

**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**Escuela de Ciencias Químicas**

**ESTUDIO A ESCALA LABORATORIO DE LA FLOTACION DE UN MINERAL  
MOLIBDENO-CUPRIFERO DEL MUNICIPIO DE YECORA, SONORA**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de**

**QUIMICO INDUSTRIAL**

**Presenta**

**Alvaro Gilberto Vidal López**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# C O N T E N I D O

I	INTRODUCCION	Pag. 1
II	GENERALIDADES SOBRE FLOTACION	2
	A.- Separación de Sólidos por flotación	
	B.- Principios Físico-Químicos en el proceso de Flotación.	
	C.- Reactivos de Flotación.	
III	TRABAJO EXPERIMENTAL	22
	A.- Descripción de la Máquina de Flotación Denver Sub-A de Laboratorio	
	B.- Aereación de la Pulpa	
	C.- Pruebas según diseño de experimento	
IV	RESULTADOS OBTENIDOS	36
	A.- Pruebas preliminares	
	B.- Pruebas según diseño de experimento	
V	DISCUSION DE RESULTADOS	47
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
	APENDICE	53
	BIBLIOGRAFIA	61

## I.- Introducción.

Los grandes recursos mineros con que cuenta el Estado de Sonora, con objeto de intensos estudios por parte de ciertas Compañías interesadas en ello, con ayuda de la Comisión de Fomento Minero. De dichos estudios algunos son satisfactorios y otros no, pero son mas los halagadores, previéndose un porvenir bastante rico en dicha zona.

Con base en este futuro se hicieron una serie de pruebas basadas al mineral molibdeno cuprifero de la región del Municipio de Guaymas que detallaremos su desarrollo, el objeto es llegar a conocer su contenido.

Una de las causas por el cual no se obtiene un resultado satisfactorio en cuestión de los valores mineros es la falta de solución a los diferentes problemas que se presentan en la Industria Minero-Metalúrgica que en ocasiones representan pérdidas parciales y en otros hasta totales de las inversiones.

Según las características del mineral tratado se siguió un plan en la experimentación metalúrgica, tomando la política más apropiada ésta es en pruebas preliminares, para así proceder con la flotación propiamente dicha con sus diferentes variaciones.

Las pruebas de flotación se llevaron a cabo en la Comisión de Fomento Minero y los análisis metalúrgicos en la Fábrica de



## Ciencias Químicas.

### II.- Generalidades sobre Flotación.

#### A.- Separación de Sólidos por Flotación.

Flotación es una de las operaciones utilizadas en la industria para separar uno o más componentes de una mezcla de sólidos. El proceso puede definirse como la separación mecánica de las partículas sólidas de otros componentes, en medio generalmente acuoso, basada en su habilidad para concentrarse en una interfase líquido-gas en virtud de sus propiedades superficiales, diferentes de las del resto de los componentes de la mezcla.

El término flotación se ha generalizado actualmente para designar a la operación de flotación con espuma, pero en sus primeras aplicaciones, la separación de sólidos para adherirse selectivamente al aceite disperso en agua en lo que se llamó "flotación en aceite" y en la cual no se forma ninguna espuma. En el presente estudio se utilizará la palabra flotación para referirse a la operación de flotación con espuma.

No obstante que el objeto final de la flotación es lograr una separación sólido-sólido, es necesario que intervenga en el proceso tres fases: una sólida dispersa formada por la mezcla de componentes por separar; otra líquida o fase dispersante y otra gaseosa, generalmente aire, que actúa como el medio que transporta las partículas en suspensión hacia la superficie superior del siste

-112.

La operación de un proceso de separación por flotación comprende los siguientes pasos:

- a).- Reducción de tamaño (quebrado y molienda)
- b).- Dilución de los sólidos (formación de una pulpa con lodo.
- c).- Acondicionamiento.
- d).- Flotación.
- e).- Colección de concentrados.
- a).- Reducción de tamaño.

La mezcla sólida debe estar formada por partículas lo suficientemente pequeñas como para que los componentes por separar estén completamente liberados del resto de los sólidos, cuando menos, que sea mínima su asociación con ellos. El tamaño de las partículas debe además ser tal, que el gas usado como medio de transporte pueda sostener el peso de las partículas volantes y llevarlas hasta donde puedan ser separadas. Estos requerimientos de las partículas en el proceso de flotación deben de cumplir además, con las condiciones óptimas del circuito de molienda necesario para dividirlas hasta el grado de finura y que sea costoso su liberación.

La industria minera, en la concentración de minerales metálicos (que es el campo donde se ha aplicado y desarrollado más el

proceso de filtración), ha encontrado (4.14) que para la mayoría de los casos por este método de gran parte de los minerales más finos (An, Ca, Pb, etc.) la mollicia más adecuada es forma en un circuito húmedo de mollicia que produzca tamaños de partículas de 48 mallas por pulgada a 200 mallas por pulgada (0.295 mm. a 0.075 mm.). Por lo tanto el primer paso en el proceso de filtración es administrar la mollicia sólida lo más finamente dividida de manera que sus partículas cumplan con todos los requerimientos ya anotados.

b).- Dilución de los Sólidos.

Los sólidos deben estar suspendidos en una fase líquida con el objeto de proporcionar a las partículas que se desean separar el medio adecuado que permita el tratamiento de sus superficies con reactivos químicos para accentuar la diferencia en sus propiedades físicas que hagan posible su separación del resto de las partículas o ganga.

Esta dilución de los sólidos hace posible separar a las partículas unas de otras, lo cual facilitará la filtración cuando sean capturadas por la fase gaseosa. La relación líquido-sólido en el sistema deberá de satisfacer además las condiciones económicas de la operación del proceso, ya que ésta determinará el volumen del sistema y del equipo necesario. Una relación recomendada es

--la literatura (4) para la concentración de minerales metálicos es de 3 a 1 tomando como unidad el contenido de sólidos.

e).- Acondicionamiento.

La pulpa o lodo formado puede recibir entonces un acondicionamiento que consiste en el tratamiento con reactivos químicos -- que se dá el sistema con el objeto de proveer a las partículas de -- las condiciones adecuadas para que puedan ser separadas del seno de la pulpa una vez que principie el período de flotación.

1.- Agitación.- Para mantener en suspensión a los sólidos y facilitar así su arrastre, el sistema tendrá que estar en agitación constante durante el período de operación. Para esto se adapta al conjunto un mecanismo de agitación que puede ser mecánico o neumático.

2.- Tratamientos con Reactivos.- Una vez suspendidas las partículas pueden aprovecharse las propiedades de las superficies de las partículas por separar, para concentrarlas en la superficie de la pulpa. Cuando dichas propiedades son tan débiles que no hay diferencia apreciable con las del resto de las partículas, se agrega a la mezcla una serie de reactivos químicos que acondicionan selectivamente esas superficies para hacerlas repelentes al agua y por lo tanto flotables.

En general, para lograr una operación eficiente del proce

--so de flotación, cualquiera que sea el grado de diferencia entre las propiedades de las partículas en suspensión, el sistema debe recibir un período de acondicionamiento previo, con el objeto de lograr las condiciones favorables necesarias para que las partículas valiosas puedan ser recubiertas por sustancias hidrofóbicas y que puedan desplazarse en el medio acuoso sin ser disueltas. Estos reactivos químicos proporcionan además a las partículas cierta habilidad para adherirse a la fase gaseosa (las hace aerofílicas cuando se usa aire) y deben agregarse a la pulpa cuando ésta ha sido acondicionada dentro de un rango determinado de pH, temperatura y dilución, para un reactivo en específico.

