

## FLOTACION DE MINERALES POLIMETÁLICOS SULFURADOS DE Pb, Cu y Zn

## FLOTATION OF SULPHUR POLYMETALLIC COOPER-LEAD-ZINC MINERALS

\*ANGEL AZAÑERO ORTIZ, Vidal Aramburu Rojas, Janet Quiñones Lavado, Luis Puente Santibáñez, Manuel Cabrera Sandoval, Walter Rengifo Sing, Victor Falconi Rosadio, Juan de Dios Quispe Valdivia

### RESUMEN

Los minerales sulfurados polimetálicos son muy abundantes en la naturaleza y en especial en nuestro país, de allí la gran importancia que tiene estudiar su comportamiento frente a la flotación diferencial, existen minerales muy dóciles a la flotación y también otros minerales complejos que presentan una flotación muy complicada por una serie de factores, los más difíciles son aquellos que presentan activación natural de la esfalerita y sulfuros de hierro debido a las sales solubles que puede tener el mineral como consecuencia de la presencia de iones metálicos de diferentes metales, principalmente cobre.

El mineral de cobre, plomo y zinc que se ha estudiado no presenta dificultad durante la flotación selectiva, la calidad y la eficiencia de separación de los concentrados pueden ser mejorados con mayor tiempo de flotación y más etapas de limpieza.

Se definen los conceptos teóricos de la flotación selectiva, se realizó el estudio mineralógico y químico de la muestra, las pruebas de flotación bulk y la separación, reportan buenos resultados, para mencionar solo el contenido de oro en el concentrado de cobre plomo, aporta un valor económico de \$380 dólares por TMC.

Palabras Clave: Flotación de sulfuros cobre plomo zinc

### ABSTRACT

Polymetallic sulfide ores are found in abundance in nature and especially in our country, hence the great importance of studying their behavior in the differential flotation. There are ores that are very amenable to flotation and there are also other complex minerals that have a very complicated flotation because of different factors, the most difficult ones are those with natural activation of sphalerite and iron sulphides due to soluble salts that the mineral can have as a result of the presence of metal ions from different metals, mainly copper.

The copper, lead and zinc ore that was studied did not show difficulties during

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazanero@unmsm.edu.pe](mailto:aazanero@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

the selective flotation; the quality and the separation efficiency of concentrates can be improved with more time and more stages of flotation cleaning.

We defined the theoretical concepts of the selective flotation and made the mineralogical and chemical study of the sample.

The bulk flotation tests and the separation reported good results. We can mention that the gold content in the lead-copper concentrate provides an economic value of \$ 380 dollars for TMC.

Keywords: flotation of sulfide copper, lead zinc

## I.- INTRODUCCIÓN

La flotación diferencial de sulfuros polimetálicos, consiste en recuperar una o más especies mineralógicas, dejando en los relaves otras especies deprimidas por reactivos específicos (American Cyanamid Company, 1988)

El diagrama de flujo, combinación de reactivos químicos y puntos de adición de los mismos se muestra en la figura No.1

El método considera dos aspectos principales:

1. Selección de diagramas de flujo,
2. Uso de reactivos químicos que permita la máxima selectividad

La selección del diagrama de flujo y reactivos de flotación, está fundamentalmente condicionada por la respuesta del mineral a los colectores, activadores, depresores y espumantes, así como a la mineralogía del mineral.

Los minerales sulfurados (Astucuri, 1999) de cobre molibdeno, minerales de cobre zinc, minerales de plomo plata zinc y minerales de cobre plomo zinc son ejemplos típicos de minerales sulfurados donde se aplica flotación diferencial o selectiva para procesarlos

## II.-FLOTACIÓN DE SULFUROS DE COBRE, PLOMO Y ZINC

El tratamiento metalúrgico (Azañero, 2010) comprende la obtención de tres concentrados en las siguientes etapas

1. Flotación bulk Cu-Pb deprimiendo simultáneamente la esfalerita y pirita.
2. Activación y flotación de la esfalerita deprimiendo nuevamente la pirita.
3. Separación del Cu-Pb obtenido en la etapa 1

Alternativas, como flotación bulk Cu-Pb-Zn ó flotación en tres etapas primero el cobre, en seguida el plomo y finalmente el zinc, no son usuales.

