES.- Cuando un magma de roca ígnea se encaja en la corteza terrestre, causa por el calor y la presión que lo acompañan, una alteración mayor o menor de la roca circunvecina. Esta alteración de la roca en general consiste, en el desarrollo parcial o enriquecimiento de nuevas especies minerales características. Estas variaciones o alteraciones son atribuibles, a la profundidad de exposición de una serie de zonamientos verticales, a la composición química de las paredes de roca encajonante; ésta composición química determina la denominación de la alteración (Potásica, argílitica, filítica, propilítica).

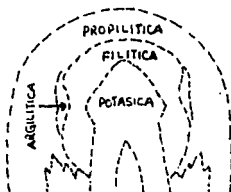


Fig. Alteración zoneada, siendo potásica en el centro (más antigua) y graduando hacia el exterior filítica (cuarzo-sericita-pirita), argílitica (cuarzo-caolín-montmorillonita) y propilítica (epidota calcita-clorita).

CALCOPIRITA.- Sulfuro de Cobre y Hierro $CuFeS_2$ = Azufre 35 %

Cobre 34.5 % y Hierro 30.5 %

Dureza: 3.5-4 Gravedad E.: 4.1-4.3

Lustre: Metálico Color: Amarillo Latón (intenso)

Origen primario de él, por alteración se derivan otros minerales de cobre. Constituyente original de rocas ígneas. Estructura C.: Tetragonal, esfenoidal.

CALCOCITA.- Sulfuro Cuproso, Cu_2S = Azufre 20.2, Cobre 79.8

Dureza: 2.5-3 Gravedad E.: 5.5-5.8

Lustre: Metálico Color: Gris plomo

La calcocita es una mena muy valiosa de cobre. Se encuentra en zonas de enriquecimiento de sulfuros de las vetas de cobre y es claramente de origen secundario.

Estructura Cristalina: Ortorrómica.

COVELITA.- Sulfuro Cúprico, CuS = Azufre 33.6, Cobre 66.4

Dureza: 1.5-2 Gravedad E.: 4-6

Lustre: Submetálico a resinoso

Color: Azul indigo (opaco).

Origen secundario, formada durante la alteración y enriquecimiento de los minerales de cobre por acción de las soluciones ascendentes.

Estructura Cristalina: Placas hexagonales delgadas.

CUARZOS MONZONITICOS.- Los granitos en que la plagioclasa es abundante se denominan cuarzos monzóniticos.

DEPOSITO PORFIRITICO.- Zona de acumulación de rocas con textura propia de rocas porfiríticas que poseen algunos de sus componentes cristalizados (cristales bien desarrollados) y otros que forman microcristales.

ESTRUCTURA EUCEDRAL.- Estructura cuya forma externa está completa.

ESTRUCTURA SUBEUCEDRAL.- Contiene la mitad o más de las caras de un cristal formadas.

ESTRUCTURA ANEDRAL.- No presenta caras.

ESTRUCTURA SUBANEDRAL.- Contiene menos de la mitad de las caras formadas de un cristal.

ESTRUCTURA.- Se dice de un cuerpo mineralizado, es la que define las relaciones especiales de los agregados minerales.

ESTRUCTURA BRECHADA.- En éste caso las zonas mineralizadas encierran fragmentos de las rocas de los respaldos, generalmente los fragmentos son angulosos.

ESTRUCTURA DIORITA.- Rocas magmáticas intrusivas de composición intermedia entre los granitos y los gabros . Constan de plagioclasas calcicosódica (oligoclasa o andesina), como anfíboles tiene hornablenda, además de mica y biotita, finalmente puede contener pequeñas cantidades de cuarzo.

ESTRUCTURA BRECHADIORITICA.- Estructura mixta que comprende las características de las estructuras brechadas y dioríticas.

EDAD LARAMIDICA.- Edad o fase de la orogenia alpina que se produjo en el Paleoceno (con edad alrededor de 65 millones de años).

EDAD CRETACICA.- m. Período superior de la era mesozoica que transcurrió a lo largo de 76 millones de años. Su nombre proviene de una roca abundante en este período: la creta (caliza blanca y pulverulenta).

FELSITA.- Roca volcánica, ígnea de grano fino. Es un tipo de roca de grano fino, con estructura pétrea e incluye todos los colores excepto el gris oscuro, verde oscuro o negro. Estas rocas pueden con la ayuda de un lente, todavía mostrar una estructura de grano más fino o sus constituyentes minerales pueden ocurrir en partículas tan pequeñas como para darles una apariencia homogénea, con frecuencia pedernalinas. Por estudio microscópico las felsitas se han dividido en los siguientes grupos:

Riolita.- Consistente principalmente en feldespatos alcalinos y cuarzo.

