
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA**



**FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE COLECTORES
Y ESPUMANTES PARA FLOTACIÓN DE
MINERALES SULFURADOS**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN QUÍMICA**

BACHILLER: LUIS SILVER CHION LUY

ASESOR: Dr. ADOLFO LA ROSA TORO GÓMEZ

LIMA-PERÚ

2009

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I	5
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE FLOTACIÓN	5
1.1 Teoría electroquímica de la flotación de sulfuros	5
1.2 Colectores	10
1.2.1 Colectores para minerales sulfurados	12
1.2.2 Tipos de Colector.	12
1.3 Espumantes.....	24
1.3.1 Tipos de espumantes.	25
1.3.2 Tipos de espumantes en REACTIVOS NACIONALES S.A.....	28
1.4 Características de los reactivos de flotación	29
1.4.1 Tio-compuestos	30
1.4.2 Compuestos no-iónicos	31
1.4.3 Agentes modificadores:.....	31
1.5 Tipos de minerales	32
1.5.1 Minerales de cobre.	32
1.5.2 Minerales de plomo.	36
1.5.3 Minerales de zinc.....	38
1.5.4 Minerales de plomo – zinc.....	39
1.5.5 Minerales de cobre - plomo – zinc.....	41
1.5.6 Separación de cobre – plomo.....	42
1.5.7 Depresión de los minerales de plomo	42
1.5.8 Depresión de los minerales de cobre	42

CAPITULO II	44
2.1 FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS COLECTORES EN RENASA..	44
2.1.1 Ditiósfatos.....	44
2.1.2 Formulación del Ditiósfato ARG-315:.....	45
2.1.3 Formulación del Ditiósfato AR-3322:.....	46
2.2 FORMULACIÓN DE ESPUMANTES EN REACTIVOS NACIONALES SA ...	51
2.2.1 Formula del Espumante ER-370:	51
2.2.2 Formula del Espumante ER-400:	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57

INTRODUCCIÓN

Reactivos Nacionales S.A., se inició como una empresa privada, al ser constituida en 1961 por varias compañías mineras con el propósito de fabricar y comercializar principalmente, reactivos químicos para la flotación de minerales en la industria minera y productos químicos en general.

RENASA inició sus actividades productivas en el año 1974, como una empresa de economía mixta, con participación accionaria mayoritaria del Estado a través de CENTROMIN PERU SA.

De acuerdo con lo dispuesto por el Decreto Legislativo N° 674 "Ley de Promoción de la Inversión Privada en las Empresas del Estado", con fecha 21 de enero de 1993, las acciones de CENTROMIN PERU S.A. fueron transferidas a inversionistas privados.

RENASA inició la producción de Xantatos en 1975, comprando las patentes y contratando la asesoría de Industrias Químicas de México S.A. Posteriormente, en 1981 se amplió la producción con la fabricación de Ditiofosfatos, para lo cual se contrató la transferencia de tecnología de American Cyanamid Co.

La Planta de producción se encuentra ubicada en el distrito del Callao, Provincia del Callao, Departamento de Lima.

Con el propósito de brindar un adecuado y eficiente servicio de asesoramiento, RENASA cuenta con un laboratorio de Investigación Químico-Metalúrgico, el mismo que se encuentra al servicio de la Industria Minera.

En lo que a mi trabajo se refiere, comencé a trabajar en 1998 y sigo hasta la fecha trabajando en el Laboratorio de Investigación Químico-Metalúrgico y me desempeño como Investigador en la Empresa REACTIVOS NACIONALES SA.

OBJETIVOS

- El objetivo del presente informe técnico es para la obtención del grado de licenciatura en química por la modalidad de experiencia profesional.
- En este informe presento la forma como se lleva a cabo la investigación en la Empresa Reactivos Nacionales S.A. específicamente en el Laboratorio de Investigación Químico-Metalúrgico para la obtención de nuevos colectores y espumantes para las empresas mineras.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE FLOTACIÓN

1.1 Teoría electroquímica de la flotación de sulfuros.

Si un conductor, tal como los minerales sulfurados o metales, es sumergido en un medio acuoso, asumirá un potencial eléctrico con respecto al medio como resultado de las reacciones electroquímicas que ocurren en la interfase. Las reacciones y consecuentemente la diferencia de potencial son dependiente de la naturaleza del mismo mineral o metal y de las actividades de las especies en la fase acuosa.

Reacciones anódicas:

- Oxidación del metal: $\text{Me} = \text{Me}^{+2} + 2\text{e}^-$
- Oxidación del mineral y formación de azufre: $\text{MeS} = \text{Me}^{+2} + 2\text{e}^- + \text{S}^0$
- Oxidación del xantato: $2\text{X}^- = \text{X}_2 + 2\text{e}^-$
- Oxidación del anión: $\text{S}^{-2} = \text{S}^0 + 2\text{e}^-$

Reacciones catódicas:

- Reducción de oxígeno: $0.5 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^-$
- Reducción del catión: $\text{Me}^{+2} + 2\text{e}^- = \text{Me}$

a) Adsorción

- La flotación es un proceso que involucra el estudio de las propiedades de las interfases. Una de las formas de caracterizar una interfase es por la medida de la adsorción.

La adsorción puede definirse como la concentración de una entidad química (iones y moléculas) en una interfase.

- La adsorción generalmente se expresa en moles o moléculas de adsorbido por área de interfase.
- Es un fenómeno espontáneo y exotérmico.
- Es común la clasificación de la adsorción, con base en la naturaleza de la interacción adsorbido/adsorbente, en adsorción física (fisisorción) y adsorción química (quimisorción).

b) Adsorción física

- La adsorción física es resultante de interacciones químicas secundarias o residuales (tipo Van der Waals), caracterizándose por un bajo calor de interacción, ninguna o casi ninguna acción de selección entre el adsorbente y el adsorbido, siendo posible la formación de multicapas.

c) Adsorción química

- La adsorción química se debe a interacciones químicas primarias (por ejemplo, covalentes) entre el adsorbente y el adsorbido. Existe selectividad, formándose compuestos de superficie. Apenas una pequeña cantidad puede ser adsorbida.

d) Adsorción no específica

- Ocurre como respuesta a la atracción puramente electrostática. Es rápida, y muy reversible, no pudiéndose revertir el signo de la carga original del adsorbente.

e) Adsorción específica

- La contribución electrostática puede ser irrelevante y las especies adsorbidas específicamente pueden aumentar, reducir, anular o revertir la carga original del adsorbente. Es relativamente lenta e irreversible.

f) Energía libre de adsorción

- La energía libre de adsorción corresponde a la suma de fuerzas que contribuyen a la adsorción (interacciones electrostáticas, químicas, etc.).

$$\Delta G^0_{\text{ads}} = \Delta G^0_{\text{elec}} + \Delta G^0_{\text{chem}} + \Delta G^0_{\text{c-c}} + \Delta G^0_{\text{c-s}} + \Delta G^0_{\text{H}} + \Delta G^0_{\text{H}_2\text{O}}$$

g) Doble capa eléctrica

- Los fenómenos de adsorción en la interfase mineral/agua son controlados en la mayoría de los casos por la doble capa eléctrica.

- La carga eléctrica de los sólidos presentes en una pulpa acuosa atrae una atmósfera de iones de carga contraria, parte de la atmósfera es difusa. La carga de superficie, en conjunto con la capa difusa, constituye la doble capa eléctrica.

h) Iones determinantes de potencial

- Generalmente, un conjunto de iones pueden ser identificados como determinantes de potencial, los primeros responsables por la carga superficial. Estos iones se denominan iones determinantes de potencial.
- Existe una concentración particular de estos iones para la cual la carga de superficie es nula.
 - a. En el caso de sólidos iónicos, tales como, BaSO_4 , CaF_2 , AgI y Ag_2S , los iones de la red son considerados como iones determinantes de potencial. Así, en el caso del AgI , los iones determinantes de potencial son Ag^+ e I^- .
 - b. En el caso de los minerales tipo óxidos, los iones determinantes de potencial son H^+ y OH^- .
 - c. Para sólidos, del tipo "salt type", tales como, calcita, CaCO_3 , los iones determinantes de potencial son Ca^{2+} y CO_3^{2-} , y también H^+ , OH^- y HCO_3^- .
 - d. En el caso de los minerales tipo silicatos, tales como arcillas y las micas, los cuales tienen estructuras de capas, son cargados negativamente en la mayoría de las condiciones naturales, debido a la sustitución de Al^{3+} por Si^{4+} en la silica tetrahedra, o, Mg^{2+} por Al^{3+} en la capa octahedral de la red del cristal.

i) Potencial zeta y punto isoeléctrico

- Cuando las partículas de una pulpa se desplazan en relación al fluido, surge un plano en el cual la doble capa eléctrica se parte, el plano de cizallamiento. Este desplazamiento diferencial de las partes de la doble capa eléctrica origina un potencial eléctrico llamado potencial

zeta o potencial electrocinético, el cual puede ser medido por diferentes métodos.

- El punto donde el potencial zeta se anula se denomina punto isoeléctrico, (PIE).

En la Fig. 1 se muestra la flotación de galena con xantato en función del pH con $1 \times 10^{-1} \text{M}$. de xantato etílico.

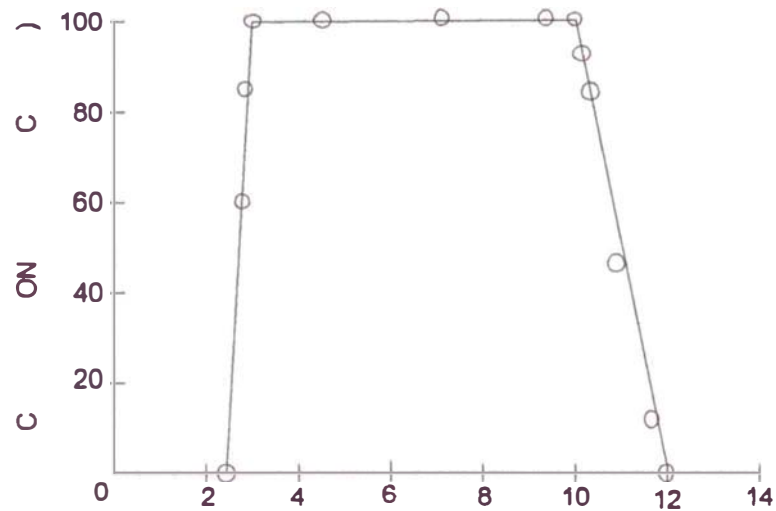


Fig. 1.- Se muestra la recuperación de galena en función del pH

En la Fig.2 se muestra el potencial zeta de la galena en ausencia y presencia de xantato.

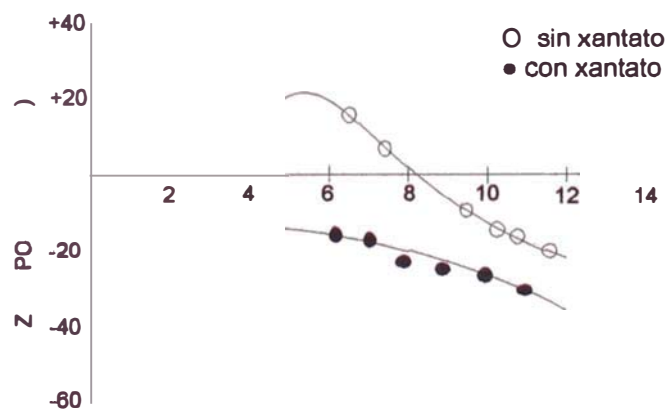


Fig. 2.-Se muestra el potencial Z de la galena en función del pH

j) Punto de carga cero

- Existe un conjunto de iones directamente relacionados con la composición de los sólidos que determinan el potencial de una especie dada. El punto de carga cero, PZC (“point of zero charge”) se define como el logaritmo negativo de la actividad de uno de los iones determinantes de potencial correspondiente a la carga real de superficie nula. En la tabla I se muestra los puntos de carga cero de algunos óxidos.

TABLA I.- Se muestra los puntos de carga cero de varios óxidos.