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

## 1. Flotación Bulk Cobre-Plomo

Esta flotación se realiza con una depresión simultánea de sulfuros de zinc y pirita, la flotación cobre – plomo se realiza a pH natural o levemente alcalino utilizando xantatos y ditionofosfatos como colectores, la depresión de la pirita y esfalerita se logra mediante el uso de cal, cianuro, bisulfito y sulfato de zinc en dosificaciones que no afecten la flotación del cobre que es deprimido por el cianuro y el plomo por el bisulfito en concentraciones altas.

Además se debe agregar que el sulfuro de cobre flota entre pH: 3 y 12 y el pH de flotación de la galena está en el rango neutro a ligeramente alcalino, y cuando tiene alto contenido de plata el plomo tiende a deprimirse a pH mayor a 9.5.

### 1.1.- Depresión de Esfalerita y Pirita

Durante la flotación bulk Cu-Pb, la pirita se deprime con cianuro y bisulfito de sodio y la esfalerita con sulfato de zinc.

Se ha determinado la existencia de  $Fe_4 [Fe (CN)_6]_3$  sobre la superficie de la pirita, no permitiendo que ésta flote.

El bisulfito deprime la pirita, al descomponer los xantatos, dixantógenos y luego el alcohol componente del xantato

El motivo por el cual la esfalerita flota indebidamente en el bulk depende de cada mineral, las causas puede ser:

- (a) Asociación mineralógica Cu-Zn ó Pb-Zn
- (b) Arrastre de sulfuros de zinc durante la flotación bulk por factores mecánicos.
- (c) Activación natural de la esfalerita debido a la presencia de iones metálicos Cu, Ag, As, Sb, Cd, en el mineral ó en el agua de tratamiento.

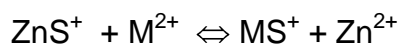
Los dos primeros factores pueden ser regulados mejorando las condiciones de molienda, dosificación de reactivos y eficiencia de remoción de espumas.

El tercer factor es un tema difícil aunque puede ser parcialmente controlado por dosificación de reactivos depresores tales como el sulfato de zinc, cianuros, bisulfitos o sulfuro de sodio.

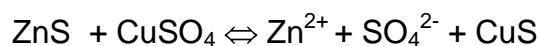
## 2. Activación y Flotación de Sulfuros de Zinc

La esfalerita no adsorbe xantatos de cadena corta sin activación previa, esta activación consiste en el recubrimiento de la esfalerita por una capa de un ión activante que formará una superficie que podrá interaccionar con el xantato.

El mecanismo de activación está definido por una reacción general expresada del siguiente modo:



Para la flotación de la esfalerita de las colas de la flotación Cu – Pb, se usa generalmente  $\text{CuSO}_4$  como activante,



Simultáneamente es necesario deprimir la pirita usualmente con cal, por elevación del pH hasta valores entre 8.5 – 12, la pirita en este rango de pH no flota al inhibirse la formación de dixantógenos que es la especie colectora.

## 3. Separación del Cobre / Plomo

Estos son clasificados de acuerdo al mineral que va a ser deprimido en:

Depresión de minerales de cobre y

Depresión de los minerales de plomo

El primer factor a ser considerado es la relación en peso de contenido de cobre / plomo,

En algunos casos dezincado, es una alternativa previa a la separación, cuando se obtenga la liberación y/o desactivación del zinc

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

En resumen, sumar a los contenidos de minerales de cobre, esfalerita, pirita e insolubles en el caso de usar el procedimiento de depresión con NaCN / ZnOx, ó sumar a la galena los contenidos de pirita, esfalerita e insolubles en el caso de usar dicromato.