Dentro del período de acondicionamiento, se agrega a la pulpa un reactivo espumante que haga posible la formación de una capa espumosa estable en la superficie.

#### d).- Flotación.

Los sólidos se concentran en la superficie de la pulpa en virtud de sus propiedades físico-químicas y del tratamiento que está recibiendo el sistema. Para poder recoger en la superficie las partículas flotables, la fase gaseosa debe de suministrarse de tal manera que al atravesar la celda de flotación lo haga dividida en forma de pequeñas burbújas, y su flujo de abajo hacia arriba, distribuido por todo el cuerpo de la pulpa. Esto permite establecer el mayor contacto posible entre las burbújas gaseosas y las partícu---

--las que se espera que se adhieran a ellas.

e).- Colección de Concentrados.

Las burbújas, cargadas con los sólidos flotables, forman una consistente capa espumosa en la superficie y de ahí son separadas mecánicamente hacia un vertedor y recogidas como concentrados de flotación. Posteriormente los sólidos ya concentrados reciben un lavado y son enviados a etapas subsiguientes de su procesamiento -- completo. En el caso de minerales metálicos este concentrado recibe el tratamiento metalúrgico correspondiente.

Los sólidos no flotables se separan en el fondo de las -- celdas como "colas" o residuos de flotación . En algunos casos éstos residuos pueden constituir el producto importante o pueden contener sólidos flotables todavía en proporción suficiente como para someterlos a una flotación secundaria o de recuperación y el concentrado de ésta alimentarlo nuevamente a la pulpa de la flotación primaria. En un sistema típico de flotación de minerales metálicos de un solo producto en el concentrado, se incluye una batería de celdas de flotación primaria. En un sistema típico de flotación de minerales metálicos de un sólo producto en el concentrado, se incluye una batería de celdas de flotación primaria o celdas desbastadoras, una sesión de celdas recuperadoras y una última celdas adinadoras en -- donde se obtiene el concentrado limpio con una alta relación de pro

--ductos y con un mínimo contenido de ganga.

### B.-Principios Físico-Químicos en el proceso de flotación.

Para que un sólido flote en un medio acuoso se requiere - que su superficie sea repelente al agua, es decir, que su masa no -- pueda ser penetrada o disuelta por ella. Una partícula sólida puede tener propiedades superficiales particulares que la haga humectable en un cierto grado y determinar con ello su flotabilidad. Siendo entonces la flotabilidad un fenómeno de superficie, el factor determinante en el proceso de flotación va hacer la magnitud de las fuerzas de superficie desarrollada por las fases en contacto y las características de sus superficies.

Un sólido se moja en la medida en que su superficie es capaz de adsorber agua. Esta capacidad de adsorción de los sólidos depende, a su vez, de la energía libre superficial de los cristales -- que los forman y de la orientación de las moléculas del fluido que -- se encuentre en sus alrededores. La energía libre de superficie que exhiben los sólidos es el resultado del excedente de la energía de -- los átomos que se encuentran en su superficie y que no utilizan en -- atraer a otros átomos exteriores de sólido. Esta energía libre superficial de las partículas sólidas es semejante a la energía superf-- cial en los líquidos en los cuales se manifiesta como una fuerza conocida como tensión superficial.



En virtud de ésta energía libre, es particularmente cuando los sólidos han sido recientemente sometidos a esfuerzos de fricción y división como sucede durante la molienda, las partículas sólidas presentan en su capa superficial puntos cargados electrostáticamente, cuyo carácter e intensidad depende del tipo de asociación en que se encuentran las moléculas sólidas. Cuando éstas partículas cargadas son puestas en contacto con iones de un fluido, estos son atraídos hacia puntos de carga opuestas en la capa sólida superficial. De hecho, la película sólida que se forma en la superficie de la partícula está compuesta de iones y cationes que buscan estabilizarse capturando del exterior iones de carga opuesta. La adsorción de agua por partículas minerales puede ocurrir por éste mecanismo cuando la polarización de sus iones y la intensidad de su potencia eléctrica hacen posible que sus superficie sea capaz de atraer moléculas de agua, en forma ionizada. Esta capacidad es la que determina si la superficie de ése sólido va a estabilizarse neutralizando sus puntos cargados con iones acuosos o iones de otros compuestos disueltos o suspendidos en el seno de la pulpa.

Puesto que la mayoría de los sólidos adsorben agua o son disueltos por ella en mayor o menor grado, es de desear, para propósito de flotación, que las partículas valiosas que se desean separar en una espuma concentrada, sean mojadas lo menos posible o repelentes al agua. Para lograr ésto y obtener así una recuperación eficiente



--te de sólidos valiosos, se mezclan en la pulpa pequeñas cantidades de agentes químicos cuya estructura los hace que sean atraídos de -- preferencia por ciertas partículas en lugar de atraer a las moléculas de agua o de cualquier otra substancia en suspensión éstos reactivos ayudan a separar las partículas valiosas recubriendolas con una película repelente al agua como lo hacen los promotores y colectores o bien deprimiendo las partículas deseables que es el caso de -- los reactivos represores.

La energía de superficie que poseen los sólidos no se ha podido medir directamente, como se ha hecho por ejemplo, con la magnitud de la tensión superficial de un líquido. Quienes han efectuado investigaciones al respecto coinciden en medir indirectamente la intensidad de la fuerza de atracción entre una fase sólida y dos fluidas (líquida y gaseosa) midiendo el ángulo que se forma entre las interfaces. En flotación las partículas sólidas entran en contacto con dos fases fluidas: La fase líquida constituida por el agua de dilución y la fase gaseosa formada por las burbújas de aire introducidas en la pulpa. De esta manera, una partícula que haya sido debidamente acondicionada y recubierta por una película hidrofóbica y a la vez aerofílica, tenderá a subir y a adherirse a una burbúja de agua para ser transportada a la superficie. Cuando ésto sucede se tiene un sistema de tres fases ejerciendo fuerzas de atracción en distintas direcciones: En primer lugar se forma una interfase sólido-líquido cuya -



--área de contacto con el agua.

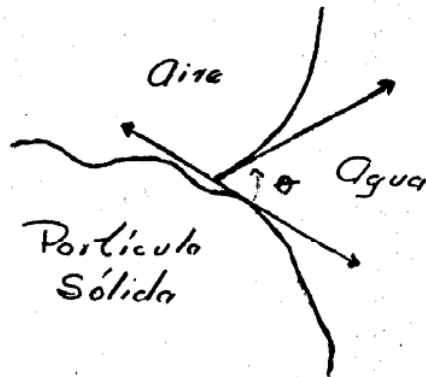


Fig. No. 1 Representación del ángulo de contacto.

C.- Reactivos de flotación.

La separación de sólidos por medio de procesos en los cuales se incluyen parcial o totalmente las técnicas de flotación, debe su aplicación al desarrollo de reactivos químicos que son agregados a la pulpa en diferentes etapas del proceso, para provocar diversos efectos sobre el sistema.

Estos reactivos de flotación son agentes modificadores de superficie y acondicionadores y se clasifican según el efecto que producen en:

- a).- Acondicionantes.
- b).- Colectores.
- c).- Espumantes.

a).- Acondicionantes:

Estos, son reactivos que modifican el ambiente en el - -  
cual están suspendidos los sólidos creando las condiciones más ade--  
cuadas que permitan la reacción de los reactivos colectores sobre  
las partículas valiosas su aplicación del proceso depende en gran -  
parte de las características propias de la mezcla de sólidos y de -  
las condiciones iniciales de la pulpa.