ÓXIDO	PZC
SiO ₂ , sílice gel	1 – 2
SiO ₂ , cuarzo-alfa	2 – 3
SnO ₂ , casiterita	4,5
ZrO ₂ , zircón	4
TiO ₂ , rutilo	5,8-6,7
Fe ₂ O ₃ , hematina natural	4,8-6,7
Fe ₂ O ₃ , hematina sintética	8,6
FeOOH, goetita	6,8
Al ₂ O ₃ , corindón	9,1
MgO, magnesita	12

k) Efectos de la doble capa eléctrica en el proceso de flotación

La doble capa eléctrica puede afectar al proceso de flotación de diferentes formas:

- El signo y la magnitud de la carga superficial controla la adsorción de los agentes de flotación adsorbidos físicamente.
- Una alta carga superficial puede inhibir la quimisorción de colectores que se adsorben químicamente.
- El efecto de la lamas (“slime coating”) es determinado por la interacción de la doble capa eléctrica.

- La floculación, coagulación y dispersión de suspensiones minerales es controlada por la doble capa eléctrica.

1.2 Colectores

Uno de los agentes de flotación es el colector, que constituye el proceso de flotación puesto que es el reactivo que produce la película hidrofóbica sobre la partícula mineral. Cada molécula colectora contiene un grupo polar y uno no polar. Cuando se adhieran a la partícula mineral. Estas moléculas quedan orientadas en tal forma que el grupo no polar o hidrocarburo queda extendido hacia fuera. Tal orientación resulta en la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie del mineral. En la Fig.3 se observa una superficie de contacto de la burbuja de aire sobre el mineral, con y sin colector. Es evidente que en la ausencia del colector la burbuja de aire hace sólo un contacto íntimo con la superficie del mineral y de aquí que la flotación sea imposible. Con el colector por el contrario, se obtiene un ángulo de 60° , o sea una condición favorable para la flotación.

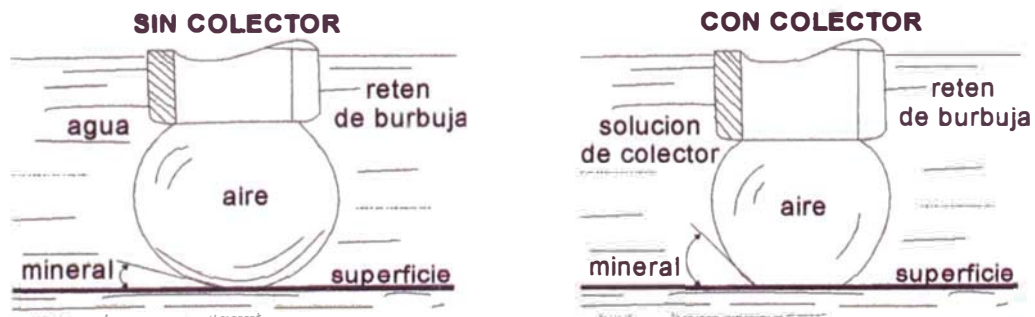


Fig. 3.- Se muestra una superficie de contacto sin y con colector.

En los comienzos de la flotación, la película de hidrocarburo se lograba por la adsorción física de un aceite neutro sobre el mineral. Sin embargo, con la introducción de xantatos más selectivos y otros compuestos heteropolares, allá por 1920, la flotación por aceite cayó rápidamente en desuso. En consecuencia, esta breve discusión de la acción del colector se circunscribe a los colectores “químicos” usados en la actualidad

La acción del colector de flotación ha sido tema de investigación más profunda que cualquier otra fase del proceso de flotación, y como resultado de ella queda poca duda en lo que respecta a la orientación hacia fuera de la parte hidrocarbonada de la molécula del colector. Sin embargo, a pesar del conocimiento de la orientación, el verdadero mecanismo de la adhesión del colector a la película del mineral sigue siendo el tópico de muchas polémicas.

La naturaleza de las fuerzas atrayentes entre la porción polar del colector y la superficie del mineral ha sido el tema de numerosos trabajos, preparados por M.A. Cook, A.M. Gaudin, H. Hagihara, A.F. Targart, I. W. Wark y muchos otros. Las teorías propuestas incluyen la teoría química o de solubilidad y varias otras de adsorción, que comprenden la adición del colector como un ión, como una molécula, una monocapa y una multicapa. Investigaciones recientes empleando trazadores radiactivos y técnicas de difracción electrónica, han proporcionado información adicional al respecto. No obstante, hasta ahora ninguna teoría individual es aceptable en su totalidad. En la Fig.4 se observa un mecanismo de la adhesión de los xantatos.

La teoría química o de solubilidad tiene como postulado la formación de un compuesto metal orgánico en la superficie del mineral. Proviene de la observación de que cuanto los sulfuros de cobre y plomo se separan de los zinc por la flotación mediante xantatos, en la superficie de los dos primeros minerales se forman xantatos metálicos muy insolubles.

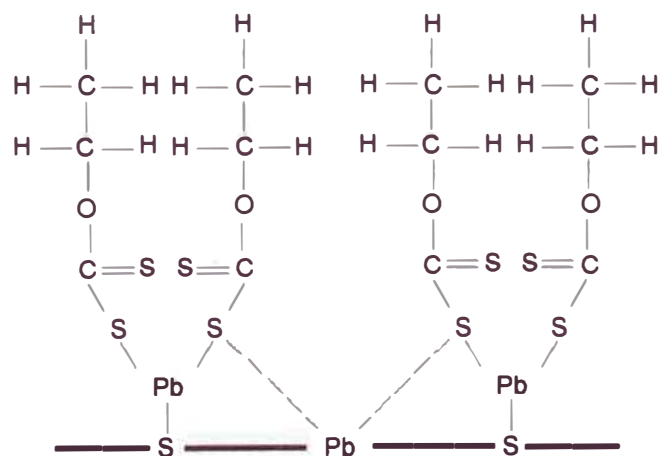


Fig. 4.- Se muestra la adhesión del xantato con el sulfuro de plomo.

Un análisis hecho recientemente de los datos de operación de una planta ha proporcionado información adicional sobre la adsorción de xantato en capas múltiples. En general se llegó a la conclusión de que el xantato es absorbido en un número impar (2n-1) de capas con el extremo no polar siempre orientado hacia fuera. De aquí que un exceso de xantatos sea un mero desperdicio, en lugar de servir como depresante, como se podría esperar si se formara un número par (2n) de capas. En la Tabla II se muestran los colectores y su fórmula estructural.

1.2.1 Colectores para minerales sulfurados.

TABLA II.- Se muestran los colectores y su formula estructural

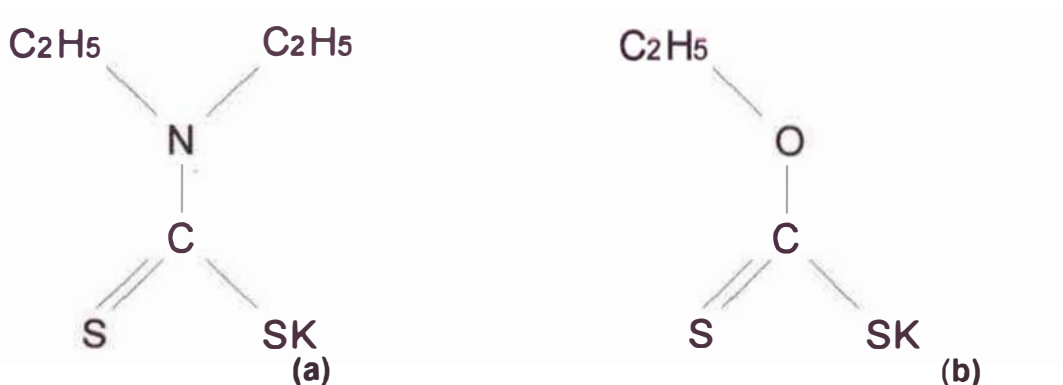
Colectores	Forma Estructural
Xantatos	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{ROC-SNa} \end{array}$
Tionocarbonatos	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{RHN-C-OR} \end{array}$
Ditiofosfatos	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{RO} \quad \text{PS Na} \\ \quad \quad / \quad \backslash \\ \quad \quad \text{RO} \end{array}$
Tiocarbanilida	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{H}_1\text{C}_0\text{HN-C-NHC}_2\text{H}_3 \end{array}$
Anhidrosulfuros Catiónico	$\begin{array}{c} \text{S} \quad \text{S} \\ \quad \\ \text{ROC} \quad \text{S-COR} \end{array}$

1.2.2 Tipos de Colector.

Se notará que todos los colectores aniónicos comúnmente empleados para los minerales sulfurados, son bastante similares entre sí en cuanto a su estructura, teniendo cada uno de ellos un solo átomo de azufre doblemente ligado a un átomo ya sea de carbono o de fósforo. Debido a esta similitud, substancialmente todos los minerales sulfurados pueden

ser flotados, con grados variables de éxito, por medio de cualquiera de todos los colectores sulfhídricos.

Como colectores de flotación se han probado también otros compuestos similares y ocasionalmente se agregan nuevos reactivos a la lista. Sin embargo, puesto que todos trabajan de la misma forma, la selección del colector adecuado dependerá del costo y efectividad relativa de uno de varios compuestos más bien que de su modo de acción. En la fig. 5 se muestra los colectores para minerales sulfurados a) Tionocarbamato y b) Xantato.



Se entiende por colectores a los compuestos químicos cuyo anión tiene una estructura integrada por una parte polar y otra apolar. La parte polar del ión del colector queda adsorbida a la superficie, también polares, del mineral. Por el contrario, la parte apolar está orientada hacia la fase acuosa.

En nuestra clasificación nos atenemos al modo usual, consistente en distinguir entre colectores aniónicos y catiónicos, entendiendo, por ejemplo, por colector aniónico un reactivo cuyo anión, es decir, cuyo componente de carga negativa, queda adsorbido al mineral.

También existen colectores no aniónicos, que pueden ser tanto bipolares como absolutamente apolares.

a) Colectores aniónicos

En función de su grupo polar, los colectores aniónicos se dividen en sulfhidrónicos y oxhidrónicos.

Esta clasificación concuerda en amplio grado con su aplicación, es decir, los primeros resultan adecuados para minerales sulfurosos y los segundos para minerales no sulfurosos.

b) Colectores sulfhidrónicos

Forman parte de este grupo todas las sustancias que tienen como mínimo un átomo de azufre en la parte polar de un anión. Ello les confiere una gran afinidad respecto a todos los minerales sulfurosos, los cuales, por consiguiente, pueden separarse de manera muy selectiva de los restantes de la ganga. Dentro de este grupo figuran las líneas de Xantatos y Ditiófosfatos.

c) Xantatos.

La palabra XANTATO proviene del vocablo griego "XANTOS", que significa amarillo, y se refiere al color de la sal de cobre.

Los Xantatos se encuentran entre los primeros colectores orgánicos solubles en agua. Están reconocidos que combinados con circuitos de pulpa alcalina, han desempeñado un importante papel en el desarrollo de la flotación selectiva como la conocemos en la actualidad.

La gran eficiencia colectora y los bajos costos de los xantatos han hecho que sean tomados como norma de comparación entre los colectores para minerales sulfurados.

- **Características de los xantatos.**

Los Xantatos, usados como reactivos para la flotación, son sales de sodio o potasio de ácido xántico (o ditiocarbónico) . En la Fig. 6 se muestra la fórmula estructural del xantato donde R es un radical alquílico y X un metal alcalino.

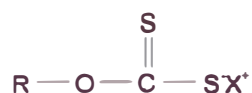


Fig. 6.- Se muestra la fórmula estructural del xantato en general

Los Xantatos son completamente solubles en agua, y relativamente estables, normalmente presentan un olor característico y su color puede fluctuar desde blanquecino hasta amarillo profundo, sin alteración de sus propiedades colectoras.

Por regla general, no se recomienda almacenarlos por lapsos mayores de un año, procurando mantenerlos herméticamente cerrados en un lugar fresco y seco.

Los Xantatos conforman el principal grupo de colectores sulfhidrúlicos. Bajo condiciones favorables, son promotores excelentes para todos los minerales sulfurosos. En ausencia de agentes modificadores, su acción es esencialmente no selectiva.