### **3.1.- Depresión de Minerales de Cobre**

Cianuro de Sodio

La utilización del NaCN solo es posible donde la presencia de minerales de cobre secundarios y/o metales como Ag/Au es nula, es decir donde no existe el peligro de disolución de valores.

En casos extremos y debido al excesivo uso de colectores en la obtención del concentrado bulk es necesario aplicar un lavado previo del concentrado, resorción con Na<sub>2</sub>S y/o carbón activado.

Cianuro de sodio y compuestos

Existen pocos reactivos depresores para minerales de cobre, principalmente se basan en el uso de NaCN tanto puro como en mezcla con ZnSO<sub>4</sub> ó con ZnO adicionalmente se puede utilizar las mezclas en mención con CaO, sulfato de amonio, otros procedimientos son el empleo de permanganato y tiourea.

Permanganatos

Su posible aplicación (Zegarra Y C. Perez, 1998) es de gran interés ya que posee algunas ventajas en comparación con el NaCN ó con el complejo NaCN / ZnOx, no produce disolución de valores de Au/Ag ó minerales de cobre secundarios, su aplicación requiere de condiciones excesivamente críticas,

### **3.2.- Depresión de Minerales de Plomo**

Reactivos con esta característica son: SO<sub>2</sub>, bisulfitos, sulfitos en combinación con sulfato ferroso, tiosulfato, hiposulfitos, bicromatos y CaO, ellos poseen algunas ventajas en comparación con el NaCN / ZnO sobre todo en lo referente a la no disolución de metales preciosos y/o cobres secundarios.

Bisulfitos, Sulfitos

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

Permiten la depresión de los minerales de plomo, pero también presentan efecto depresor sobre los de zinc,

Con la presencia de minerales de cobre secundario la precisión de separación es afectada ligeramente por la disolución de cobre, siendo estos iones absorbidos por la galena lo cual impide su depresión, este efecto negativo puede ser contrarrestado por adición de  $S^{\circ}$ , con lo cual se logra precipitar iones de cobre

El acondicionamiento requerido es casi nulo y la adición por etapas es conveniente, en el caso de la presencia de minerales de cobre secundarios y dependiendo de la proporción existente, el tiempo de acondicionamiento debe ser evaluado cuidadosamente.

#### Dicromato

Las propiedades oxidantes son similares a las mostradas por los reactivos anteriores, excepto que presenta un menor poder depresor para los minerales de zinc en comparación con el bisulfito.

En algunas concentradoras se le utiliza junto con el R-610 u otras dextrinas lo cual incrementa su poder depresor sobre la galena.

La eficiencia de separación Cu – Pb es afectada por la calidad del bulk tratado, cuando el desplazamiento de Zn y Fe al concentrado es mayor se reduce la eficiencia de separación, posiblemente debido al mayor nivel de adición de colectores, presencia de sales solubles y/o reducción de reactivos depresores.