El período de acondicionamiento de las partículas sólid--  
das comienza practicamente desde la molienda y clasificación ya que  
es en ésta etapa en donde las partículas al ser divididas, sufren -  
deformaciones estructurales en su superficie, incrementando su ener--  
gía libre al crearse nuevas superficies. Además, en éste paso las -  
superficies sólidas quedan practicamente limpias y las partículas --  
quedan definidas en tamaño, peso y volúmen.

En el tratamiento de minerales por flotación ( 8 ) se a--  
provecha éste período de molienda para empezar a acondicionar la --  
pulpa con reactivos adecuados ahorrándose con ésto parte del tiempo  
de acondicionamiento en los tanques instalados para este propósito--  
en esta industria; en estos casos el circuito de molienda es inva--  
riablemente húmedo, lo cual permite una acción más eficiente de los  
reactivos al ponerlos al contacto con una superficie fresca. Sin em  
bargo, el acondicionamiento propiamente dicho en el proceso de flota

--ción consiste en modificar hasta un nivel adecuado los alrededores de los sólidos por flotar cuando éstos se encuentran formando ya parte de la pulpa. Los alrededores están constituidos por los otros sólidos suspendidos en la pulpa (cua separación en el residuo es la finalidad correlativa del proceso en sí) gases disueltos, iones acuosos, iones minerales desprendidos por la acción del agua sobre minerales solubles, etc.

Según la acción que sobre las constituyentes de esos alrededores vayan a efectuar los reactivos de acondicionamiento, se clasifican en:

- 1.- Depresores.
- 2.- Reguladores de pH.
- 3.- Dispersantes.
- 4.- Activadores.

- 1.- Depresores:

Estos reactivos actúan sobre las superficies de los sólidos no valiosos haciéndolos no flotables evitando así que aparezcan en la espuma de concentrados. Se utilizan para éste propósito compuesto que suministren cationes como:  $Ca^+$  ó radicales como  $CN$ ,  $CO_3^-$ ,  $PO_4^-$ ,  $SO_3^-$ .

- 2.- Reguladores de pH.

Estos son quizás los reactivos mas importantes en el acondicionamiento ya que de su acción sobre el equilibrio iónico en la pulpa dependerá la corriente de iones colectores hacia la superficie de las partículas por flotar. La mezcla de sólidos y el agua de dilución produce, al formarse la pulpa, un pH resultante que puede ser ácido o alcalino según sea la composición de la totalidad de los elementos de la mezcla. Este pH debe ser modificado por los reactivos reguladores para llevarlos hasta un valor que esté dentro del rango en el cual los sólidos por flotar puedan adsorber iones de reactivos colectores; éste rango es característico de cada combinación de sólido-colector que sea tratada.

<u>Mineral</u>	<u>pH</u>	<u>Fórmula</u>
Calcocita	14.0	$Cu_2S$
Covelita	13.2	$CuS$
Bornita	13.8	$Cu_5Fe_3S_4$
Calcopirita	11.8	$Cu_2S \cdot Fe_2S_3$
Pirita	10.5	$Fe S_2$

### 3.- Dispersantes:

Los reactivos dispersantes son sustancias que se agregan a la pulpa cuando esta contiene una gran cantidad de sólidos no valiosos finamente divididos a tal grado que pueden estorbar a la acción efectiva de los otros reactivos; éstos sólidos, de tamaño muy -

--inferior al óptimo para flotación son del orden de -200 mallas tyler (0.074-mm) y los agentes dispersantes se encargan de neutralizar los ionicamente eliminándolos del sistema. Cuando una mezcla de sólidos tiene una cantidad considerable de éstas partículas, el acondicionamiento de la pulpa resulta difícil y la eliminación efectiva de éstas interferencias (denominadas "lomas" en la flotación de minerales metálicos) deberá resolverse de acuerdo con las condiciones de eficiencia y economía que requiera el proceso completo. Como agentes dispersantes en el tratamiento de minerales metálicos se utiliza el silicato de sodio, algunos fosfatos y sustancias coloides orgánicas.

#### 4.- Activadores:

Los reactivos activadores, también llamados agentes de superficies, son sustancias que se dispersan en la pulpa y son adsorbidos por las partículas valiosas. Estas sustancias suministran iones a la superficie de la partícula con el fin de activar su flotabilidad proveyéndola de puntos cargados iónicamente que puedan ejercer una atracción más efectiva sobre los reactivos colectores. En la flotación de minerales metálicos se utilizan reactivos que cedan iones como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Pb}^{++}$ ,  $\text{Zn}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ . Un reactivo ampliamente usado para éste fin en esta industria es el sulfato de cobre.

Por lo general éstos reactivos se utilizan en el acondi

--cionamiento cuando los sólidos por separar son de baja flotabilidad o están íntimamente asociados a otros sólidos no flotables.

b).- Colectores y Promotores:

Son las sustancias que finalmente van a aumentar las diferencias en las propiedades superficiales entre las partículas valiosas y el resto de los sólidos. Su acción básicamente es recubrir a dichas partículas con una película repelente al agua y capaz de adherirse a una interfase aire-agua.

La adsorción de moléculas del colector por esos sólidos depende tanto de la composición del sólido mismo, su estructura iónica como el tratamiento previo de la molienda y acondicionamiento que se haya dado a la mezcla entera de sólidos. Recíprocamente, para que el colector sea adsorbido, sus moléculas deberán ser capaces de poder permanecer en el seno de la pulpa y presentar además una estructura que contenga tanto el elemento de recubrimiento repelente del agua como la carga opuesta necesaria para que la superficie inestable y ávida de la partícula las capture y las fije fuertemente en sus puntos cargados.

Estas últimas condiciones son satisfechas por compuestas orgánicosheteropolares cuya relativa baja solubilidad les permite mantenerse sumergidos en la pulpa adsorbidos por el agua por su extremo polar, mientras que la parte no polar constituida por el ele-



--mento orgánico de la molécula permanece insoluble y repelente al agua. Cuando éstas moléculas se encuentran con una partícula sólida debidamente acondicionada se separa la unión sortiva relativamente débil que la unía al agua y se precipite con su extremo polar orientado hacia la superficie sólida atraída por la fuerza relativamente mayor que presenta la partícula en virtud de su energía libre de su superficie de esta manera, el colector que fija a la superficie sólida por su extremo polar quedando la parte orgánica no polar orientada hacia el exterior de la partícula en contacto con la fase líquida. Cuando se han adsorbido suficientes moléculas de colector por éste mecanismo a la superficie de la partícula, se forma una película de sustancia orgánica hidrofóbica; esto hace que la partícula recubierta sufra la tendencia a ser expulsada del seno de la pulpa repelida por las moléculas de agua. El cuerpo de la partícula experimenta entonces y cuando encuentra una burbujita de aire se adhiere a la interfase aire-agua y viaja así a la superficie de la pulpa.

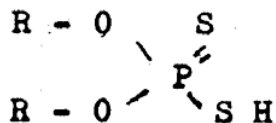
La repelencia por el agua y la atracción hacia una interfase aire -agua de la película orgánica formada por los reactivos colectores puede ser tan fuerte, que para ciertos sólidos minerales metálicos basta que ésta película se haya formado sobre sólo el 5% de su superficie para asegurar una flotabilidad que dá una recuperación eficiente de las partículas. Estas circunstancias es especialmente útil cuando los sólidos valiosos se encuentran íntimamente --

asociados con ganga de tal manera que una partícula de tamaño adecuado está compuesta por pequeños estratos de los diferentes sólidos irregularmente distribuidos presentando en conjunto una superficie de composición etereogena.