Se les utiliza, incluso, en la flotación de minerales no férricos no sulfurosos (Cu, Pb, Sb), que pueden convertirse superficialmente en sulfuros, mediante agentes sulfurizantes, como el Sulfuro de Sodio y Sulfuro ácido de Sodio.

También resultan adecuados para la flotación de metales nobles y no férricos (Pt, Au, Ag, Cu) naturales y obtenidos metalúrgicamente.

Para la elección definitiva del Xantato más idóneo para un mineral determinado, debe recurrirse a ensayos en el laboratorio y en la práctica.

- **Tipos de xantatos**

Xantato Isopropílico de Sodio: Z.11

Este xantato ha llegado a ser el más ampliamente usado de todos los xantatos debido a su bajo costo y elevado poder colector. Generalmente es un poco más lento que los xantatos de etilo y a menudo puede sustituirse con una definida reducción en la cantidad y costo del colector requerido. Se han obtenido aplicaciones muy

exitosas en la flotación de prácticamente todos los minerales sulfurados.

Se emplea en gran escala en la flotación de cobre, plomo y zinc y minerales complejos de plomo - zinc y cobre - hierro, en los que los principales minerales sulfurados son calcopirita, calcocita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, pirita y pirrotita.

Otras de sus aplicaciones incluyen la concentración de cobre nativo, plata, oro y los sulfuros de hierro conteniendo cobalto o níquel, así como la recuperación de pirita de hierro para manufacturar ácido.

Xantato Amílico de Potasio Z.6

Este xantato es muy potente, por lo que se emplea generalmente en aquellas operaciones de flotación que requieren el más alto grado de poder colector.

Es un colector muy apropiado para la flotación de sulfuros sucios y oxidados de cobre, minerales de plomo (con Na_2S). Asimismo, se le emplea en el tratamiento de la arsenopirita, pirrotita, sulfuros de cobalto y níquel, y sulfuros de hierro conteniendo oro.

Cuando se emplea en las dosis adecuadas, el Xantato Amílico puede ser más selectivo para ciertas separaciones minerales.

Así por ejemplo, su empleo para la flotación de minerales de cobre - hierro en una pulpa alcalina con cal ha resultado en una selectividad superior de cobre - hierro, así como una mejor recuperación de cobre.

Xantato Etilico de Potasio Z.3

Xantato Etilico de Sodio Z.4

Estos dos xantatos son esencialmente similares en su acción como colectores en flotación, observándose cierta preferencia por el primero. Ambos se preparan a partir del alcohol etílico y siendo ellos de cadena carbonada más corta, se les aplica especialmente cuando se busca la máxima selectividad.

Últimamente están siendo reemplazados ampliamente por el xantato isopropílico de sodio, aunque todavía se les utiliza principalmente en flotación de minerales de plomo - zinc o cobre - plomo - zinc que

contiene calcopirita, calcocita, enargita, tetraedrita, galena, esfalerita, marmatita, marcasita y pirita.

Xantato Butílico Secundario de Sodio: 12

Este xantato es utilizado ampliamente en la flotación conjuntativa de todos los minerales sulfurosos y, bajo condiciones adecuadas, para la flotación selectiva de menas de cobre y zinc, después de la activación con sulfato de cobre.

También es usado en la flotación de arsenopirita y sulfuros de cobalto y níquel.

Xantato Isobutílico de Sodio: Z.14

Esta Xantato es un promotor muy enérgico y no - selectivo para todos los minerales sulfurosos.

Es muy apropiado para la flotación de pirita en circuitos naturales, o sea los circuitos en los que el pH no ha sido ajustado con cal ni con ácido.

En años recientes viene siendo reemplazado por el xantato isopropílico de sodio.

- **Aplicaciones.**

Los xantatos RENASA se adaptan a la flotación de prácticamente todos los minerales sulfurosos y los elementos metálicos tales como: cobre, plata y oro, así como un buen número de metales oxidados de cobre y plomo.

La flotación generalmente se lleva a cabo en una pulpa alcalina, aunque en algunos casos suelen usarse pulpas ligeramente ácidas. Los xantatos tienden a descomponerse en soluciones con un pH inferior a 6.0.

Los xantatos son sustancialmente no espumantes y, por lo tanto, pueden emplearse en cualquier cantidad necesaria, sin el riesgo de espumación excesiva.

Puesto que son fácil y completamente solubles en agua, los xantatos pueden alimentarse en cualquier concentración deseada. Generalmente se usan soluciones al 5 y 10%, pero a veces pueden ser

ventajosas mayores dosis en aquellas plantas que usan grandes cantidades de colector. Las soluciones de xantatos, al igual que todos los demás agentes de flotación, deben agregarse a una velocidad constante.

Las personas que manejan físicamente los xantatos o las soluciones de estos, deben tomar ciertas precauciones. Debe evitarse la llama viva o el fuego. Los xantatos en sí arden en forma similar al azufre puesto que los xantatos y algunos de los productos de descomposición son combustibles.

Algunas personas son alérgicas al xantato, se les desarrolla una irritación en la piel cuando llegan a tener contacto con la solución, por lo que se les recomienda lavarse aquellas partes de la piel que hayan quedado en contacto con los xantatos.

Deben almacenarse en un lugar fresco y seco, preferentemente aislados del calor y la luz solar.

En términos generales, los xantatos deben manejarse con el mismo grado de precaución que se aconseja con otros productos químicos orgánicos normalmente empleados en las plantas de flotación.

d) Ditiofosfatos.

Los ditiofosfatos son compuestos químicos de clase sulfhídrica, que se emplean en minería como promotores para la separación de minerales sulfurosos y metálicos.

REACTIVOS NACIONALES SA., RENASA, elabora los DITIOFOSFATOS con la licencia de American Cyanamid, quien los comercializa con el nombre de AEROFLOATS.

Los ditiofosfatos son básicamente ácidos aril-ditiofosfóricos y sales del ácido alquilo-ditiofosfórico.

La estructura de estos compuestos puede ser presentada con la fórmula que se muestra en la Fig 7. En la Fig. 7 se muestra la estructura de los ditiofosfatos, siendo R un radical hidrocarburo aromático o alifático y X un átomo de hidrógeno, metal alcalino o ión amonio.

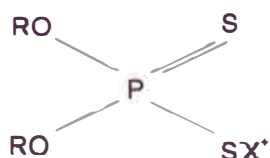


Fig. 7.-En la figura se muestra la estructura de los ditiofosfatos.

Estos compuestos son solubles en agua y forman sales relativamente solubles con los metales pesados. Presentan un olor débil a sulfuro de hidrógeno y buena solubilidad en soluciones acuosas de álcali y en solventes orgánicos. En medio acuoso y alcohólico se titulan como ácidos fuertes.

Han sido publicados pocos datos a cerca del mecanismo de la acción colectora de los ditiofosfatos durante la flotación de sulfuros. Generalmente se identifica la acción de los ditiofosfatos con la xantatos; aunque es bien conocida en la práctica que los ditiofosfatos como colectores se diferencian considerablemente de los xantatos, revelando por ejemplo, una acción selectiva en varios sulfuros en presencia de la pirita.

Ha sido investigado, por ejemplo, el mecanismo de hidrofobización con ditiofosfatos de tres de los minerales más importantes en la industria: la calcopirita, la pirita y la molibdenita, estableciéndose experimentalmente que el papel principal en la formación del cubrimiento hidrófobo en la calcopirita y la pirita pertenece a las reacciones de oxidación - reducción del ditiofosfato con los iones de cobre y hierro en la solución y la superficie del mineral.

El mecanismo básico en la conversión del ditiofosfato en disulfuro durante el contacto con la molibdenita está relacionado con la acción catalítica de la molibdenita en presencia del oxígeno del aire. Puesto que la adherencia de los colectores sulfhídricos en la molibdenita está relacionada con su oxidación, la diferencia en su adsorción debe determinarse por su capacidad de oxidación, o sea, depender de los potenciales de oxidación - reducción de los colectores; cuanto menor es el

potencial, tanto más activo debe ser el colector en relación a la molibdenita.

Los ditiofosfatos característicos por su elevada sensibilidad a los iones cobre en la pulpa y en la superficie de los minerales, no son colectores selectivos en presencia de iones cobre; incluso siendo elevados los valores del pH, los ditiofosfatos hacen flotar con suficiente actividad la pirita y no tiene lugar la selección esperada de la calcopirita y la molibdenita de la pirita. Durante la flotación de menas piríticas con ditiofosfatos, el aumento de la selectividad del proceso puede ser logrado pasando los iones cobre en la pulpa en compuestos poco solubles o complejos, lavando (espesando) la pulpa antes de la flotación de minerales de cobre de la pirita, como también mediante la flotación con un aireación reducida.

- **Tipos de ditiofosfatos**

Ditiofosfato AR-125,	(Aerofloat 25)
Ditiofosfato AR-131,	(Aerofloat 31)
Ditiofosfato AR-133,	(Aerofloat 33)
Ditiofosfato AR-1208,	(Aerofloat 208)
Ditiofosfato AR-1211,	(Aerofloat 211)
Ditiofosfato AR-1238,	(Aerofloat 238)
Ditiofosfato AR-1242,	(Aerofloat 242)
Ditiofosfato AR-1404,	(Aerofloat 404)
Sodium Ditiofosfato,	(Sodium Aerofloat)

- **Características de los ditiofosfatos.**

Los ditiofosfatos AR-125, AR-131, AR-133 y AA 1242 son, básicamente, ácidos aril-ditiofosfóricos. Estos colectores presentan propiedades espumantes cuya intensidad decrece en el orden en que se anota: AR-125, AR-133 y AR-1242. El ditiofosfato AR-1242 posee propiedades espumantes muy débiles. Presentan un color café oscuro-negro.

El AR-125 es de uso general como promotor selectivo para la flotación de sulfuros y combina propiedades tanto promotoras como

espumantes. El AR-131 y AR-133 poseen características físicas esencialmente similares al AR-125, pero son colectores más enérgicos.

El AR-1242 es un promotor fuerte, soluble en agua y con ligeras características espumantes; es especialmente útil cuando se necesita un promotor selectivo, rápido y activo, y cuando no es posible acondicionar el promotor con la pulpa.

Debido a su solubilidad limitada en agua, los ditiofosfatos AR-125, AR-131 y AR-133 deben ser alimentados en su forma original. Pueden ser mezclados entre sí en todas las combinaciones, y también con ácido cresílico en el caso de necesitarse un espumante adicional. Debido a su solubilidad parcial en el agua, se obtiene mejores resultados, añadiéndolas a un acondicionador o al molino de bolas, de modo que estén completamente acondicionados con la pulpa antes de que ésta entre a las celdas de flotación. En aquellos casos en que se requieran cantidades de colector extremadamente pequeñas, se puede preparar una emulsión mecánica del colector antes de alimentarlo al circuito de flotación.

Los ditiofosfatos AR-1208, AR1211, AR-1238 y sodium, presentan una apariencia similar, aunque difieren en su composición química.

Son prácticamente no espumantes y solubles en agua.

Se emplean extensamente en la flotación de menas de cobre-plomo-zinc, donde hace falta una acción rápida combinada con selectividad respecto a sulfuros de hierro y/o zinc.

- **Usos y aplicaciones de los ditiofosfatos.**

- **Ditiofosfato AR-125**

- El ditiofosfato AR-125, es ampliamente usado como un promotor efectivo para minerales sulfurosos de plata, cobre, plomo y zinc,

- Generalmente no flotan fácilmente los minerales sulfurosos de hierro en un circuito alcalino.

- En un circuito ácido o neutro es un promotor-espumante fuerte y no selectivo para todos los sulfuros.

Algunas investigaciones han demostrado que igualmente es útil en la recuperación de sulfuros de cobre, plomo y zinc muy finamente molidos.

Asimismo, se le ha encontrado aplicación en la flotación de arena para vidrio, donde su principal función es la de estabilizar la espuma.

Ditiofosfato AR-131

El ditiofosfato AR-131, combinado con el ditiofosfato AR-125, se emplea principalmente en la flotación de sulfuros de plomo y plata.

Es también muy adecuado para la flotación de menas oxidadas de oro y menas de sulfuro de cobre argentífero.

