

## EVALUACIÓN DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN

Ángel Azañero Ortiz(1), Marco Morales Valencia (2)

### Resumen

Esta investigación tiene por objeto dar a conocer métodos científicos-experimentales, para evaluar correctamente reactivos de flotación usados en concentración de minerales. Se presentan las variables, ecuaciones matemáticas, metodología y otros parámetros importantes que permitirán cuantificar eficientemente en cualquier planta de beneficio minero-metalúrgico, la calidad de los reactivos en proceso de evaluación.

### Abstract

The main purpose of this research is to make well known scientific - experimental methods to correctly evaluate flotation reactive used in concentration mineral. The variables, mathematics equations, methodology and other important parameters are presented here in order to allow us to quantify effectively in any mining - metallurgy benefit plant, the quality of the reactive on the evaluation process.

(1) Docente del Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica-UNMSM

(2) Colaborador Externo

## I.-INTRODUCCION

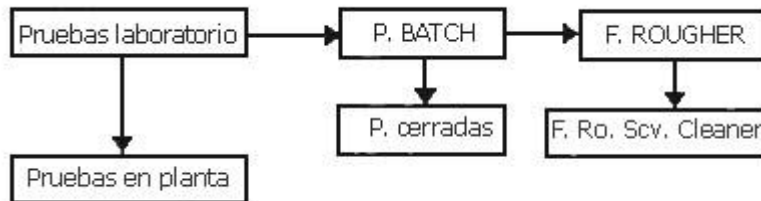
El proceso de flotación de minerales ha marcado un hito en la historia de la industria minera, por el importante rol que éste ha jugado en la producción mundial de minerales y metales. Este método ha permitido la explotación económica de yacimientos de baja ley y de una constitución mineralógica compleja, que en otras épocas hubiese sido imposible. En este contexto los reactivos de flotación juegan un rol importante en el proceso, los cuales al ser alimentados al circuito de flotación cumplen determinadas funciones específicas que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo la elección de reactivos no es una tarea fácil debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso, como por ejemplo la complejidad mineralógica de la mena entre otros aspectos.

## II.-ANTECEDENTES

Los Metalurgistas debido al trabajo que desempeñan, siempre están evaluando las propiedades y bondades que ofrece uno u otro reactivo; hasta encontrar al que permita optimizar los resultados metalúrgicos, el presente trabajo consistirá en evaluar reactivos de flotación, principalmente colectores y espumantes.

A continuación presentamos un diagrama de flujo a seguir en el caso de evaluar reactivos para su aplicación en planta concentradora.( Figura N°1)

**Figura N°1:** Diagrama de Flujo para Evaluación de Reactivos



### III.-PRUEBAS DE LABORATORIO

Esta etapa de la investigación es considerada de gran importancia, porque su función es seleccionar el reactivo(s) de mejor rendimiento que debe pasar a una prueba en planta, previamente es aconsejable hacer pruebas cerradas y piloto, para estar seguros de la bondad del reactivo elegido.

Para iniciar las pruebas es conveniente establecer una prueba de referencia o patrón que sirva como medida de comparación, frente a las pruebas que se corran con los reactivos a evaluar, esta prueba de referencia es conocida como PRUEBA STANDARD. Definida a nivel de laboratorio, es la que representa las condiciones de operación de una planta concentradora que está operando en condiciones normales. Esta prueba que es trabajada en condiciones similares a la planta concentradora nos servirá para comparar el rendimiento metalúrgico de cualquier reactivo u otra variable en estudio.

En plantas donde no se tiene establecido el Standard, se diseñará esta prueba con los datos de operación de la planta teniendo en cuenta algunos aspectos como recirculación de productos intermedios que podrían exagerar el consumo de reactivos en pruebas Batch. De este modo cualquier reactivo que supere el standard debe ser tomado en cuenta hasta su confirmación industrial.

#### 3.1 PRUEBAS DE FLOTACIÓN

Con el objeto de no incurrir en error de evaluación y dar a todos los reactivos en prueba la misma oportunidad de demostrar sus propiedades, las pruebas tienen que ser efectuadas en condiciones exactamente iguales a la prueba estándar, es decir, granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, RPM, remoción de espumas etc. En el momento de la flotación es de suma importancia que la técnica empleada durante la flotación estándar sea la misma para las demás pruebas. Esto es lo referente a: inclinación, profundidad, modalidad y frecuencia de remoción de

espumas, frecuencia de lavado etc. tratando de eliminar en lo posible el error experimental, que podría ocasionar conclusiones erróneas.