Un compuesto que se encuentra frecuentemente en reactivos para la flotación de sulfuros minerales, especialmente sulfuros de cobre, es el etil xantato de potasio cuya fórmula estructural es la siguiente:



Cuando este compuesto se disuelve, el ión  $\text{K}^+$  se desprende y el radical  $-\text{C} \begin{array}{l} \text{S}^- \\ \text{S} \end{array}$  unido a la cadena hidrocarbonada se orienta hacia la superficie mineral en donde se adsorbe. El ácido cresiltio fosfórico, principal constituyente de las formulaciones de los llamados reactivos aerofloats, se orienta de una manera similar a los xantatos. Su fórmula estructural es:



En la cual R es el radical cresílico. Existen otros compuestos de amplio uso en las formulaciones comerciales como son la difeniltiourea y los llamados dixantógenos que poseen en su estructura molecular, al igual que algunos aerofloats, una doble cadena hidrocarbonada que les confiere una acción colectora mas energética.

--ca. Sin embargo, debido a su costo mas elevado con respecto a los reactivos de cadena sencilla como los xantatos, su uso es conveniente sólo cuando las cualidades superficiales de las partículas hacen difícil el recubrimiento con sustancias más ligeras.

La película orgánica adherida a la partícula es la que determina el valor del ángulo de contacto puesto que es la parte -- que queda orientada hacia la fase fluida. Esta circunstancia es la que permite ejercer un cierto control sobre el grado de flotabilidad que quiera dar a la partícula, ya que cualquiera que sea la composición de dicha partícula el ángulo de contacto será el mismo para un reactivo determinado. Así por ejemplo, el ángulo de contacto conseguido con una metil xantato metálico es de  $68^\circ$  con un etil xantato es de  $74^\circ$ , etc.

c).- Espumantes:

Los reactivos espumantes son los agentes químicos que se introducen a la pulpa con el objeto de obtener las condiciones necesarias para formar una espuma estable en la superficie de la misma con las burbujas de aire que emergen desde el fondo del sistema.

El requisito para que se forme ésa espuma y permanezca -- en la superficie soportando a las partículas hasta que puedan ser -- separadas en el concentrado, es que la tensión superficial es la -- pulpa en los límites de la interfase aire-agua, sea mínima, ya que-

de esa manera las moléculas líquidas superficiales no ejercen mayor atracción entre sí que la que se ejerce entre las moléculas de agua en condiciones normales. es decir, una alta tensión superficial provocada por una fuerte atracción intermolecular. Esta condición misma de alta tensión superficial comunica a las superficies de la pulpa cierta elasticidad y permite que las burbujas subsistan rodeadas por una película fluida.

Para lograr esto, es necesario que las moléculas de reactivos espumantes se puedan concentrar por adsorción en la superficie de la pulpa y provocar la disminución en la tensión superficial. Se ha encontrado que algunos alcoholes alifáticos cuya estructura molecular presenta extremos polar y no polar se concentran en la superficie cuando son mezclados con agua, formando una capa monomolecular unida por su parte polar al agua; esta concentración de sustancias orgánicas en la superficie es la que hace posible obtener una espuma estabilizada.

Los agentes espumantes usados en flotación de minerales metálicos por su bajo costo y su poder espumante son el aceite de mineral, ácido cresílico, ácido oleico y aceite de eucalipto.

### **III. - TRABAJO EXPERIMENTAL.**

### III.- Experimentación.

A).- Descripción de la máquina de flotación denver Sub-A de laboratorio.

Consta esencialmente de las siguientes partes:

a).- Base.

Una base de fierro vaciado moldeado adecuadamente para alojar a la celda de flotación.

b).- Cuerpo.-

En la parte posterior de la base y acoplado a ella, se levanta el cuerpo de la máquina que sirve de soporte al sistema rotor y que aloja en su interior a una espiga vertical unida por su parte superior a la base de dicho sistema rotor. Esta espiga es de acero y está dentada por uno de los lados y hace juego de cremallera con un engrane alojado también en el cuerpo hacia el mismo lado de la parte dentada de la espiga. El engrane es accionado manualmente por medio de una manivela conectada a él, permitiendo de esta manera elevar o bajar a discreción todo el sistema rotor.

c).- Sistema rotor.-

El sistema rotor está compuesto de un sistema de transmisión y de un sistema de agitación y aereamiento de la pulpa. El sistema de transmisión está montado sobre una base de fierro unida a la espiga de elevación y perpendicular al cuerpo de la máquina; - -

--consta de una polea primaria de discos con perfil en V colocada en la parte posterior de la base y conectada por una banda V con una polea secundaria situada en la parte anterior. El diámetro de la polea de discos puede hacerse variar manualmente por medio de un tornillo alineado a su centro y colocado inmediatamente arriba de ella; esto permite variar la velocidad de la otra polea.

El agitador está conectado a ésta última polea por su --- parte superior y es una flecha paralela al cuerpo de la máquina y baja desde la polea hasta terminar en un impulsor, acoplado a ella que es el que finalmente va agitar la pulpa. Concéntrico al agitador pero sin movimiento de rotación, corre un ducto cilíndrico por el exterior de la flecha, de tal manera que queda un espacio vacío entre -- ambos. Este ducto tiene en su tercio superior un conducto que da a la atmósfera por el que se succiona un flujo de aire regulable por una válvula está fijado por su parte superior a la base del sistema de -- transmisión y por su extremo inferior termina con un ensanchamiento circular al mismo nivel que el impulsor del agitador y con dientes -- de forma especial en su circunferencia de manera que permite el paso de la pulpa al ser proyectada por la acción centrífuga que le comunica el impulsor.

Todo el sistema rotor está conectado a su motor de 0.5 -- H.P. , por medio de una polea colocada por debajo de la polea primaria. El motor está montado sobre una placa atornillada al cuerpo de

--la máquina.

#### d).- Celda de Flotación.-

La celda de flotación es un recipiente de vidrio cuadrada en su base y rectangular en su parte superior en donde se prolonga hacia el frente hasta terminar en un labio que sirve de vertedor de espuma. La celda está descubierta en su extremo superior y por allí se carga con la pulpa vaciandola en cascada. El agitador de la máquina se sumerge por la misma entrada accionándola la cremallera de ascenso y descenso del sistema rotor y cuando todo el aparato está debidamente dispuesto puede empezar a agitarse la pulpa cerrando el circuito eléctrico del motor.

#### B.- Aereación de la pulpa.

Cuando el proceso llega a la etapa de aereación, se forman en la pulpa, a lo alto de la celda, tres zonas: Una zona de mezcla y aereación en la parte inferior que está en contacto con el impulsor; aquí la pulpa es mezclada vigorosamente, lanzada por las pelotas del impulsor hacia las paredes de la celda y proyectada hacia arriba al pasar por los dientes del tubo concéntrico. Esto provoca una succión en el espacio anular entre la flecha y el ducto provoyendo al sistema de un flujo de aire a través del conducto a la atmósfera ya mencionada. De esta manera en esta zona inferior la pulpa es sometida a una fuerte agitación y nacen en su seno las burbujas de



--trellarse contra el fluido y las paredes de la celda.

La segunda zona que se forma se conoce como zona central o de separación; en ésta región ya no existe una agitación violenta y las burbújas que ya van cargadas con partículas minerales flotables se separan de la ganga que podrían haber arrastrado desde el fondo.