Los ditiofosfatos AR-131 y AR-1242 son los mejores promotores para los minerales de plata.

Ditiofosfatos AR-133

El promotor ditiofosfato AR-133 se usa principalmente en la flotación de galena. También se usa como colector de oro y cobre metálicos, así como sulfuro de cobre.

Es ligeramente más fuerte y menos selectivo que el promotor ditiofosfato AR-131.

Promueve la flotación de partículas de minerales no liberados así como partículas gruesas de sulfuros liberados.

Ditiofosfato AR-1242

El promotor ditiofosfato AR-1242 es el más selectivo de los promotores ditiofosfatos líquidos y es una forma soluble en agua del promotor ditiofosfato AR-131.

Es un promotor fuerte y ha encontrado gran aceptación particularmente en la flotación de sulfuro de plomo y cobre, en presencia de sulfuros de esfalerita y hierro, donde la selectividad hacia estos últimos sulfuros representa un problema serio.

Es un promotor de acción rápida y muy adecuado para la alimentación por etapas en los circuitos de flotación.

En algunos casos se ha usado como promotor en la flotación de sulfuros de zinc.

Además de combinación con otros promotores, ha producido excelentes resultados en la flotación de menas de oro.

NOTA: Al preparar soluciones acuosas de este reactivo, el procedimiento adecuado es añadir agua al ditiofosfato AR-1242.

En ningún caso deberá permitirse que la concentración de la solución descienda a menos de 10% antes de alimentarse al circuito.

Ditiofosfato de Sodio

Este promotor ha sido ampliamente aceptado en la flotación de zinc, particularmente cuando se desea selectividad con respecto la pirita u otros sulfuros de hierro.

El ditiofosfato de sodio es un colector eficaz y selectivo de zinc.

También se emplea extensamente en la flotación de minerales sulfurosos de cobre, especialmente ante la presencia de pirita, a la que no promueve activamente.

El ditiofosfato de sodio no es colector de galena.

La mayor aplicación de este promotor se encuentra en la flotación de menas de oro, plata y cobre. Es uno de los mejores promotores desarrollados para metálicos tales como el oro, cobre y plata. Este reactivo, con frecuencia combinado con el Xantato Butílico Secundario de Sodio, es un promotor ideal para menas de oro, y se emplea extensamente con este propósito.

Similarmente también se usa extensamente en la flotación de esfalerita y la flotación de marmatita, donde es importante la selectividad hacia la pirita.

Algunos investigadores y operadores manifiestan haber logrado mejor recuperación de esfalerita lamosa con el promotor ditiofosfato AR-1211.

Ditiofosfato AR-1238

Este reactivo se asemeja al ditiofosfato AR-1208 y, por lo tanto, es un colector eficaz para el oro y para menas con sulfuros de plata, cobre y zinc. No es un buen colector de galena y, al igual que los otros ditiofosfatos, tiene considerable selectividad con respecto a la pirita en circuito alcalino. Este reactivo es un promotor excelente para sulfuro de cobre y es especialmente útil en la flotación de chalcopirita en presencia de pirita cuando se desea la selectividad.

Promotor AR-1404

Este promotor se desarrolló originalmente para la flotación de carbonato de plomo sin el empleo de un agente sulfurizante.

Desde entonces, ha sido usado extensamente en la flotación de minerales oxidados de cobre después de sulfuración. Este promotor se usa también como colector secundario conjuntamente con xantatos y ditiofosfatos, en la flotación de minerales sulfurosos de cobre, plomo y zinc.

Recientemente, este promotor se ha usado con todo éxito en la flotación de pirita en circuitos ácidos con pH de 4 a 6, probando ser muy eficaz. Por lo tanto, este colector se considera como un promotor excelente para flotación de pirita aurífera.

Se recomienda el promotor AR-1404 para operaciones de flotación en el tratamiento de menas de oro-plata, solo o en combinación con los ditiofosfatos AR-1242 o AR-131. Este colector tiene bajas propiedades espumantes.

1.3 Espumantes

El propósito principal del espumante es la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta que puedan ser removidas de la máquina de flotación. Este objetivo se logra impartiendo cierta dureza temporal a la película que cubre la burbuja. De esta manera se prolonga la vida de la burbuja individual hasta que pueda estabilizarse por la adherencia de partículas minerales, y juntarse con otras burbujas en la superficie de la

pulpa para formar una espuma. Sin embargo, una vez sacada de la máquina de flotación, la espuma debe romperse rápidamente, a fin de evitar la interferencia con las subsecuentes operaciones del proceso.

La propiedad de reducir la tensión superficial del agua es una característica de todos los espumantes. Puesto que la mayor parte de los compuestos orgánicos pueden lograr esto, por lo menos hasta cierto grado, el número de espumantes con que podría contarse comercialmente sería considerable. Sin embargo debido a que un espumante debe también ser de costo bajo y fácilmente disponible, efectivo en concentraciones pequeñas y esencialmente libres de propiedades colectoras, sólo unos cuantos materiales han sido encontrados adecuados. Estos son los que se discuten a continuación.

1.3.1 Tipos de espumantes.

Todos los espumantes actualmente en uso son compuestos orgánicos heteropolares. El radical orgánico no polar, como el de la molécula colectoras de flotación, repele al agua, mientras que la porción polar la atrae. Hace pocos años, la porción polar de casi todos los espumantes comerciales era un grupo hidroxilo OH^- y el grupo hidrocarburo (no-polar) contenía 5-10 átomos de carbono. Estos espumantes incluían.

Alcohol amilico	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$
Cresol	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ en ácido cresílico
Terpeneol	$\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{OH}$ en aceite de pino

En compuestos de esta naturaleza se obtiene el equilibrio de las moléculas ocurren en las paredes de la burbuja con el extremo polar adhiriéndose a la fase agua y el extremo no polar orientado hacia la fase gas. Por lo tanto, las moléculas espumantes se concentran en la interfaz de aire-líquido, tal como se muestra esquemáticamente en la Fig 8.

La Fig. 8. muestra la distribución de las moléculas de espumante en la capa superficial del agua, proporciona a esa zona la elasticidad requerida

para ayudar a las burbujas ascendentes a irrumpir a través de la capa superior del agua y emerger de la interfaz aire-agua intactas y enteras.

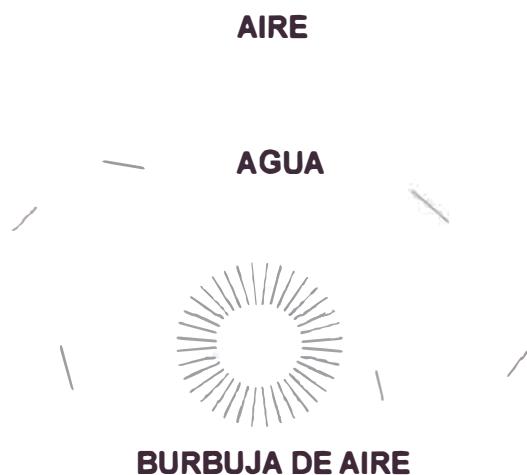


Fig. 8.- En la figura se muestra la molécula de espumante en la capa superficial del agua

Si un compuesto posee muy limitada solubilidad en agua, tenderá a concentrarse como una película molecular en la superficie y no habrá suficientes moléculas en la capa superficial para proporcionar la elasticidad deseada.

Antes del desarrollo del espumante de flotación DOWFROTH 250, se creía que si un compuesto poseía una solubilidad demasiado grande en el agua podría dispersarse por todo el volumen del agua y no llegaría a concentrarse cerca de la interfaz aire-líquido, como se requiere.

Sin embargo, aún cuando la mayoría de las teorías sobre la espuma aceptaron esa premisa, su falacia quedó demostrada en 1951 cuando The Dow Chemical Company introdujo un espumante completamente soluble en agua llamado DOWFROTH 250. Este producto un éter-glicólico del polipropileno- no es solamente un espumante extremadamente selectivo, sino que también es efectivo a la mitad o cuarta parte de la concentración requerida de aceite de pino u otros agentes espumantes establecidos.

Es evidente la necesidad de modificar la teoría espumante generalmente aceptada. La porción no polar de la molécula de DOWFROTH 250 es única en el sentido de que además de los usuales átomos de carbono e hidrógeno, contienen átomos hidrofílicos de oxígeno. Aparentemente, el

número y situación de los átomos de oxígeno es tal, que ayuda a solubilizar esta porción no polar de la molécula. Este concepto contempla que muchas de las moléculas se encuentran en una posición horizontal, más que perpendicular, en una interfaz aire-líquido, y explica las bajas concentraciones requeridas para producir una espuma estable. La extensión de esta idea de átomos hidrofílicos de oxígeno en la porción no polar de las moléculas espumantes, explicarán la aumentada selectividad debido a una menor interacción con las moléculas colectoras polares y con las superficies reales de los minerales.

La cantidad de espumante requerida en la flotación de minerales sulfurados es generalmente inferior a 0.15 libras por tonelada de mineral; existiendo una planta que opera con sólo 0.015 libra por tonelada. El control de la cantidad de espumante generalmente no es tan crítico como el del colector. Sin embargo, la selección del espumante adecuado puede ser importante en extremo. La calidad del espumante depende a menudo de otros factores que el espumante en sí y no hay ningún compuesto que por si solo sea el mejor para todas las aplicaciones. Generalmente, el espumante adecuado puede determinarse sólo por los resultados de los experimentos de laboratorio, comprobados después con pruebas en la planta.

Los reactivos espumantes, en la flotación de minerales, actúan adsorbiéndose tanto en el límite aire-agua como en el límite mineral-agua de la interfase triple Aire Agua-Agua-Mineral.

La adsorción del espumante en el límite agua-aire determina las características sobre:

- La dispersión de las burbujas en la pulpa
- El tamaño de las burbujas en la espuma
- La velocidad de elevación de las burbujas dentro de la pulpa
- Las propiedades mecánico-estructurales de las burbujas

La adsorción de las moléculas de espumante en el límite mineral-agua ejerce influencia principalmente sobre la fuerza de adherencia de las partículas de mineral a las burbujas de la espuma y en sus propiedades de transporte de masa.

En el límite Agua-Aire está probado que las moléculas de espumante forman una capa hidratada junto a la superficie interfacial de la burbuja, la cual impide su adelgazamiento, las moléculas de espumante refuerzan las capas hidratadas superiores, adsorbidas debido a que el grupo hidrofílico de la molécula de espumante está orientado hacia la fase líquida e inactivamente con la molécula de agua, esta adsorción incrementa drásticamente la estabilidad de la burbuja pues cuanto más hidratadas estén las moléculas de espumante en su superficie, más lentamente se escurre el agua entre las superficies de adsorción y por tanto mas resistente y estable será la espuma.

En cuanto a la acción del espumante en el límite Agua-Mineral, desde 1954 J. Leja y Schulman y en 1988 Crozier y Klimpel describen la interacción de los complejos xantato-espumante sobre la superficie de los minerales sulfurados y proponen que el enlace entre el grupo alquil del espumante y el colector es similar a un enlace tipo puente de hidrógeno que se forma con el oxígeno de la molécula del colector que esta unida al grupo CS_2 (xantato); el complejo generado tiene una estabilidad tal que permite adherir fuertemente las partículas de mineral a las burbujas de aire, pasando a formar parte de los concentrados cuando las espumas cargadas de mineral valioso son removidas de las celdas de flotación.

Bajo éstos modernos conceptos de físico-química de superficies es que Reactivos Nacionales S.A. está manufacturando íntegramente reactivos espumantes, los mismos que actualmente están siendo usados en la minería nacional cada vez en mayor número de plantas concentradoras bajo el estricto criterio de calidad y performance metalúrgico y un menor consumo con la consiguiente ventaja económica para el usuario.

1.3.2 Tipos de espumantes en REACTIVOS NACIONALES S.A.

Espumante ER-300

Es un espumante tipo éter de glicol sus componentes principales son los éteres metílicos de propilen glycol (productos sintetizados por la industria petroquímica) de composición constante y con abastecimiento garantizado desde EEUU. Es eficiente en la flotación de minerales

polimetálicos Pb, Cu, Zn, Ag, siendo muy selectivo respecto a la pirita, completamente soluble en cualquier proporción estable en amplios rangos de pH.