Un método de conocer el grado de error que uno es capaz de cometer durante una prueba de flotación es realizar la prueba estándar por triplicado. Si la prueba está bien trabajada, los resultados metalúrgicos incluyendo los pesos de los productos deben ser similares entre sí, esto significa que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas sean efectuadas cuidadosamente. Sólo después de alcanzar ese nivel de exactitud, se estará en condiciones de efectuar con seguridad las pruebas metalúrgicas tendientes a evaluar reactivos de flotación. En caso de evaluar uno o más reactivos, para cuantificar su calidad estos se deben comparar con otro reactivo de marca y calidad reconocida al cual denominaremos Reactivo Patrón.

### **3.2 PRUEBAS METALÚRGICAS**

En una etapa inicial es recomendable hacer las pruebas metalúrgicas con flotaciones rougher, rougher - scavenger, por ser estos rápidos y económicos para esta etapa de trabajo, posteriormente ya con el reactivo(s) seleccionado se puede ir a pruebas más elaboradas donde se incluyan etapas de limpieza y/o pruebas cerradas (cycle test or lock test).

Estas pruebas deben llevarse a cabo con el mínimo error posible, solo así se podrá llegar a conclusiones verdaderas. Por ejemplo en pruebas batch o cerradas es muy conveniente tener la suficiente práctica en flotación a fin de no cometer errores que podrían ser perjudiciales hasta para el mejor reactivo. Es conveniente dar preferencia a la práctica de flotación, hasta correr una prueba por triplicado, partiendo de 1 Kg. de muestra se debe obtener casi la misma cantidad de concentrado, con variaciones en un gramo como tolerancia mínima. La evaluación de reactivos será en base a recuperación, radio de concentración, radio de enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad forma y tamaño de espumas y otros criterios metalúrgicos que uno crea conveniente, como gráficos, etc.

A veces es necesario realizar análisis mineralógico de los productos a fin de obtener una idea de la naturaleza y la proporción de los diferentes tipos de partículas presentes. El conocimiento del precio de los reactivos frente a la mejora obtenida por este mayor rendimiento metalúrgico ayudará a tener una mejor idea técnico-económica del reactivo evaluado; en casos donde los resultados metalúrgicos obtenidos con el reactivo evaluado sean ligeramente superior al estándar y la eficiencia del reactivo no está bien definida es recomendable ir a pruebas donde se incluya etapas de limpieza y/o pruebas cerradas para confirmar o descartar las bondades del reactivo.

### 3.3 PRUEBAS EN PLANTA PILOTO E INDUSTRIAL

Para confirmar los resultados obtenidos a nivel de laboratorio se tendrá que verificar a escala industrial, si la tendencia favorable se ratifica a este nivel, definitivamente este reactivo resulta ser el más adecuado para el mineral, por lo tanto se recomendará su uso en planta. Las pruebas industriales se realizarán en una sección o en toda la planta por un periodo adecuado a fin de tener tiempo suficiente para apreciar la efectividad del reactivo, luego la siguiente etapa será evaluar económicamente en función del costo del reactivo y la ganancia metalúrgica obtenida.

### 3.4 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

A parte de calcular la recuperación, radio de concentración, ploteo de gráficos etc. se debe determinar el índice de selectividad, radio de enriquecimiento y eficiencia de separación de la siguiente manera:

$$I.S. = \frac{R_a J_b}{R_b J_a}$$

I.S. = Índice de selectividad

R<sub>a</sub> = Recuperación de constituyente a en producto A

J<sub>a</sub> = Rechazo de constituyente a en producto B

R<sub>b</sub> = Recuperación de constituyente b en producto A

J<sub>b</sub> = Recuperación de constituyente b en producto B

$$R.E. = c/h$$

R.E. = Radio de enriquecimiento

c = Ley del concentrado

h = Ley de la cabeza

$$E.S. = \frac{R_m - R_g}{(h-s)} \times \frac{(c/h - (m - c))}{(m-h)}$$

E.S. = Eficiencia de separación

R<sub>m</sub> = recuperación del constituyente deseado en el concentrado

R<sub>g</sub> = recuperación del otro constituyente (ganga relativa) en el mismo concentrado

h = ley de cabeza,

c = ley de concentrado

s = ley de relave

m = ley de los minerales puros contenidos en la cabeza.

#### Ejemplo:

Galena : 86.6% de Pb

Calcopirita : 34.5% de Cu

Esfalerita : 67,0% de Zn

Pirita : 46.4% de Fe

### 3.5 METODOLOGIA

El trabajo de investigación consiste en identificar los reactivos a ser evaluados, reactivo patrón cuyas características son conocidas, el mineral que nos servirá para nuestro experimento, determinando sus propiedades mineralógicas y químicas, las pruebas experimentales desarrolladas, condiciones de trabajo y resultados obtenidos, enseguida se presenta los gráficos que nos ayudarán a una mejor comprensión del tema y finalmente los cálculos de eficiencia de separación e índice de selectividad que nos permitirá afirmar correctamente cual o cuales reactivos de flotación son de menor, igual o mejor calidad que el reactivo usado como referencia.