Andesita.- Feldespatos de cal con poco o sin nada de cuarzo.

GRANITO.- Roca de grano mediano a grueso, de color claro que tiene una textura uniforme y que consiste principalmente de cuarzo y feldespato.

INTRUSIONES.- Rocas magmáticas que solidifican en el interior de la corteza terrestre tras un enfriamiento lento que origina una textura holocristalina.

LATITA.- f. pl.V. trancuandesitas, rocas magmáticas efusivas compuestas por feldespato potásico y andesina, que forman fenocristales; en la roca madre hay sani-

dina. Son el correspondiente efusivo de las monzonitas.

MENA.- f. Parte mineral aprovechable de una explotación mi
nera. Mineral tal como se extrae de la mina sin bene
ficiar.

MINERAL.- m. Sustancias sólidas inorgánicas, de origen na-
tural que tiene una composición química determinada
o que varía entre márgenes estrechos. Los minerales
son a simismo sustancias homogéneas, formados por
partículas que se disponen en el espacio de forma or
denada (estructura cristalina).

MINERALES SUPERGENICOS.- Minerales formados apartir de una
lixiviación, o intemperismo.

MINERALES HIPOGENICOS.- Minerales que provienen del inte-
rior de la corteza terrestre, tienden a salir y al
ascender solidifican.

MOLIBDENITA.- Bisulfuro de Molibdeno MoS_2 = Azufre 40
Molibdeno 60

Dureza: 1-1.5 Gravedad E.: 4.7-4.8

Lustre: Metálico Color: Gris plomo (opaco)

Ocurre ampliamente pero en cantidades pequeñas y por
lo general como mineral accesorio.

Estructura Cristalina: Hexagonal, cristales tabulares
o prismas laminas.

PARAGENESIS.- Término creado en 1849, por Breithuapt para
definir la asociación de minerales resultantes de
un proceso geológico determinado. Por tanto un depó-

sito puede compartir varias paragénesis.

PORFIDOS CUPRIFEROS.- Variedad de un depósito porfirítico que contiene además de zonas de alteración, zonamientos metálicos y mineralógicos (Mo, Cu, Zn, Pb, Ag, Au) con las características texturales de un pórfido; sin embargo existen cambios en la distribución de los sulfuros, que van desde la disseminación en un núcleo de baja ley, en vetas microscópicas, hasta estructuras de relativa alta ley cerca de la zona marginal.

PORFIDO TEMPRANO.- También conocido como pórfido cuarcífero roca efusiva ácida producida por enfriamiento brusco de un magma tipo granítico que ha alcanzado la superficie terrestre.

PORFIDO TEXTURA GRUESA.- Rocas conocidas como filoniana con textura porfírida y composición mineralógica y morfológica similar al granito con cristales grandes (fenocristales) de feldespatos alcalinos.

PORFIDO PEGMATÍTICO .- Roca filoniana con textura porfírida y composición similar a la pegmatita con desarrollo de cristales que la conforman (cuarzo y ortosa)

PIRITA.- Disulfuro de Hierro FeS_2 = Azufre 53.4, Hierro 46
Dureza: 6-6.5 Gravedad E.: 4.95-5.10
Lustre: Metálico Color: Amarillo latón (pálido)
Formada a elevadas temperaturas, ocurre en rocas de todas las edades y tipos, común en rocas sedimentarias y metamórficas.
Estructura Cristalina: Isométrico, cúbico y piritoedro

PLUTONES GRANITICOS.- A la roca que ha sido formada de un magma enterrado a gran profundidad en la corteza terrestre, se tiene que haber enfriado muy lentamente y durante un período de tiempo muy largo para su cristalización y solidificación. Bajo estas condiciones, las partículas minerales tienen la oportunidad, debido a la lentitud de cristalización, de crecer a un tamaño considerable. Una roca que tiene un origen tan profundo, tiene por lo tanto una estructura de grano grueso y los diversos minerales que van a formar la roca, pueden en general distinguirse y reconocerse a simple vista. Estas rocas se designan como plutónicas, cuando el granito tiene el origen anterior se denomina plutones graníticos.

ROCA ENCAJONANTE.- Se denomina roca encajonante a una masa mineralizada que rara vez posee una composición homogénea y que presenta contacto claro y definido con una especie mineral de composición bien definida; esta forma de contacto puede ser :Capas, cuerpos estratiformes, mantos, lentes(cuerpos lenticulares) y cuerpos irregulares.