Por último las burbújas llegan a la zona superior o de concentrados en la cual pueden adherirse mas partículas flotables a una misma burbúja para emerger finalmente a la superficie en donde se van aglomerando en una gruesa capa espumosa que está siendo separada constantemente hacia el vertedor de concentrados.

### C.- Pruebas efectuadas.

#### a).- Pruebas preliminares.-

De todas las variables que puedan tener alguna influencia en el rendimiento y selectividad del proceso se decidió ensayar algunas de las más importantes son: Tamaño de partícula, pH, reactivos de acondicionamiento, de promoción y espumantes; tiempo de acondicionamiento y tiempo de flotación. Los rangos utilizados para ensayar estas variables se fijaron de acuerdo con: las características del mineral, las especificaciones e instructivos de los fabricantes de reactivos de flotación y la información bibliográfica consultada al respecto. Otros datos como densidad, temperatura la intensidad de ac-

agitación, etc. se mantuvieron constantes en valores recomendados por las mismas fuentes.

#### Las Variables ensayadas fueron:

- 1.- Hollanda
- 2.- pH
- 3.- Reactivos de acondicionamiento
- 4.- Reactivos colectores
- 5.- Depresores
- 6.- Reactivos espumantes

#### Procedimiento.

La secuencia de las operaciones efectuadas en las pruebas se ajustó a un plan de trabajo de acuerdo con los siguientes pasos:

- 1.- Muestreo Primario de Mineral por lotes  
del mineral escogido se separan lotes de aproximadamente 200 Kgs. C/U.

- 2.- Muestreo secundario de lotes.

Se separan un lote de muestreo primario al azar y después de homogenizarlo se hace muestreo secundario en lotes de aproximadamente 50 Kgs. C/U.

- 3.- Trituración y Hollanda.

El lote de 50 Gra. de Mineral se alimenta a la quebradora de quilladas en donde los sólidos gruesos se reduce hasta que pasan-

--por la malla No. 10. Esto ya pasado por la malla No. 10 se recol-  
le en un recipiente para ser pasado al homogenizador.

Una vez homogenizado se toma una muestra de 1000 Grs. para molerla  
en el pulverizador de discos; aquí el mineral se pulveriza y se se-  
para todo el producto que pase por la malla No. 10 para hacerle los  
ensayos mineralógicos, es decir, para conocer el % de cobre y molib-  
deno que contenga dicho mineral.

Para las pruebas para escoger la mejor molienda se sigue el mismo  
proceso con las diferentes mallas ya especificadas. La Molienda de  
las muestras ensayadas fue en seco debido a circunstancias de tipo  
práctico dada la cantidad y peso de las mismas.

#### 4.- Carga de la celda de flotación.

La muestra de 1000 Grs. de mezcla mineral ya molida se va  
cayendo en cascada a la celda de flotación ya debidamente instalada, en  
seguida se agrega agua de la línea de servicio hasta alcanzar un ni-  
vel unos tres centímetros bajo el vertedor de la celda. La mezcla  
entonces se agita sin aereación y se deja así por espacio de 5 minu-  
tos para lograr una buena muestra sólida-líquida.

#### 5.- Acondicionamiento.

El sistema está entonces en condiciones de ser preparado  
químicamente. Primeramente se toma una muestra de la pulpa y se de-  
termina su pH utilizando un potenciómetro; enseguida se ajusta el  
pH deseado de la pulpa agregándole una solución de Ca O con una --

concentración predeterminada.

Cuando se alcanza el grado de alcalinidad necesario se agregan entonces soluciones conteniendo las cantidades especificadas los demás reactivos por ensayar según el caso: Agentes dispersantes, activadores, colectores y espumantes, en éste orden.

El tiempo de acondicionamiento se empieza a contar desde el momento en que han sido agregados la totalidad de los reactivos. En las instalaciones de escala industrial de estos procesos, el acondicionamiento de la pulpa se hacen tanques de agitación especiales distintos de las celdas de flotación y en algunos casos se empiezan a agregar los reactivos de flotación desde que la pulpa se encuentra en su punto de molienda. A escala planta piloto y de laboratorio, sin embargo, los problemas de flujo de material no son determinantes de la operación del proceso ya que puede trabajarse en secciones separadas intermientemente; se puede ahorrar esos pasos simultáneos y determinar únicamente los tiempos totales de contacto reactivo-pulpa necesarios para un rendimiento y selectividad óptimos.

#### 6.- Flotación y colección de concentrados.

Después de un tiempo especificado de acondicionamiento se abre un poco la válvula de succión de aire de la atmósfera y se empieza a formar en la superficie de la pulpa de una delgada capa de espuma; la válvula de succión se acciona entonces para regular el flujo de aire de manera que se forme una capa espumosa más densa y

--consistente; cuando se consigue estabilizar la espuma se deja el flujo de aire y puede empezar a arrastrarse la espuma hacia el vertedor recogién dose por gravedad en un recipiente adecuado colocado debajo del labio del vertedor. Esta espuma trae consigo las partículas de mineral de moliteno o cobre según sea el caso relativamente libres de ganga.

Para mantener el nivel de la pulpa en la celda hasta el borde del vertedor es necesario estar agregando una solución que compense al volumen del material salido con la espuma; esta solución se va vaciando a la celda conforme va bajando dicho nivel y contiene reactivos colectores depresoras y espumantes en la misma concentración y composición que la que contiene la pulpa tratada.

Durante el período de colección de concentrado en la espuma se separan eventualmente muestras de este producto en un disco de porcelana especial en el cual puede hacerse una estimación de la buena marcha de la operación examinando simplemente a las partículas de allí separadas, también por observación directa de la apariencia, color y consistencia de la espuma en la celda puede apreciarse el avance de la prueba.

Cuando ha transcurrido el tiempo especificado para flotar y colectar concentrado, se suspende la agitación y la aereación y los productos sólidos y residuos o "Colas" se separan de la fase

--fluída por sedimentación, decantación o filtración disecado en la de laboratorio. El producto mencionado ya con estos pasos se van para ser analizados en el laboratorio.

De los sólidos secos se muestrea una porción de aproximadamente 100 Grs. de los residuos y se pulverizan hasta que el 100 pasa por el tamiz de 100 mallas. En el caso del concentrado se pulveriza el total de los sólidos hasta el mismo grado de molienda que la muestra de residuos. Estos productos se analizan entonces en el laboratorio para obtener el contenido de Molibdeno como % de molibdeno total y contenido de cobre como % de cobre en cada muestra. Método de análisis utilizado para estas determinaciones se describen en el apéndice (A).

b).- Pruebas efectuadas según diseño de experimento.

Estas pruebas se realizaron con el mismo equipo y siguiendo el mismo procedimiento utilizado en las pruebas preliminares. Formulamos series de pruebas que incluyeron las mismas variables de lotación. Estas variables y sus valores de ensayo fueron seleccionados considerando los resultados obtenidos en las pruebas preliminares y la información extraída de la literatura.