### 3.6 REACTIVOS A EVALUAR

1. Hostafлот LSB.- Es un reactivo líquido cuya fórmula química es un ditionofosfato butílico secundario de sodio, su color es ligeramente oscuro cuando se homogeniza y cuando está sin movimiento tiende a sedimentarse una sustancia color oscura, sobrenadando una solución clara, tiene un olor fuerte y penetrante.

2. Sodium Aerofloat.- Es un promotor sólido de color blanco, es una sal proveniente del ácido alquil ditionofosfórico.

Tanto el Hostafлот LSB como el sodium aerofloat son promotores recomendados para sulfuros de zinc, cobre, cobalto y níquel y tienen selectividad con respecto a los sulfuros de hierro tales como pirita, marcasita y arsenopirita.

### 3.7 REACTIVO PATRÓN

Aerofloat-211 - Ditionofosfato Diisopropílico de Sodio

Reactivo sólido de características similares que los anteriores, nos servirá como REACTIVO DE REFERENCIA, por ser un reactivo ampliamente probado y conocido en flotación de sulfuros principalmente Zinc.

### 3.8 EL MINERAL

El mineral que nos sirvió para realizar las pruebas metalúrgicas está constituido por un fuerte contenido de sulfuros, principalmente esfalerita, seguido de pirita, galena y marmatita y una menor proporción de arsenopirita en ganga de cuarzo y lamas primarias, tiene un 52% de Pb y 12% Zn total oxidado; el análisis de la cabeza experimental arrojó los siguientes resultados:

#### Leyes en % Ag en oz/TC

<u>Pb</u>	<u>Pbox</u>	<u>Zn</u>	<u>Znox</u>	<u>As</u>	<u>Ag</u>	<u>Fe</u>	<u>S</u>
5.05	2.64	18.52	2.14	0.74	7.90	8.15	15.43

#### IV.-PUEBAS EXPERIMENTALES

Como el mineral tiene Pb y Zinc y los reactivos a evaluar son específicamente para el zinc, primeramente se tuvo que flotar el Pb y luego reactivar al zinc con reactivos apropiados y un pro-motor a evaluar en cada prueba que tuvo el carácter de ser de tipo comparativo, variando de una prueba a otra el promotor en estudio, manteniéndose constante las otras variables, así tenemos que en la prueba 1 se probó el Sodium Aerofloat en la prueba 2, el Hostafлот LSB y en la prueba 3, el Aerofloat-211.

CONDICIONES DE OPERACIÓN					
1. Molienda		2. Acondicionamiento de Pb		3. Acondicionamiento de Zn	
Mineral : 1,000 gr. Malla : -10 Tiempo : 6.5' pH : 7.0		Tiempo : 5' pH : 7.0		Tiempo : 5' pH : 10.5	
Reactivos	Kg/TM	Reactivos	Kg/TM	Reactivos	Kg/TM
Cal	1.000	Xz - 5	0.010	Cal	4.800
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0.500			CuSO <sub>4</sub>	1.200
ZnSO <sub>4</sub>	0.500	Flotación Ro. T=9'		Reactivo*	0.100
NaCN	0.050			Xz - 11	0.050
Bisulfito de sodio	0.050	Flotación Ro. Zn		Df - 250	0.030
		ZnSO <sub>4</sub>	0.600	Conc. 1 : 0.50 minutos	
		NaCN	0.060	Conc. 2 : 050 minutos	
		Bisulfito de sodio	0.050	Conc. 3 : 1.00 minutos	
		Xz - 5	0.030	Conc. 4 : 3.00 minutos	

(\*) REACTIVO EN EVALUACIÓN: SODIUM AEROFLOAT, HOSTAFLOT LSB Y A-211

#### 4.1 EFICIENCIA DE SEPARACIÓN E ÍNDICE DE SELECTIVIDAD

A continuación presentamos un cuadro con los resultados obtenidos en el concentrado rougher de zinc con cada uno de los reactivos evaluados el cual nos permite tener un concepto más claro del rendimiento de cada reactivo estudiado.