Espumante ER-400

Otro espumante tipo éter de glycol, tiene propiedades más energéticas, siendo el consumo normalmente menores a los acostumbrados con otros espumantes. Es parcialmente soluble en agua (más de 25%), recomendable se use sin diluir, pero es completamente soluble en otros espumantes de este tipo, alcoholes pesados y aceite de pino. El rango de pH en operación es entre 3,5 a 13.0 . Usando para la flotación de minerales polimetálicos Pb-Cu-Zn y flotación de piritas auríferas.

Espumante ER-500

Está compuesto por poderosos agentes espumantes: polioles, éteres metílicos de propilen glycol y otros hidrocarburos de composición constante y abastecimiento permanente mediante la industria petroquímica. Es altamente estable en flotaciones polimetálica Pb- Zn-Fe con contenido variable de sales solubles en general.

Parcialmente soluble por lo que se recomienda usarlo puro. Su alta velocidad de difusión adecuada y estabilidad generan bajos consumos con la consiguiente ventaja.

Este espumante ha sido diseñado específicamente para la Planta Concentradora Paragsha de Centromín Perú.

1.4 Características de los reactivos de flotación

- Los colectores y espumantes se emplean generalmente en cantidades del orden de 0.5 a 1000 g/ton. Químicamente son clasificados como surfactantes, es decir, molécula de carácter doble, consistiendo de un grupo polar y un grupo no polar, El grupo polar posee un momento de dipolo permanente y representa la parte hidrofílica de la molécula, mientras que, el grupo no polar no posee dipolo permanente y representa la parte hidrofóbica de la molécula.

- Los modificadores son empleados en cantidades que generalmente varían entre 20 a 1000 g/ton.

Los surfactantes tienen dos papeles fundamentales en la flotación. Primero, se adsorben en la interfase sólido/líquido tornando hidrofóbica la superficie de los minerales, actuando como colectores. Segundo, influyen en la cinética de la adhesión burbuja/mineral, actuando como espumantes.

Los surfactantes más importantes en flotación son:

- Tio-compuestos, que actúan como colectores de sulfuros metálicos.
- Compuestos ionizables no-tio, que pueden actuar como colectores o espumantes y se utilizan en la flotación de minerales no sulfuros.
- Compuestos no iónicos, que actúan principalmente como espumantes.

En la Fig. 9 se muestra una molécula de: colector(a) y una molécula de espumante (b).

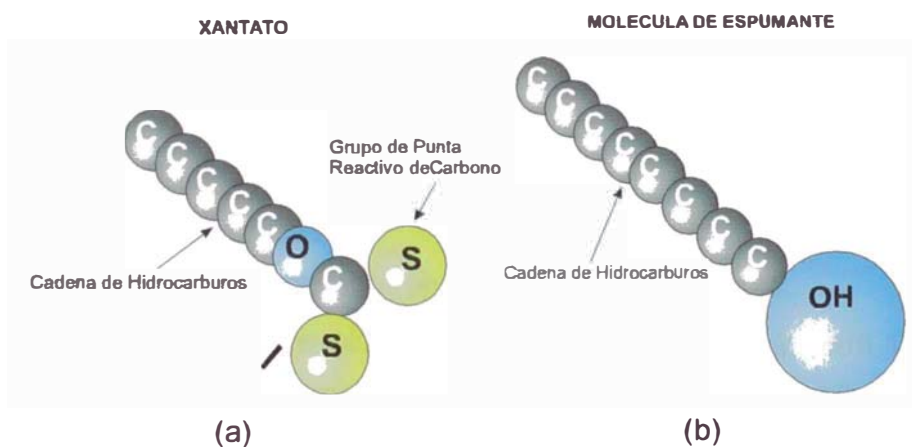


Fig.9.-En la figura de muestran: (a) colector y en (b) espumante

1.4.1 Tio-compuestos

El grupo polar del tío-compuesto contiene átomos de azufre no ligados al oxígeno. Los grupos no polares del reactivo tío-compuesto son generalmente radicales de hidrocarburos (cadena hidrocarburada) de cadena corta.

Entre los colectores del tipo tio-compuestos sobresalen los xantatos por ser de uso muy generalizado en la flotación de sulfuros. Algunos de estos xantatos son:

- Etil xantato de sodio, etil xantato de potasio, isopropil xantato de sodio, butil xantato de sodio, amil xantato de sodio, etc.
- Los tio-compuestos utilizados en flotación son:
- xantatos, ditiofosfatos, ditiocarbamatos, mercaptanos, mercaptobenzotiazol.

1.4.2 Compuestos no-iónicos

Los más importantes son:

- a) Alcoholes: R-OH.
- b) Eteres.
- c) Derivados polioxietilénicos de alcoholes, ácidos carboxílicos, aminas.
- d) Derivados polioxipropilénicos de alcoholes y grupos surfactantes.

Los espumantes comerciales más importantes son los siguientes: aceite de pino, ácido cresílico, alcoholes del tipo ROH (metilisobutilcarbonil, 2 etil hexanol, poliglicoles).

1.4.3 Agentes modificadores:

a) Agentes activadores

Sulfato de cobre: Activador en la flotación de esfalerita.

Nitrato o acetato de plomo: Activador de estibnita y para reactivar sulfuro de cobre depresado con cianuro. También son activadores de silicatos y carbonatos.

Sulfuro de sodio: Activador de minerales oxidados.

Sulfuro de hidrógeno: Para precipitar cobre en solución y permitir su recuperación.

b) Agentes depresores.

Algunos agentes depresores son los siguientes:

Cianuro de sodio: Es un fuerte depresor de pirita, pirrotita, marcasita y arsenopirita. Tiene un menor efecto depresor en calcopirita, enargita,

bornita, y en la mayoría de los minerales sulfuros, con la posible excepción de galena.

Cal: Es usada para depresar la pirita, así como otros sulfuros de hierro, galena y algunos minerales de cobre.

Sulfato de zinc: Se usa en conjunto con cianuro, o solo, para la depresión de esfalerita, mientras se flota plomo y minerales de cobre.

Permanganatos: Se usa para la depresión selectiva de pirrotita y arsenopirita en la presencia de pirita.

Ferrocianuro: Empleado en la depresión de sulfuros de cobre, en la separación cobre/molibdeno.

1.5 Tipos de minerales

1.5.1 Minerales de cobre.

Los minerales sulfurosos de cobre pueden ser clasificados de acuerdo a su composición mineralógica y a los distintos métodos de tratamiento recomendados para su beneficio por flotación con espuma.

a) Minerales sulfurosos de cobre.

Los sulfuros de cobre que predominan son la calcopirita, bornita, calcocita y novelita. La pirita es usualmente el principal mineral sulfuroso presente. La molibdenita puede estar presente en cantidades económicas y se encuentra diseminada a través de la ganga. Los minerales de óxido de cobre pueden estar presentes en cantidades menores y generalmente no responden bien al proceso de flotación de sulfuros.

El uso de un circuito alcalino es prácticamente universal en la flotación de minerales de cobre. La alcalinidad con cal es generalmente mantenida en rangos de pH entre 8.50 ó 12.0. Se prefiere el uso de la cal porque actúa como depresor para los sulfuros de hierro, los cuales virtualmente están siempre presentes. La alcalinidad con cal casi siempre influye en la estructura de la espuma y la flotabilidad de los minerales de cobre. Estas características se afectan adversamente bajo algún valor mínimo de pH, el cual varía de mineral a mineral. Si está presente oro metálico libre, el uso de la cal debe controlarse con

mucho cuidado, puesto que concentraciones excesivamente altas de cal tendrán un efecto depresor sobre el oro.

En un número limitado de operaciones, la flotación se lleva a cabo a un pH natural sin ningún agente regulador de pH o en circuitos ácidos. La selección de colectores es amplia y pueden ser restablecidos solamente por experimentación. Los mejores resultados metalúrgicos se obtienen usualmente con combinaciones de dos o más colectores de los grupos de Ditiofosfatos, xantatos y colectores oleaginosos.

La experiencia ha demostrado que el uso combinado de xantatos y ditiofosfatos o formulaciones de ditiofosfatos, frecuentemente producen recuperaciones y velocidades de flotación mayores y una mejor selectividad comparados con el uso de cualquier colectores grasos. Algunas de las combinaciones de colectores más exitosamente usados son el xantato isopropólico o amilico junto con los ditiofosfatos AR-1238 y AR-1404.

En el caso de minerales de cobre ligeramente oxidados o de empañamiento rápido, se usa comercialmente el promotor ditiofosfato AR-1404, junto con xantatos. Los mejores resultados metalúrgicos se obtienen usualmente con su adición a la molienda, o a una etapa de acondicionamiento muy largo, en cantidades de 5 g/ton a 50 g/ton.

b) Sulfuros de cobre en minerales nativos de sulfuros de hierro

Están usualmente diseminados finamente con pirita y pirrotita. Las asociaciones minerales íntimas requieren de molienda muy fina para una liberación adecuada a los minerales de cobre. Debe preferirse la flotación selectiva en lugar de la flotación «bulk» de todos los sulfuros, el concentrado «rougher» puede aún requerir de remolienda para lograr una liberación y leyes de concentrado satisfactorias.

La elección de colectores es similar a aquélla de los minerales de cobre, con la excepción de que se utilizan colectores más selectivos. Los ditiofosfatos con grupos alquilo corto son usados como el colector principal de minerales de esta naturaleza. Los promotores ditiofosfatos de sodio, AR-1211 y AR-1238 son los preferidos. Si es necesario,

pueden usarse pequeñas cantidades de xantato etílico o isopropílico como un colector auxiliar. Las adiciones de los colectores pueden ser en etapas para lograr mayor selectividad.

El control de la alcalinidad con cal, en rangos de pH entre 8.00-12.00 es típico para la depresión de sulfuros de hierro. En algunos casos puede lograr un incremento en la selectividad con el uso de dióxido de cobre, sulfitos alcalinos o permanganatos.

c) Sulfuros de cobre en depósitos tipo vetas.

Están en su mayoría mineralizados gruesamente y, por lo tanto, fáciles de liberar con la molienda. Estos responden bien a cualquiera de los colectores solubles en agua.

d) Minerales de óxido de cobre y cobre metálico.

Los carbonatos de cobre, malaquita y azurita y en una menor cantidad, la cuprita, son usualmente tratados por flotación. El enlamado de estos minerales durante la molienda es un problema y usualmente es la principal razón para las pérdidas de cobre.

La flotación con ácidos grasos ha sido abandonada hace tiempo y se ha favorecido la sulfuración de los minerales de óxidos de cobre, seguido por la flotación convencional. El Ditiófosfato AR-1404 ha mostrado ser un colector efectivo en las plantas que tratan minerales de óxido de cobre. Si estuvieran presentes minerales de sulfuros de cobre se recomienda el uso complementario de un Xantato.

El cobre metálico responde rápidamente a la flotación, preferentemente en circuito de baja alcalinidad. Los colectores recomendables son los ditiófosfatos AR-1208, AR-1238, AR-1242 y AR-1404.

e) Minerales de cobre – molibdeno

Muchas plantas en operaciones, donde pequeñas cantidades de molibdenita ocurre junta a los sulfuros de cobre, están recuperando la molibdenita del concentrado de cobre mediante diferentes procesos de

separación. Los principales procesos usados se describen a continuación:

El hidrosulfuro de sodio, sulfuro de sodio o sulfuro de amonio, se usan para deprimir los sulfuros de cobre, mientras la molibdenita se flota con un hidrocarburo. Una tendencia reciente sobre la separación de Cu-Mo ha sido dirigida hacia el uso de este proceso con Hidrosulfuro de sodio como el reactivo preferido. Se ha introducido el uso de nitrógeno en lugar de aire, para obtener la adhesión de la molibdenita con la burbuja de gas en algunas plantas.

El nitrógeno reduce la oxidación y el consumo de hidrosulfuro de sodio, haciendo más eficiente el proceso de separación. En las etapas finales de limpieza de molibdenita, algunas operaciones están usando cianuro para deprimir residuos de sulfuros de cobre. En algunos casos, el concentrado final de molibdenita puede tener que ser sometido aun tratamiento de lixiviación con cianuro o cloruro férrico para remover el cobre residual.