TABLA # 1

ANALISIS DE MALLAS PARA CABEZAS DE MINERAL

Malla Tyler	Abertura (mm.)	Peso Porción	% Peso
- 10	- 1.651	50.0	10.0
10/24	0.833	90.0	38.0
24/35	0.417	71.5	14.3
35/60	0.208	54.0	10.8
60/100	0.417	36.0	7.2
100/200	0.074	41.0	8.2
- 200	- 0.074	57.5	11.5

TABLA # 2

CONDICIONES DE OPERACION EN LAS PRUEBAS PRELIMINARES  
PARA SELECCION DE MOLIENDA

MOLIENDA	PESO DE LA MUESTRA (Grs)	pH	REACTIVOS	TIEMPO ACONDICIONAMIENTO (min.)
- 35+ 60	1000	7.0	Petroleo; NaCN CaO Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , aceite de pino, Na <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	5
-60+100	1000	7.0	Petroleo, NaCN, CaO Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , aceite de pino Na <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	5
- 100+200	1000	7.0	Petroleo, NaCN, CaO Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , aceite de pino Na <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	5

CANTIDADES

PETROLEO	0.318 cc.
NaCN	0.500 grs.
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.406 cc.
CaO	0.62 grs.
ACEITE PINO	0.056 cc.
Na <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	0.289 grs.



	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>	
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	( 1 )	b	c	bc
A <sub>2</sub>	a	ab	ac	abc

**TABLA #3**  
**DISEÑO DE EXPERIMENTO**

(1)	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> = 7
b	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> = 9
c	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> = 4 minutos
bc	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> = 8 minutos
a	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> = 10 minutos
ab	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> = 15 minutos
ac	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	
abc	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	

A= pH

B= Tiempo de acondicionamiento

C= Tiempo de flotación

PRUEBAS SEGUN DISEÑO DE EXPERIMENTO

FACTORES ESTUDIADOS	A	B	C
NIVEL ALTO	9	8	15
NIVEL BAJO	7	4	10
PRUEBA	A	B	C
l	-	-	-
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	-
c	-	-	+
ac	+	-	++
bc	-	+	+
abc	+	+	+

(+) NIVEL ALTO

TABLA # 5

(-) NIVEL BAJO SUBSTITUCION DE SIGNOS POR SUS VALORES

FACTORES ESTUDIADOS	A	B	C
NIVEL ALTO	9	8	15
NIVEL BAJO	7	4	10
PRUEBA	A	B	C
l	7	4	10
a	9	4	10
b	7	8	10
ab	9	8	10
c	7	4	15
ac	9	4	15

#### **IV.- RESULTADOS OBTENIDOS.**

## A.- Antecedentes.

El mineral a tratar es de naturaleza Molibdeno-Cuprífera y como interesa la recuperación; tanto del Molibdeno como del cobre se presentan dos alternativas:

a).- Separación previa del Molibdeno por flotación evitando el menor arrastre del cobre.

b).- Flotar juntos Molibdeno y cobre para después separarlos.

Se decidió por la primera ya que es la que presenta mayor posibilidad para obtener mayores recuperaciones.

## B.- Análisis de Mallas.

Se muelen dos Kgs. de Mineral a - 10 mallas y de ellos se toman 500 Grs. para hacer este análisis, empleando las mallas 10, - 24, 35, 60, 100 y 200. Tabla No. 1; éste análisis se hace con el objeto de investigar la distribución de los valores del mineral en las condiciones de la molienda y determinar posteriormente las recuperaciones obtenidas en cada tamaño.

## C.- Leyes de cada Mineral.

De los ensayos efectuados en el Laboratorio para conocer el % del Molibdeno y cobre respectivamente según las técnicas descritas en el apéndice (A), Pag. NO. 53 se obtuvieron los siguientes resultados:

%Mo=1.30

% Cu=0.36

De modo que con estas leyes se trabajaran en la experimen  
tación.

D.- Molienda.

En la determinación de la molienda óptima de las diferen-  
tes pruebas para eliminar una de las variables, tabla No. 2, Pag. -  
No. 33, el balance metalúrgico está en la tabla No. 6 Pag. No. 40.-  
la molienda de -60 mallas representa la de mayor recuperación.

B.- Pruebas según diseño de experimento.

Después de obtener la molienda optima que fue la de -60 -  
mallas, se llevó a cabo el diseño de experimento, tal y como nos lo  
muestran la Fig. No. 3 Pag. 34, en la cual tenemos tres variables -  
representados por las letras A, B y C, en la cual A es pH, B es - -  
tiempo de acondicionamiento y C es tiempo de Flotación.

Los números que están a la base de ésas letras (1 y 2) --  
nos representan los niveles a los cuales se llevó a efecto la expe-  
rimentación y en donde el número 1 indica el nivel bajo y el No. 2-  
el nivel alto.

Cambiando ésos números por signos (+ y -) se obtiene la -  
tabla No. 4 Pag. No. 35, que a su vez sustituyendo estos signos por  
sus valores se obtiene la tabla No. 5 Pag. No. 35.

El nivel alto nos lo representa el signo (+) bajo el signo (-).

Para hacer dicho experimento como nos lo indicamos en el # 3, Pag. 34, se obtienen los resultados de la Tabla 7 Pag. 41, que es la que corresponde al balanceo de la experiencia para dicho experimento.

# TABLAS DE RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION

BALANCE DE MOLIBDENO

BALANCE DE COBRE

PRUEBA No.	PESO Grs.		ANALISIS %		CONTENIDO		DISTRIBUCION		ANALISIS %		CONTENIDO		DISTRIBUCION	
	Conc.	Colas	Conc.	Colas	Conc.	Colas	Conc.	Colas	Conc.	Colas	Conc.	Colas	Conc.	Colas
(1)	27	973	25.60	0.04	6.9	0.389	94.7	5.3	0.434	0.348	0.120	3.40	3.35	96.65
a	37	963	26.32	0.32	9.73	3.08	75.6	24.4	0.225	0.392	0.083	3.77	2.00	98.00
b	29	971	24.9	0.04	7.2	0.388	94.7	5.3	0.39	0.356	0.113	3.47	3.35	96.65
ab	38	962	23.4	0.30	8.9	2.9	75.4	24.6	0.345	0.342	0.131	3.29	4.00	96.00
c	31.5	968.5	23.5	0.03	7.4	0.290	96.0	4.0	0.12	0.333	0.038	3.22	1.00	99.00
ac	47	953	10.9	0.25	5.2	2.38	68.6	31.4	0.19	0.387	0.090	3.70	2.70	97.30
bc	32	968	35.12	0.02	11.2	0.193	98.5	1.5	0.38	0.357	0.120	3.45	3.35	96.65
abc	48	952	21.0	0.33	10.0	3.14	76.2	23.8	0.375	0.293	0.180	2.800	6.00	94.00

TABLA # 7



	$C_1=10$		$C_2=15$	
	$B_1=4$	$B_2=8$	$B_1=4$	$B_2=8$
$A_1=7$	(1)=94.7	b=94.7	c=96	bc=98.5
$A_2=9$	a=75.6	ab=75.4	ac=68.6	abc=76.2

RESULTADOS SEGUN DISEÑO DE EXPERIMENTO  
PARA EL MOLIBDENO

TABLA # 9

	$C_1= 10$		$C_2= 15$	
	$B_1=4$	$B_2=8$	$B_1=4$	$B_2=8$
$A_1=7$	(1)=3.35	b=3.35	c=1.00	bc=3.35
$A_2=9$	a=2.00	ab=4.00	ac=2.70	abc=6.00

							CUADRADOS MEDIOS (3) 28
(1)	94.7	170.3	340.4	679.7 total			
a	75.6	170.1	339.3	-88.1=4A			970.201
b	94.7	164.6	38.4	9.9=4B			19.001
ab	75.4	174.7	49.7	4.9=4AB			3.002
c	96.0	19.1	0.2	- 1.1=4C			0.151
ac	68.6	19.3	10.1	-11.3=4AC			15.961
bc	98.5	27.4	0.2	10.3=4BC			13.261
abc	76.2	22.3	5.1	5.3=4ABC			3.511
Total	679.7			Total			1025.088