SULFUROS SECUNDARIOS.- Clase 2 de la clasificación de los minerales, incluye a los que presentan al azufre en estados de oxidación dos y a otros compuestos afines: arseniuros, antimoniuros, bismuturos, etc. y se encuentran como minerales hipogénicos.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- 1.- GAUDIN, A.M.: "THE ROLO OF OXYGEN IN FLOTATION". JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE, VOL.47, (2), Pá.g.309-314, MAYO (1974).
- 2.- PLAKSIN, IGOR.: "INTERACTION OF MINERALS WITH GASES AND REAGENTS IN FLOTATION", MINING ENGINEERING, Pá.g.319-24, MARZO (1959).
- 3.- ALISON, S.A., GOLD, L.A., et all.: "A DETERMINATION OF THE PRODUCTS OF REACTION BETWEEN VARIOUS SULPHIDE MINERALS AND AQUEOUS XANTHATE SOLUTION, AND A CORRELATION OF THE PRODUCTS WITH ELECTRODE REST POTENTIALS", METALLURGICAL TRANSACTIONS, VOL. 3, Pá.g. 2613-2618, OCTUBRE (1972).
- 4.- SHIGERU MUKAI, TAKAHIDE WAKAMATSU.: "CONSIDERATIONS ON THE MECHANISM OF REACTION BETWEEN XANTHATE AND SULPHIDE MINERALS, DEPARTAMENT OF MINERAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, Pá.g. 195-207, MARZO (1964).
- 5.- FINKELSTEIN, N.P.: "KINETIC AND THERMODYNAMIC ASPECTS OF THE INTERACTION BETWEEN POTASSIUM ETHYL XANTHATE AND OXYGEN IN AQUEOUS SOLUTION", NATIONAL INSTITUTE FOR METALLURGY, JOHANNESBURG, SUD AFRICA, Pá.g. 51-59, ENERO (1967).

- 6.- MARKWELL, A.J., AND PRATT, J.M.: "STUDIES ON THE FLOTATION OF SULPHIDES. III. A MANOMETRIC STUDY OF THE UPTAKE OF O₂ BY AQUEOUS SUSPENSIONS OF SULPHIDE PARTICLES AND ZINC", INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING JOHANNESBURG, SUD AFRICA, Pág. 43-53, JUNIO (1984).

- 7.- MAILLOT, M., et all.: "STABILITY OF ETHYLXANTHATE ION IN NEUTRAL AND WEAKLY ACIDIC MEDIA", INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING, JOHANNESBURG, SUD AFRICA, Pág. 193 - 210, OCTUBRE (1984).

- 8.- GLEMBOTSKII, V.A., et all.
FLOTATION
Pág. 48 - 50
Ed. PRIMARY SOURCES.
N.Y. (1972).

- 9.- PUERSTENAU, D.W.
PROTH FLOTATION
Pág. 5 - 139
Ed. A.I.M.E.
N.Y. (1962).

- 10.- GAUDIN, A.M.
PRINCIPLES OF MINERAL DRESSING
Pág. 402 - 21
Ed. Mc GRAW HILL
N.Y. (1967).

- 11.- LEJA, J.
SURFACE CHEMISTRY OF FROTH FLOTATION
Pág. 261-547
2^a ed.
Ed. PLENUM PRESS
N.Y. (1970).
- 12.- FUERSTENAU AND GAUDIN.
MEMORIAL FLOTATION
VOL. I
Pág. 298-327
Ed. A.I.M.E.
N.Y. (1976).
- 13.- RABONE, P.
CONCENTRACION DE MINERALES POR FLOTACION
Pág. 95-151
S/Ed
LONDRES (1975).
- 14.- DUDENHOV, S.V., et all.
FUNDAMENTOS DE LA TEORIA Y LA PRACTICA DEL EMPLEO DE
REACTIVOS DE FLOTACION.
Pág. 13-254
Ed. MIR
MOSCOU (1980).

15.- DANA, E.S., WILLIAM, E.P.

TRATADO DE MINERALOGIA

Pág. 451-479

11^a edición

Ed. C.E.C.S.A.

MEXICO (1984)

16.- ORDOÑEZ, C.J.

MINAS MEXICANAS

TOMO I

Pág. 59-72

Ed. A.I.M.B.

MEXICO (1986).

17.- GARCIA, S.F.

INFLUENCIA DE ATMOSFERAS DE OXIGENO Y NITROGENO EN

EL PROCESO DE FLOTACION DE UNA MENA DE GALENA

UNAM. FAC. QUIMICA.

MEXICO (1990).