- Los reactivos de Nokes, los cuales son compuestos tiofosforicos o tioarsenicales están siendo ampliamente usados en la separación de molibdenita de cobre, causando la depresión de los minerales de cobre. En este proceso, el concentrado de cobre es tratado con el reactivo depresor para inhibir la flotación de sulfuros de cobre y hierro mientras que la molibdenita es flotada con un hidrocarburo y un espumante. La etapa final de limpieza usualmente requiere de la adición de cianuro de sodio.
- Los agentes oxidantes, tales como hipocloritos o permanganatos ha sido usados exitosamente, pero usualmente las etapas finales de mejoramiento de la ley de concentrado de la molibdenita requieren del uso adicional de ferrocianuro, cianuro de sodio o un complejo de zinc - cianuro.
- La combinación de hipoclorito y ferrocianuro de sodio está también en uso, así como también el uso de peróxido de hidrógeno en conjunción con el ferrocianuro de sodio.

- El proceso con vapor, en donde del concentrado «bulk» después del espesamiento se seca con vapor, a presiones atmosféricas o a presiones altas, para eliminar el colector de las partículas minerales, es seguido por una flotación usando ferrocianuro para la depresión adicional de los sulfuros de cobre, con un hidrocarburo liviano y un espumante base alcohol para la recuperación de la molibdenita.
- La tostación para la remoción de recubrimiento de colector y oxidación superficial de las superficies de los sulfuros de cobre. La tostación se practica en varias operaciones, pero también usualmente como una etapa intermedia del proceso donde otros medios de depresión de los sulfuros de cobre probaron ser difíciles o imposibles.

1.5.2 Minerales de plomo.

La galena es el mineral de plomo más común. Dependiendo del grado de oxidación, los minerales de plomo contienen significantes cantidades de cerusita y anglesita. Como la galena es una mineral suave y de alto peso específico, la formación de lamas es un problema debido a la sobre molienda de la galena. Para reducir este problema, en algunas operaciones se emplean celdas unitarias en el circuito de molienda, o etapas de molienda con etapas de flotación entre ellas.

La galena por lo general flota fácilmente y es recuperada con los promotores ditiofosfatos AR-125, AR-131, AR-1242 y xantato etílico o isopropílico. Los ditiofosfatos AR-125 y AR-131 se usan cuando sus características fuertes de espumación no son perjudiciales. Para una mejor dispersión es agregado a la molienda el ditiofosfato AR-1242 con propiedades débiles de espumación, generalmente es el colector preferido. En presencia de sulfuros de zinc y hierro, este colector es el más selectivo que los xantatos. Siendo el ditiofosfato AR-1242 soluble en agua, puede ser agregado por etapas para promover una mejor selectividad. Los ditiofosfatos AR-131 y AR-1242 son los colectores preferidos para la galena argentífera.

El ditiofosfato AR-1404, usado en pequeñas cantidades como promotor auxiliar, puede ayudar a la recuperación de galena parcialmente empañada, tiene la tendencia de promover sulfuros de zinc y, por lo tanto, debe ser usado con cuidado. Las dosificaciones generalmente son del orden de 2 g a 10 g/ton.

La galena flota rápidamente en la presencia de cianuro, y éste es requerida actualmente en algunos casos para activar la galena, probablemente debido a su acción limpiadora sobre las superficies de las partículas de galena. El cianuro se utiliza para efectuar una flotación de galena más selectiva en presencia de minerales de sulfuros de zinc y hierro.

Las mejores condiciones de flotación se obtienen en circuitos naturales o ligeramente alcalinos hasta un pH de 8.50. Es preferible el control de pH con cal y raramente con soda cáustica. Sin embargo, en muchas operaciones se usa cal sin detrimento en la recuperación de galena.

- **Minerales de plomo oxidados**

El grado de oxidación en los minerales de plomo puede extenderse de un ligero empañamiento de la galena a una oxidación completa. El óxido más común de los minerales de plomo es la cerusita, la anglesita y la plumbojarosita.

En el caso de galena empañada, el colector AR-1404 es efectivo, algunas veces con la adición anterior de pequeñas cantidades de sulfuro de sodio o hidrosulfuro de sodio. En los minerales donde los óxidos de plomo están presentes en cantidades apreciables, es práctica usual flotar los sulfuros de plomo primero. Luego, si se presentan, se flotan los sulfuros de zinc, seguidos por la flotación de los minerales de óxidos de plomo. Tanto el sulfuro de sodio o el hidrosulfuro de sodio se usan como agentes sulfurizantes. El colector AR-1404, en combinación con un xantato isopropílico o amílico, es el colector preferido para los minerales de óxidos de plomo. Es práctica común agregar el agente sulfurizante así como el colector en etapas a través de la flotación «rougher» de los óxidos de plomo. La

dosificación del agente sulfurizante es variable, usualmente es entre 500 g/ton a 2500 g/ton.

1.5.3 Minerales de zinc

Los minerales de sulfuro de zinc más comunes, la esfalerita y la marmatita, raramente flotan bien sin una preactivación con sulfato de cobre. El sulfato de cobre se agrega a una etapa de acondicionamiento, usualmente en el mismo tiempo o después de la adición de cal. El tiempo de acondicionamiento óptimo varía con diferentes minerales. La absorción del ión cobre tendrá lugar sobre las superficies de los minerales de zinc, las cuales luego se comportan como los minerales de cobre correspondientes. Algunas plantas han encontrado que el orden de adición de cal y el sulfato de cobre influenciarán los resultados de la flotación. Los minerales de zinc generalmente ocurren en presencia de la pirita. Por lo tanto, con objeto de obtener el grado de concentrado más alto y más económico, es importante el uso de colectores selectivos o combinación de colectores. La activación de la pirita puede llevarse a cabo durante la etapa de acondicionamiento con sulfato de cobre. Si esta tendencia existe, usualmente puede ser contrarrestada con la adición de cal para ayudar a subir el pH y deprimir la pirita. Es, por lo tanto, una práctica común flotar los sulfuros de zinc a niveles de pH de cerca de 8.50 a tan alto como 12.00. La limpieza de los concentrados de zinc es generalmente llevada a cabo a niveles de pH que exceden de 10.00.

Generalmente el uso de un ditiofosfato como colector principal, con algo de xantato como un colector auxiliar, proporciona una recuperación con la selectividad deseada. Se recomienda que la adición de tales combinaciones de colectores sea conjunta, en una o más etapas como sea requerido.

Los promotores más ampliamente usados en la flotación de zinc son los ditiofosfatos de sodio y AR-1211, asimismo el ditiofosfato AR-1242 debe ser incluido en cualquier investigación de flotación de sulfuros de zinc.

- **Minerales de zinc oxidados**

Los minerales de zinc oxidados se presentan con sulfuros de plomo y sus óxidos. La técnica más ampliamente aceptada para la flotación de minerales de óxidos de zinc implica el uso de sulfuro de sodio y una amina, para recuperar tanto los minerales de carbonato de zinc como los de silicato de zinc.

Como la mayoría de los minerales de óxidos de zinc ocurren en mezclas de minerales óxido - sulfuro de plomo y zinc, el procedimiento consiste en la flotación de los sulfuros de plomo y zinc, luego los óxidos de plomo y finalmente los minerales de óxidos de zinc.

La alimentación al circuito de flotación de los óxidos de zinc requiere de un deslamado cuidadoso anterior a la flotación, y luego se flota con cantidades relativamente grandes de agentes sulfurizantes y de un colector catiónico, con la adición de espumante como se requiera. Originalmente los investigadores reportan los mejores resultados a niveles de pH entre 10.50 y 11.00, sin embargo, algunos minerales responden bien al proceso a niveles menores de pH. El consumo de reactivos es usualmente del orden de 100 g/ton a 7500 g/ton de sulfuro de sodio o hidrosulfuro de sodio y 50 g/ton a 300 g/ton de colector catiónico. La soda y el silicato de sodio pueden ser usados para mejorar la flotación.

Un proceso menos común es aquél en el cual se utilizarán grandes cantidades de xantato amílico junto a sulfuro de sodio. En este proceso es necesario el deslamado antes de la flotación de óxido de zinc. En este último proceso se debe considerar la evaluación de ditiofosfato AR-1404.

1.5.4 Minerales de plomo – zinc

La Mayoría de los minerales de plomo-zinc pueden ser clasificados como minerales complejos y los problemas de recuperación aumentarán con el grado de diseminación de los minerales. La presencia de grandes cantidades de piritita incrementa el problema de recuperación y selectividad. Frecuentemente, los minerales de plomo - zinc contienen

pequeñas cantidades de minerales de cobre, también como de plata y oro. Cuando el oro libre está presente, el uso de cal como regulador de la alcalinidad en el circuito de plomo puede ser perjudicial, porque puede tener efectos depresores sobre la recuperación de oro libre, también se ha notado que los minerales de zinc pueden ser activados con cal. Por lo tanto, el uso de Na_2CO_3 como el agente regular de pH en el circuito de plomo puede ser necesario.

La práctica general en el tratamiento de minerales de plomo - zinc es flotar el concentrado de plomo primero, mientras los minerales de zinc son deprimidos. Después de la flotación de plomo, los minerales de zinc son reactivados con sulfato de cobre y flotados selectivamente.

La depresión de los minerales de zinc y pirita en el circuito de flotación de plomo es usualmente logrado con cianuro, casi invariablemente en combinación de sulfato de zinc. La cantidad de sulfato de zinc es usualmente tres a cinco veces la cantidad de cianuro. Estos depresores son agregados al circuito de molienda antes de la flotación «rougher» de plomo y, si es necesario, en la cabeza del circuito de limpieza del plomo. Si el concentrado «rougher» de plomo es remolido antes de la limpieza, pueden agregarse depresores al molino de remolienda. Se ha incrementado el uso de sulfito de sodio o bisulfito como un depresor de los minerales de zinc en combinación con cianuro y sulfato de zinc. En algunos casos, es el único depresor usado. Cuando la plata y el oro están presentes, es preferible premezclar el sulfato de zinc u óxido de zinc con el cianuro para formar un complejo de zinc y cianuro con el objeto de prevenir la disolución del oro y la plata. Una relación de 2:3 de zinc y cianuro de sodio se utiliza para la preparación del complejo de zinc y cianuro.

Cuando los sulfuros de zinc tiendan a flotar debido a una ligera preactivación, se pueden obtener mejores resultados con el uso del ditiofosfato AR-1242 debido a su alto grado de selectividad en contra de los minerales de zinc. Si persiste la activación de zinc un examen microscópico explicará disposiciones finas de calco pirita en esfalerita.

Varias plantas recuperan concentrado de pirita después de la flotación de los minerales de plomo y zinc. Esto se efectúa usualmente por la adición de ácido sulfúrico al circuito de colas de zinc para bajar el pH a valores entre 7.00 y 8.50. La pirita se flota con xantato isobutílico o amílico, o el ditiofosfato AR-1404.

Es también posible flotar la pirita con xantato amílico, sin ajustes del pH. La adición de pequeñas cantidades de sulfato de cobre puede ayudar a la reactivación de pirita. Debe considerarse el cicloneo de las colas de circuito de zinc para eliminar el exceso de cal libre, luego repulpar con agua fresca y flotar con xantato. Esto puede eliminar la necesidad de agregar el ácido sulfúrico o el sulfato de cobre.

1.5.5 Minerales de cobre - plomo – zinc

El tratamiento de estos minerales sigue una metodología que es muy similar a los minerales de plomo-zinc. Si la relación de Leyes en Pb/Cu es menor a 10 en el mineral de cabeza, justifica desde un punto de vista económico, la producción de concentrados separados de cobre, plomo, y zinc. Por lo tanto, la importancia de una flotación selectiva se hace evidente.