TABLA # 8

TRATAMIENTO	%	(1)	(2)	(3)	CANTIDAD MEDIOS 2/8
(1)	3.35	5.35	12.70	25,75=Total	
a	2.00	7.35	13.05	3.65=4A	1.665A
b	3.35	3.70	2.00	7.65=4B	7.3264
ab	4.00	9.35	4.35	2.95=4AB	1.0888
c	1.00	1.35	2.00	0.35=4C	0.1531
ac	2.70	0.65	5.65	5.05=4AC	3,1879
bc	3.35	1.70	0.70	3.65=4BC	1.7653
abc	6.00	2.65	0.95	1.05=4ABC	0.1378
Total	25.75			Total	15.3247

TABLA #9

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS
EH (A)	970.201	1	920.201
	19.001	1	19.001
	0.151	1	0.151
AB	3.002	1	3.002
AC	15.961	1	15.961
BC	13.261	1	13.261
ABC	3.511	1	3.511
Total	1025.088	7	8.933

TABLA # 12

ANALISIS DE VARIACION PARA EL MOLIBDENO

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS
PH (A)	1.6654	1	1.6654
TIEMPO DE ACOND. (B)	7.3264	1	7.3264
TIEMPO DE FLOTACION (C)	0.1531	1	0.1531
INTERACCIONES			
AB	1.0888	1	1.0888
AC	3.1879	1	3.1879
BC	1.7653	1	1.7653
ABC	0.1378	1	0.1378
Total	15.3247	7	1.5449

TABLA # 13

ANALISIS DE VARIANCIA PARA EL COBRE

# V.- DISCUSION DE RESULTADOS

## Análisis de Variancia.

Este análisis es el usado para interpretar resultados, es decir es el que nos dice que efecto puede tener acción positiva ó negativa en el experimento.

En la Tabla No. 12 Pag. No. 45 y la No. 13 Pag. No. 46 se tiene los análisis de Variancia para el Molibdeno y cobre respectivamente.

Este análisis resulta de tomar la suma de cuadrados de la tabla No. 10 Pag. 43 los cuales tienen un grado de libertad.

Las interacciones ó sean AB, AC, BC y ABC se suman dándonos 35.735 que al dividir entre 4 Grados de libertad da 8.933 cantidad que está en la columna de los cuadrados medios. Este 8.933 es el error de Variancia.

El análisis de Variancia para el cobre se obtiene por el mismo método.

Al obtenerla estimación del error de variancia basados en los 4 grados de libertad ó sea 8.933 para el molibdeno y 1.5449 para el cobre y tomando 5% de probabilidad nos da un número que es 7.71 el cual se obtiene de las tablas según el método de Yates. Al multiplicar el error de Variancia por éste valor se obtiene.

8.933 por 7.71=68.85, para el molibdeno.

1.5449 por 7.71=11.91 para el cobre.

Al comparar con las tablas 11 y 13 Pags. 44 y 46, se observa para el cobre ninguno de los factores es significativo para el proceso.

En la tabla correspondiente al molibdeno el valor de  $t$  es altamente significativo para el factor A, es decir al pH.



## **VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## C O N C L U S I O N E S

1.- De acuerdo con los resultados de análisis de variancia, se observa que ninguno de los tres factores es significativo apreciablemente con un 5% de probabilidad para el cobre.

Con un 10% de probabilidad parece ser significativa la influencia del factor B ó sea tiempo de acondicionamiento observándose que la mejor separación corresponde al tratamiento c (Tabla No. 7 -- Pag. No. 41).

2.- De la tabla correspondiente al molibdeno (No. 12, Pag. No. 45) el análisis de variancia demuestra una alta significancia por parte del factor A, observándose un efecto negativo como lo comprueban los tratamientos donde el pH se encuentra en el nivel superior - (9).

3.- De acuerdo con lo anterior se recomienda que el tratamiento mas adecuado para la separación tanto del cobre como del Molibdeno resulta ser la prueba BC, ya que en esta obtenemos un alto rendimiento del Molibdeno y relativamente bajo del cobre.

4.- En caso de que interese la recuperación de los dos valores, puede ser recomendable flotar los dos juntos, desechando las colas, para después flotar uno y deprimiendo otro.

# APPENDICE. -

## APENDICE A.-

Ensayes efectuados al mineral Molibdeno-Cuprifero tanto en pruebas preliminares como en concentrados.

Los ensayes para conocer tanto el % de Molibdeno como de cobre a escala laboratorio se sujetaron a las siguientes condiciones:

Molienda= - 100 Mallas/pulgada Tyler

Temperatura= Ambiente (25°C a 35°C)

Método para el ensaye de Molibdeno en cabezas y colas.

Se funde una muestra de un gramo con 7 a 10 Grs. de Peróxido de sodio en crisol de fierro, después de mezclar, enfríe y agregue 10 ml. de HCL concentrado agitando después filtre con filtro No. 5 recogiendo en frasco volumétrico de 100 ml. (para colas) o en frasco de 250 ml. (para cabezas).

Se lava el precipitado con agua destilada y se ajusta el volumen para marcar y mezclar. Con la pipeta saque 10 ml. para cabezas y 20 ml. para colas. Igualar el volumen de las cabezas con agua agregue 10 ml. de agua destilada, una gota de 1% de Fenolf Taleína después agregue 10 ml. de ácido sulfúrico al 10%, 5 ml. de sulfocianuro de Potasio al 20%, 50 ml. de Acetona y 10 ml. de cloruro estaño al 10%.

Se ajusta el volumen a 100 Ml. en cilindro graduado con - ya esta solución se mide el color a 470 millicroms en el Spectronic-20 y se compara con la curva Standard.

#### Chequeo de Spectronic 20.

Se toman 10 Ml. de solución de molibdeno y se ponen en un frasco volumétrico de 100 Ml. y se agrega agua hasta completarlos. Se toman 4 vasos de 250 Ml. poniendo al vaso una poquita de agua. Al vaso No. 1 se le agregan 10 Ml. de ácido sulfúrico y 5 Ml. de -- sulfocianuro de potasio, 50 Ml. de acetona y 10 Ml. de cloruro esta-- noso. Esto es lo que se pone al vaso No. 2 ya que en el vaso No. 1- tenemos agua. 2 Ml. de solución de molibdeno, 10 Ml. de ácido sulfú-- tico, 5 Ml. de sulfocianuro de potasio 50 Ml. de acetona y 10 Ml. - de cloruro estanoso. Al vaso No. 3, 4 Ml. de solución de molibdeno y las soluciones anteriores mencionadas. Al vaso no. 4, 10 Ml. de so-- lución de molibdeno.

#### Análisis de Cobre.

##### Método del Tiosulfato de Sodio (Volumétrico) (1)

- 1.- Pesar 0.5 - 1 Grs. de mineral pulverizado a -100 Ma-- llas.
- 2.- Añadir 10 Ml. de  $\text{HClO}_4$  (concentrado)
- 3.- Clentar a ebullición por 15 a 30 minutos.
- 4.- Agregar 30 ml. de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.
- 5.- Enfriar a temperatura ambiente.

- 6.- Añadir con agitación constante, NaF.
- 7.- Adicionar K l y agitar.
- 8.- Poner el indicador (engrudo de almidón)
- 9.- Titular con solución valorada de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (0.05 N)
- 10.- Calcular el porcentaje de Cu.