Cuadro N° 1 Concentrado Rougher de Zinc												
Prueba	Reactivo	Peso	Leyes % Ag oz/TC				Recuperación				R.C	RE
		%	Zn	As	Fe	Ag	Zn	As	Fe	Ag		
1	Sodium A	36.44	38.01	0.56	8.38	7.70	80.05	31.50	37.38	37.20	2.74	2.05
2	Hostafлот	40.25	35.35	0.56	8.54	7.31	82.20	37.63	41.61	39.82	2.48	1.91
3	A-211	36.85	36.98	0.62	10.29	7.19	78.70	35.88	46.55	35.82	2.71	1.99

R.C = Radio de concentración  
R.E = Radio de enriquecimiento

Prueba	Reactivo	ES		+IS	
		Zn/As	Zn/Fe	Zn/As	Zn/Fe
1	Sodium A	48.55	42.67	1.83	2.07
2	Hostafлот	44.57	40.59	1.82	2.04
3	A-211	42.82	32.05	1.70	1.66

ES = Eficiencia de separación  
IS = Índice de Selectividad

## V.-CONCLUSIONES

1. Del cuadro anterior, donde incluimos cálculos referentes a radios de concentración, leyes, recuperaciones así como otros criterios que nos permiten evaluar la performance o rendimiento metalúrgico de reactivos tales como eficiencia de separación e índice de selectividad del zinc, respecto a la arsenopirita y piritita, podemos decir que la recuperación de los valores metálicos zinc y plata son muy parecidos con los dos primeros reactivos e igualmente se incrementa con el tiempo de flotación (ver gráficos N° 1 y 3); incluso el Hostafлот-LSB presenta mejores recuperaciones que los otros reactivos estudiados.

2. Las mejores recuperaciones de arsénico y fierro se alcanza con el Aerofloat-211 y el Hostafлот LSB el cual tiende a incrementarse con el tiempo de flotación, esto lo podemos visualizar en los gráficos N° 2 y 3, sin embargo un concepto más claro de estos resultados se obtiene mediante los cálculos referentes a eficiencia de separación e índice de selectividad del zinc respecto al arsénico y fierro mostrado en el cuadro N° 1, donde vemos que dichos valores son muy parecidos con los dos primeros reactivos, distanciándose un poco el A-211 confirmando nuestras observaciones realizadas durante las pruebas de flotación.

3. De lo observado durante la realización de las pruebas, los resultados de recuperación vs, tiempo mostrados en los gráficos 1 a 3, así como de la eficiencia de separación e índice de selectividad del zinc respecto al arsénico y fierro podemos concluir que el promotor Hostafлот-LSB y el Sodium Aerofloat tiene mejores características en cuanto a su rendimiento metalúrgico frente al Aerofloat-211, usado como reactivo de referencia, concluyendo que el orden de calidad de los reactivos investigados es:

Primero: Sodium Aerofloat

Segundo: Hostafлот LSB

Tercero: Aerofloat 211

4. La calidad de los reactivos de flotación debe ser evaluada permanentemente o cuando se va a reemplazar alguno de ellos por otro de mejor rendimiento metalúrgico, el siguiente paso es evaluar el costo del reactivo seleccionado.

5. Las técnicas actuales de evaluación se apoyan principalmente en: observaciones experimentales, cálculos de leyes, recuperación y radios de concentración.

6. En este trabajo de investigación se incluyen además de los parámetros anteriores, otros como son, radio de enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad etc. que nos permiten evaluar integralmente a los reactivos de flotación.

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento al Consejo Superior de Investigaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y los participantes que colaboraron en el desarrollo de este Proyecto de Investigación N°91601031.

Lima, noviembre de 1999.

### **VI.-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. A. Rizzo Patrón R. "Concentrabilidad diferencial". Publicación técnica; Pág. 5-15
2. A. Azañero O. "Evaluación de reactivos de flotación". Inf. N°2147 - LMC - 26/09/89, Pág. 2 a 7, 8 y 10. Banco Minero del Perú. Lima - Perú.
3. Douglas R. Shaw "Evaluación del Dodecil Mer Captand como colector para menas de sulfuros". XIX conferencia Anual de Metalurgistas - Sudbury, Ontario - Canadá - agosto 1979.
4. Guanine, A.M. 1930 -"Selectivity of inde: a yardstick of the segregation accomplished by concentration operation". Am. Inst. Mining Metall engineers, Trans 87, p: 483-487.
5. J. Muñoz D. "Evaluación y selección de reactivos de flotación para minerales de cobre y molibdeno". U.P. Cerro Verde - Minero Perú - octubre 1985.
6. J.L. Leblanc. "Evaluation of sodium mercaptobenzothiazole as flotation reagent". Págs. 2-4. Marzo, 1987.
7. Mortenson, M. "Graphical analysis of flotation test results". Mining and Metallurgy - V. 12, P. 946.
8. Taggart A.F. 1927. "Handbook of ore dressing New York". Pág. 124; 1948 - "Handbook of mineral dressing". Pág. 19 - 195.



9. W.E. Host and G.W. Mitchell. "A method for predicting flotation concentrate quality". p. 571-584 y technical efficiency of concentration operations". Pág. 485-508. Quaterly of the Colorado School of M.