La práctica estándar en el tratamiento de estos minerales complejos es la depresión inicial selectiva de los minerales de zinc, usando uno de los métodos conocidos y flotar un concentrado “bulk” de cobre - plomo. Después de la flotación del concentrado de “bulk” los minerales de zinc son activados y flotados en la manera usual. El concentrado “bulk” de cobre - plomo, el cual puede requerir remolienda es luego separado en un concentrado de cobre y un concentrado de plomo en un circuito de separación. En la etapa de flotación “bulk de cobre - plomo, el uso de colectores muy selectivo es de gran importancia. Los ditiofosfatos AR-131 y AR-1242 son los colectores principalmente recomendados, algunas veces usados con xantatos etílico para máxima recuperación; así también, se recomienda el uso de pequeñas cantidades de ditiofosfato AR-1404.

1.5.6 Separación de cobre – plomo

La separación del cobre del plomo en un concentrado “bulk” con varias etapas de limpieza se efectúa por depresión del plomo y flotación del cobre o viceversa. La selección depende de la respuesta de los minerales ha ser separados, el tipo de los minerales de cobre y la abundancia relativa de los minerales de cobre y plomo.

1.5.7 Depresión de los minerales de plomo

Este procedimiento se prefiere usualmente cuando la cantidad de plomo en el concentrado «bulk» es más del doble que la cantidad de cobre.

Para la depresión de la galena, el uso de dicromato de sodio o potasio (usualmente cerca de 100 g/ton del concentrado “bulk”) agregándose justo antes del circuito de separación o a una etapa de acondicionamiento según se requiera. Pequeñas cantidades de un colector específico de cobre pueden necesitarse. El concentrado de cobre producidos se limpia, según se requiera, con pequeñas cantidades de dicromato de potasio.

Un segundo método para la depresión de galena es el tratamiento de la pulpa del concentrado «bulk» con SO_2 gaseoso en una torre de absorción o agregado a un acondicionador de acero inoxidable para dar un tiempo de acondicionamiento de hasta 5 minutos con un pH de cerca de 5.00. Pequeñas cantidades de almidón cáustico pueden ayudar a la depresión de la galena. Normalmente, pudiera requerirse un colector específico para cobre.

Un tercer método, rara vez usado para la depresión de galena, es la combinación de sulfato ferroso y almidón cáustico.

1.5.8 Depresión de los minerales de cobre

Cuando hay menos de dos partes de plomo por una parte de cobre en el concentrado «bulk», puede ser preferible deprimir los minerales de cobre con el objeto de hacer su separación de los minerales de plomo. Para la depresión de minerales de cobre, se usa el cianuro (usualmente de 250-500 g/ton del concentrado «bulk») o el complejo zinc-cianuro. En este proceso se prefiere un acondicionamiento corto con cianuro y puede ser

ventajosa la adición por etapas del cianuro. El concentrado de plomo usualmente se limpia cuando menos una vez con pequeñas cantidades de cianuro. Es deseable controlar el rango de pH entre 7.50 a 9.50 y se determina por experimentación.

Cuando se utiliza una separación directa con cianuro, pérdidas de metales preciosos y minerales de cobre secundarios pueden ocurrir por disolución. Estas pérdidas son grandemente eliminadas con el uso de complejo zinc - cianuro. Este complejo puede ser preparado en la planta mezclando los siguientes ingredientes en el tanque lleno a la mitad de su profundidad.

1. 100 kilos de sulfato de zinc grado técnico ($ZnSO_4 \cdot H_2O$ contenido 36.5 % de Zn) 645 kilos de óxido de zinc puro.
2. 55 kilos de cianuro de sodio.
3. 660-650 litros de agua

Se disuelve el sulfato de zinc, o se prepara la pulpa de óxido de zinc con agua. Si se usa sulfato de zinc, el pH de la solución debe ser elevado a cuando menos pH 8.00 usando cal, antes de efectuarse cualquier otra etapa. El cianuro es luego agregado al tanque (bajo agitación) y mezclado hasta que se disuelva. Si se ha usado el óxido de zinc, el tanque requerirá una agitación moderada para mantener los finos de óxido de zinc en suspensión. Durante la preparación de este reactivo, se debe tener una adecuada ventilación.

Algunos minerales de plomo con flotación lenta pueden permanecer en la colas de circuito «bulk» de cobre-plomo, llegando a flotar en el concentrado de zinc del «cleaner» deprimiendo el zinc con 100 a 2000 gr. de cianuro y sulfato de zinc por tonelada de concentración de zinc. El control de la alcalinidad será muy importante. Este tratamiento puede requerirse para producir concentrados de zinc apropiado para la fundición. Los métodos de separación indicados es obvio que no puede recomendarse como práctica estándar. Para cada operación debe hacerse una evaluación de la mineralogía, de la efectividad y economía de diversos métodos de separación basándose en estudios de laboratorio efectuados con mucho cuidado sobre muestras representativas

CAPÍTULO II

2.1 FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS COLECTORES EN RENASA

2.1.1 Ditiofosfatos

En el laboratorio de investigación y desarrollo de RENASA se preparan los ditiofosfatos en base a la siguiente reacción: reacción entre un alcohol y pentasulfuro de fósforo y luego la neutralización del ácido con hidróxido de sodio al 50%.

- i) Alcohol + Pentasulfuro de fósforo ----- Acido ditio + H₂S
- ii) Acido ditio + NaOH ----- Ditiofosfato + H₂O

En la primera parte se obtienen diversos tipos de ácidos utilizando para ello una variedad de alcoholes y por consiguiente una variedad de ditiofosfatos, en cada una de estas reacciones se llevan a cabo de acuerdo al punto de ebullición de los alcoholes respectivos aproximadamente, con una disminución de 10% sobre el punto de ebullición del alcohol respectivo y con un exceso del 10% en peso de la cantidad estequiométrica requerida para cada reacción en particular para la formación del ácido respectivo.

En la siguiente parte continua la neutralización del ácido con hidróxido de sodio al 50% y agregándole solventes para la neutralización con un exceso de hidróxido de sodio de hasta 20% hasta llevar al producto final a un pH entre 9.00- 11.00, teniendo en cuenta el aspecto físico del producto, como no tener precipitado y pasar a laboratorio de control de calidad, pero primero el producto es evaluado en laboratorio de investigación para realizar un seguimiento al reactivo mediante pruebas metalúrgicas de flotación.

Para ello se le compara con un reactivo que están utilizando en la minería al cual llamaremos reactivo Standard(STD) y todos los reactivos que formulamos en laboratorio lo comparamos contra este std, en las pruebas

de flotación se puede observar las recuperaciones de los sulfuros valiosos, para ello se preparan diversos ditiofosfatos.

Tenemos colectores específicos para plata que es la Tioocarbanilida y el Mercaptobenzotiazol y este último también se usa para cobre y plomo.

Para ello se estudió las solubilidades de estos dos compuestos insolubles en agua, determinando que son solubles en etyl cellosolve calentándolo a 70°C el solvente y agregando estos compuestos que son sólidos, manteniendo la temperatura de 70°C hasta disolución del sólido y luego dejando enfriar para añadir como solvente en la neutralización del ácido ditio.

Las solubilidades calculadas experimentalmente fueron de 19% en peso para el MBT y de 6% en peso para la Tioocarbanilida en etyl cellosolve.

A continuación se presentan los que mejores resultados han dado y que actualmente se vende en la empresa como son los colectores Pb, Ag, Zn, Cu y Fe y en otro grupo Cu, Fe y Mo y casi la mayoría de los minerales estudiados están agrupados de esta forma.

2.1.2 Formulación del Ditiofosfato ARG-315:



Procedimiento experimental:

En un balón de tres bocas se agrega el alcohol amilico previamente pesado con un exceso del 10% con respecto al valor estequiométrico de acuerdo a la reacción, se calienta hasta aproximadamente 90°C y se empieza a añadir de a poco pentasulfuro de fósforo requerido de acuerdo a la reacción en un lapso de dos horas luego se continua la reacción entre 120-125°C durante 4 horas.

Se deja enfriar éste ácido para su posterior neutralización con hidróxido de sodio al 50% en peso, para la neutralización se pesa primero la base y se le agrega la solución de MBT al 19% en peso en etyl cellosolve y a continuación se agrega poco a poco el ácido obtenido anteriormente

cuidando que la temperatura no exceda de 45°C hasta llegar a un pH entre 10-11.

Porcentajes requeridos para el ARG-315:

Acido ditio amilico	=	43.72%
NaOH al 50%	=	12.95%
Sol. de MBT al 19% en peso en etyl cell.	=	43.33%

2.1.3 Formulación del Ditiofosfato AR-3322:



Procedimiento experimental:

En un balón de tres bocas se agrega el alcohol amilico previamente pesado con un exceso del 10% con respecto al valor estequiométrico de acuerdo a la reacción, se calienta hasta aproximadamente 90°C y se empieza a añadir de a poco pentasulfuro de fósforo requerido de acuerdo a la reacción en un lapso de dos horas luego se continua la reacción entre 120-125°C durante 4 horas.

Se deja enfriar éste ácido para su posterior neutralización con hidróxido de sodio al 50% en peso, para la neutralización se pesa primero la base y se le agrega la cantidad requerida de aguarrás, se agrega todo el ácido y cuando ya está neutralizado se agrega el MIBC cuidando que la temperatura no exceda de 45°C hasta llegar a un pH entre 10-11.

Porcentajes requeridos para el AR-3322:

Acido ditio amilico	=	52.58%
NaOH(50%)	=	25.34
MIBC	=	11.04
Aguarrás	=	11.04

Como se puede observar así se pueden obtener muchos reactivos variando las cantidades de solventes de acuerdo a sus propiedades

colectoras y espumantes que tengan para determinados minerales que así lo requieran.

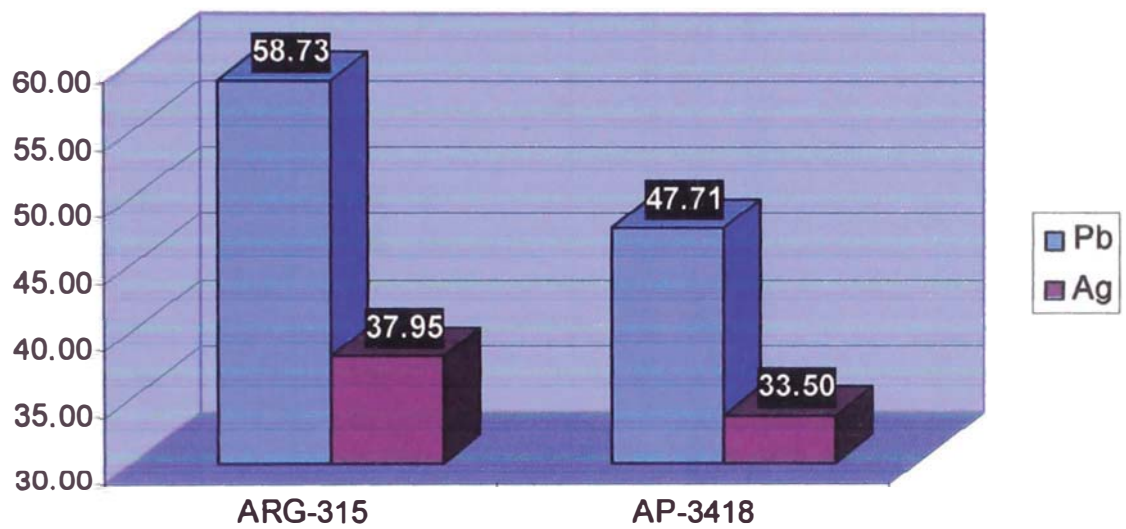
Se presentan las pruebas de evaluación metalúrgica para estos reactivos (colectores) en varios minerales que han sido estudiados.