Otro ensaye efectuado de molibdeno es el que se llevó a cabo con las siguientes técnicas:

Se pesó 0.5 Grs. de mineral finamente pulverizado y se colgcó en un vaso de 250 ml. al cual se le agregan 15 cc de  $\text{HNO}_3$  y se pone a calentar lentamente, hasta reducirlo a 5 cc. Después se agregan 75 cc de agua destilada se hierve durante 5 minutos, se retira y se le agrega  $\text{NH}_4$  OH agregando unos 20 cc. en exceso, se vuelve a hervir por 5 minutos retirándose del fuego y se filtra en filtro No. 1, recibiendo la solución en un vaso de 400 cc. dándosele al filtro unas 6 lavadas con agua destilada caliente.

Se pone la solución a hervir para tratar de volatizar un poco el amoníaco, retirese del fuego y deje enfriar por 5 minutos. Ponga sele 2 gotas de sol de anaranjado de metilo y acidifíquese con HCL, - agregue 15 CC de solución de acetato de amonio, enseguida pongase en un papel unas gotas de sol de ácido tánico y pruebese con un agitador unas gotas del ensaye contra unas gotas de ácido tánico y si el molibdeno está presente se pone de un color amarillo, después se le pone -

--una solución de acetato de plomo.

Esta solución se pone poco a poco y probando una gota con tra otra de ácido tánico hasta hacer desaparecer el color amarillo y se pone 5 cc. de acetato de plomo en exceso.

Pongasele aproximadamente 250 mgrs. de papel filtro en -- polvo, agítese y pongase a hervir 5 minutos. Retírese y deje acen-- tar por 2 hs. filtrese en filtro No. 3 y lávese 2 veces con agua ca-- liente y 2 lavados con solución de acetato de amonio y 3 más con a-- gua caliente. Recojase el filtro y doblese cuidadosamente y pongase en una cápsula de porcelana (10 cc) séquese y quemese a una tempera-- tura al rojo vivo enfríese y pesese por el factor 0.2614.

Molibdeno en concentrado.

Muestras secas en horno 105-110°C.

Pese un gramo en vaso de 250 Ml., agregue 25ml. de solución standard de  $\text{HNO}_3$  y  $\text{KClO}_3$ , hervir lentamente hasta que la solución es-- té en blanco.

Enfríe un poco y aguregue 0.500 Grs. de  $\text{KClO}_3$  y continúe -- calentando hasta que esté casi seco y agregue 15 Ml. de HCL y hierba hasta que el humo café haya desaparecido, enfríe y diluya a 50 Ml. -- con agua.

Precipite el fierro agregando 40 ml. de  $\text{NH}_4\text{OH}$  y caliente --

--hasta hervir, filtre en papel No. 54 y recoja el filtrado en vaso de 600 ml., lave el precipitado con agua 8 veces. Añada 2 gotas de indicador rojo de metilo al filtrado y neutralice con HCL Conc., hasta desaparecer el color azul, añada 30 ml. de solución de acetato de amonio y 10 ml. de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  concentrado. El volumen debe ser aproximadamente 400 ml. y sino agregue hasta completarlos. Caliente casi hasta hervir y agregue solución de acetato de plomo por gotas hasta que se hayan agregado 3 ml. (pruebe con gotas de acido tánico hasta desaparecer el color amarillo y agregar 3 cc en exceso). Caliente hasta casi hervir y mantengalo caliente durante una hora.

Filtre en papel No. 40, lave 4 veces con agua caliente --- quemese el filtro en crisol de porcelana (tarado) a  $700-800^\circ\text{C}$  y pese multiplicandolo por el factor 0.2614.

#### Cobre en Concentrado de Molibdeno.

Pesar 5 Grs. de muestra seca en vasos de 400 ml., agregar 30 ml. de 1:1 de ácido sulfúrico y 30 ml. de solución saturado de  $\text{KClO}_3$  en  $\text{HNO}_3$  (50 Gr. por litro). Caliente despacio y cuando esté descompuesto caliente fuerte hasta humos blancos, enfríe y diluya a 150 ml. y caliente para disolver las sales, filtre en un vaso de 400-ml. con papel No. 541, lave el precipitado dos ó tres veces con agua, neutralice con solución al 40% de NaOH y poner ésta solución en 25 ml. de 1:1 de ácido sulfúrico, poner al fuego para disolver, lavar en pa-



--pel filtro con ácido sulfúrico al 5%. Para quitar el fierro y cobre ponga una hoja de aluminio en la solución, se tapa y calienta-- hasta hervir continúe hirviendo suave hasta que la solución no tenga color, filtre en papel No. 541 dejando el aluminio en el vaso, - lave el vaso y el precipitado dos veces con agua.

Descarte la filtración y ponga el vaso original que tiene la hoja de aluminio sobre el embudo y disuelva el precipitado con - más ó menos 10 ml. de  $\text{HNO}_3$  concentrado, lavar el filtro dos veces - con agua, quite la hoja de aluminio y lavarla con el embudo y ponga  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado hasta que la solución se ponga azul, tapar y hervir el exceso de  $\text{NH}_4\text{OH}$  y ponga 5 ó 7 ml. de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  concentrado en friarlo y ponga 2 Gr. de KI, titular con solución standard de tiosulfato o sodio hasta color amarillo claro y ponga un indicador de almidón hasta que la solución esté blanca.

#### Preparación de Reactivos.

Fenolftaleína.- un gramo por 100 ml. de alcohol.

Almidón.- Disolver un Gr. en 100 ml. de agua destilada.

Indicador ácido tánico.- 0.1 gr. en 100 ml. de agua destilada más 2 ml. de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Solución de tiosulfato de sodio.- disolver 25 gr. en un litro de agua destilada, standarice contra solución conocida de cobre para que el tiosulfato sea un ml.

Para stadarizar la solución tome 10 ml. de sulfato de cobre standard en un vaso de 250 ml. ponerle 5 ml. de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 2 gr. de KI. cuando ya aclare el color amarillo poner unas gotas de almidón y seguir hasta que el color esté blanco.

Acetato de Amonio.

700 cc. de agua 700 cc. de  $\text{NH}_4\text{OH}$  y 700 cc. de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Solución de Acetato de amonio para lavar

25 c.c. de acetato con 500 c.c. de agua tibia.

Acetato de Plomo.

20 Gr. de Acetato de plomo y 20 Nl. de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  diluidos -

a un litro.

# BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Dana- Hurlbut:  
"Manual de Mineralogía" Editorial Reverte, S.A. pags. 235-236,-  
253-258. México, D.F. (1960)
- 2.- Davies, Owen L.  
The Design and Analysis Of Industrial Experiments N.Y. Hafner-  
publishing Co. pags. 247-289, (1967)
- 3.- Comisión de Fomento Minero "Métodos Químicos para el Análisis-  
de Minerales" Boletín No. 7 pags. 72,73 y 74, México D.F.(1959)
- 4.- Gaudin, A.M.  
Flotation  
McGraw Hill Book Co. New York Pags. 312.314, (1932)
- 5.- Instructivo para el uso de Reactivos de Flotación Dow Química-  
de México, S.A. DE C.V.  
Boletín (s.f.)
- 6.- Instructivo para el uso de Flotación Cyanamid  
American Cyanamid Co.  
Boletín (S.F.)
- 7.- Rabone, Philip  
Prácticas de Flotación  
Comisión de Fomento Minero, Boletín No. 2  
3a. ed. (1956)

8.- Miranda, R. Alfredo.

**Tests**

**Universidad de Sonora (1970)**