BALANCE METALURGICO DE CHACUA

09/09/08		ENSAYES				CONT. METALICO				RECUPERACIONES					
		PESO	% PESO	Pb	Zn	Ag	Fe	Pb	Zn	Ag	Fe	Pb	Zn	Ag	Fe
Pb 1`	25	10,25	4,91	2,04	63,51	5,53	50,3	20,9	650,7	56,7	58,73	18,46	37,95	11,28	CH-22
RELAVE	219,0	89,75	0,39	1,03	11,85	4,96	35,3	92,3	1064,0	445,5	41,27	81,54	62,05	88,72	ARG-315
CAB.CALC.	244,0	100,00	0,9	1,1	17,1	5,0									09-sep
Pb 1`	18	7,32	5,44	1,91	79,32	5,09	39,8	14,0	580,4	37,3	47,71	12,01	33,50	6,43	CH-24
RELAVE	228,0	92,68	0,47	1,11	12,43	5,85	43,7	102,6	1152,2	542,2	52,29	87,99	66,50	93,57	AP-3418
CAB.CALC.	246,0	100,00	0,8	1,2	17,3	5,8									09-sep

En el Grafico 1 se observa la recuperación del ARG-315 en Pb (58.73%) y Ag (37.95%) VS el AP-3418(STD) en Pb (47.71%) y Ag (33.5%) con mejores recuperaciones en Pb y Ag para el ARG-315.

Grafico 1.- Se muestran las recuperaciones en Pb y Ag para los colectores ARG-315 y AP-3418.

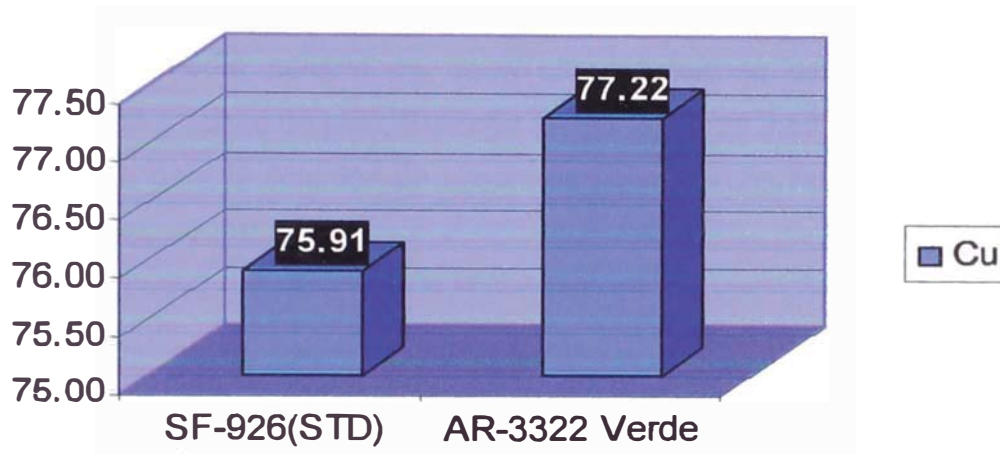


BALANCE METALÚRGICO DE CHUQUICAMATA

PRODUCTO	PESO	% PESO	ENSAYES QUÍMICOS		CONTENIDO METALICO		RECUPERACIONES		REACTIVO
			Cu	Fe	Cu	Fe	Cu	Fe	
Ro-I	96	8,1	7,82	9,81	63,4	79,5	75,91	62,25	CQ-115 SF-926(STD)
RELAVE	1088	91,9	0,219	0,525	20,1	48,2	24,09	37,75	
CAB.CALC.	1184	100,0	0,84	1,28					
Ro-I	93	7,9	8,25	9,71	65,0	76,5	77,22	60,50	CQ-116 AR-3322 Verde de planta
RELAVE	1088	92,1	0,208	0,542	19,2	49,9	22,78	39,50	
CAB.CALC.	1181	100,0	0,84	1,26					

Se presenta el balance metalúrgico de chuquicamata, que es un mineral de cobre en el cuál el reactivo std es el SF-926 y el reactivo de laboratorio es el AR-3322, las recuperaciones de cobre muestra al reactivo de laboratorio mejor que el std. En la Grafico 2 se muestra las recuperaciones en cobre del AR-3322(77.22%) y el SF-926(75.91%) en el cuál la muestra de laboratorio que es el AR-3322 es mejor que el std.

Grafico 2.- Se muestran las recuperaciones en cobre para los colectores AR-3322 y SF-926.



2.2 FORMULACIÓN DE ESPUMANTES EN REACTIVOS NACIONALES SA

Los espumantes se formulan a partir de mezclas de espumantes individuales puros en diversos porcentajes y de acuerdo a la fuerza de los espumantes y su selectividad se mezclan en cantidades apropiadas, manejando los costos de los reactivos que también interviene en el producto final para ser colocado a la venta después de su evaluación químico- metalúrgico.

2.2.1 Formula del Espumante ER-370:

Este reactivo es la mezcla de 70% de Butyl Cellosolve y 30% de polipropilenglicol.

Es un espumante tipo éter de glicol sus componentes principales son los éteres metílicos del propilenglicol (productos sintetizados por la industria petroquímica) de composición constante. Es eficiente en la flotación de minerales polimetálicos Pb, Cu, Zn y Ag, siendo muy selectivo respecto a la pirita, completamente soluble en cualquier proporción estable en amplios rangos de pH.

2.2.2 Formula del Espumante ER-400:

Este reactivo es la mezcla de 69.30% de Butyl Cellosolve, 29.70 % de polipropilenglicol y 1.00% de Aceite de pino.

Este espumante, tiene propiedades más enérgicas, siendo el consumo normalmente menores a los acostumbrados con otros espumantes. Es parcialmente soluble en agua, recomendable se use sin diluir, pero es completamente soluble en otros espumantes de este tipo, alcoholes pesados y aceite de pino. El rango de PH es entre 3.50 a 13.00.

Usando para la flotación de minerales polimetálicos Pb-Cu-Zn y flotación de piritas auríferas.

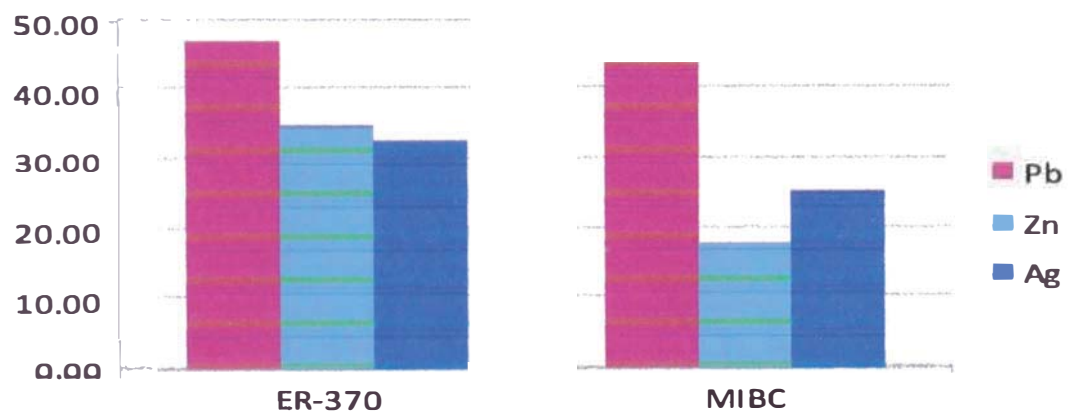
Se presenta el balance metalúrgico de Brocal que es un mineral polimetálico en el cual se observan los espumantes usados que es el ER-370 y el MIBC en el cuál las recuperaciones de Pb, Zn y Ag son mejores que el MIBC.

BALANCE METALÚRGICO DE BROCAL (nuevo)

19/06/08	PRODUCTO	PESO	% PESO	ENSAYES				CONT. METALICO				RECUPERACIONES				REACTIVO
				Pb	Zn	Ag	Fe	Pb	Zn	Ag	Fe	Pb	Zn	Ag	Fe	
	Ro-Pb	35	13,67	14,96	13,78	10,44	7,12	204,6	188,4	142,7	97,3	46,80	13,95	32,69	13,82	B-110
	Ro-Zn	45	17,58	4,47	26,59	5,96	5,16	78,6	467,4	104,7	90,7	17,99	34,60	23,98	12,88	ER-370
	RELAVE	176,0	68,75	2,24	10,11	2,75	7,50	154,0	695,1	189,2	515,9	35,21	51,46	43,33	73,29	18-jun
	CAB.CALC.	256,0	100,00	4,4	13,5	4,4	7,0									
	Ro-Pb	30	11,81	16,05	13,08	9,18	6,50	189,6	154,5	108,4	76,7	43,62	11,41	25,24	10,96	B-111
	Ro-Zn	30	11,81	5,34	20,56	6,36	3,92	63,1	242,9	75,1	46,3	14,52	17,93	17,48	6,62	MIBC
	RELAVE	194,0	76,38	2,38	12,53	3,22	7,55	182,0	957,3	246,1	576,8	41,86	70,66	57,29	82,42	18-jun
	CAB.CALC.	254,0	100,00	4,3	13,5	4,3	7,0									

En el Gráfico 3 se observan las recuperaciones de Pb y Ag en el Ro-Pb que son mejores en el ER-370 que el MIBC, así como mejor recuperación de Zn en el Ro-Zn para el ER-370.

Gráfico 3.- Se observan las mejores recuperaciones de Pb y Ag para el ER-370 en Ro-Pb y de Zn en Ro-Zn.



CONCLUSIONES

- Como se observa en los balances metalúrgicos, se pueden deducir que los reactivos obtenidos en el Laboratorio de Investigación Químico-Metalúrgico son eficientes, y hay mucho más reactivos obtenidos en Laboratorio que se han omitido y que están a la venta en REACTIVOS NACIONALES S.A.
- Tanto para colectores como espumantes se tienen ya muchos reactivos en el Laboratorio, y se seguirán probando nuevas alternativas para nuevos minerales.

En los Balances Metalúrgicos se observa el buen rendimiento de los reactivos de Reactivos Nacionales en comparación a los reactivos de empresas extranjeras, esto implica que estamos en buena competencia con reactivos de Cyttec de Chile y de Clariant.

- Con respecto al ARG-431 que actualmente se vende a Toquepala es muy bueno se puede observar en el Balance Metalúrgico como es superior al STD
- Los reactivos hechos en la empresa pasan por el Laboratorio de Control de Calidad además de pasar todas las pruebas en el Laboratorio de Investigación Químico-Metalúrgico.

RECOMENDACIONES

- Siempre se tiene que hacer las evaluaciones metalúrgicas respectivas de cada reactivo en diferentes minerales para observar el comportamiento del colector y del espumante para cada mineral en particular.
- Los ditiofosfatos son muy selectivos en cuanto a la pirita, es por eso que muchas minas prefieren utilizar ditiofosfatos en lugar de xantatos, es por ello la investigación está muy centrada en cuanto a la formulación de nuevos ditiofosfatos.
- Se recomienda así mismo equipar más el Laboratorio, ya que cuenta con poco apoyo por parte de Gerencia a la Investigación de productos nuevos, a pesar de tener muchos reactivos nuevos y buenos.
- Se recomienda seguir investigando, pero con apoyo de la universidad para poder seguir investigando más a fondo los problemas existentes entre los mecanismos de reacción en flotación.
- Comprar equipos para análisis de compuestos orgánicos, determinación de estructuras, ya que únicamente evaluamos los reactivos por flotación y analizando el Balance Metalúrgico sacamos nuestras conclusiones con respecto al reactivo STD.

BIBLIOGRAFÍA

1. Crozier, R.D. F Flotation Theory, Reagents and Ore Testing, Pergamon Press, New York, 1992, Pag, 35-36-38-40.
2. Srdjan M. Bulatovic, Handbook of Flotation Reagents, Elsevier Science-Technology Books, Abril 2007, Pags, 13,15,29,36,46 y 47.
3. P.Somasundaran and Dianzuo Wang, Chemistry Minerals and Reagents, Series editor B.A. Will Pags, 40 y 70.
4. Cytec, Handbook of Mining Chemical. 2007
5. TECSUP, Procedimientos de Laboratorio Metalúrgico, Programa de capacitación continua Perú, Pág. 16-17.
6. Klimpel, R.K., Collector Composition for the Flotation of Mineral Value, US Patent 4, 676, 890, June 1987.
7. Ing. Juan G. Zegarra Wuest, Diseño para tratamiento de minerales, UNI Perú, Pág. 53.
8. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de la UNMSM, Vol. II No 04 Lima-Perú, 1999.
9. Ing. Levi Guzmán Rivera, Metodología de Evaluación y Selección de Espumantes, MOLY-COP ADESUR S.A. Folleto de 10 hojas.