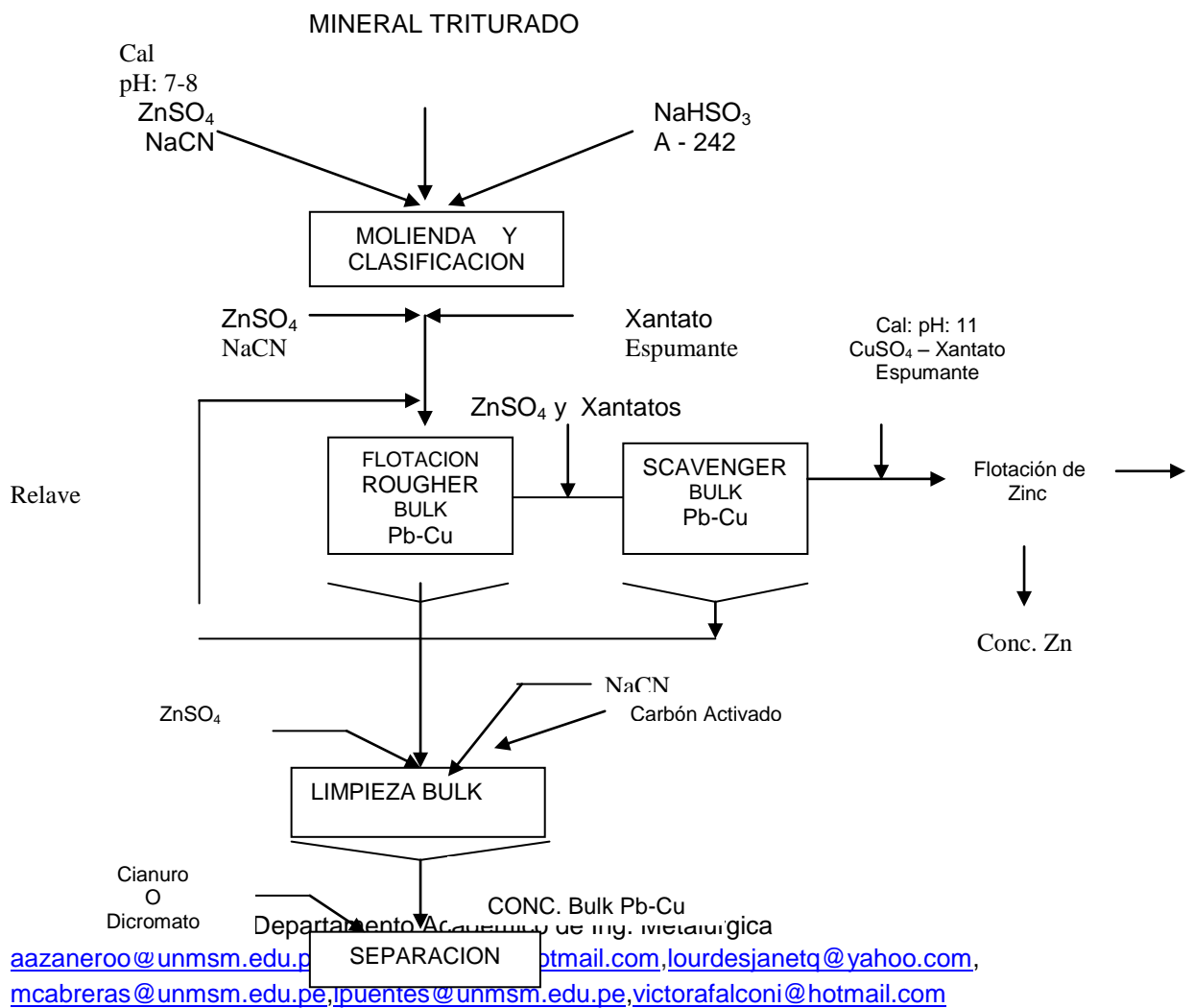
#### Carboximetil Celulosa (Quimica Amtex S.A, 2006)

Una de las aplicaciones de la carboximetil celulosa en minería es en el proceso de separación plomo-cobre, actúa como parte del reactivo depresor de plomo. Facilita la función del dicromato de sodio sobre las superficies de la galena y la del fosfato monosódico que es un dispersor, desde el punto de vista ecológico es una buena alternativa.

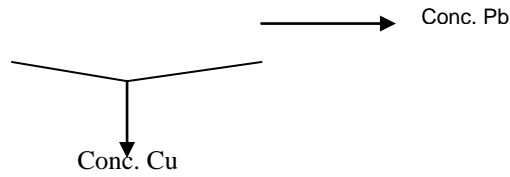
Composición del reactivo depresor:

- Dicromato de sodio (60%)
- Carboximetil celulosa (20%) y
- Fosfato mono sódico (20%)

**FIGURA No 1 - DIAGRAMA DE FLUJO DE FLOTACIÓN DE UN MINERAL DE COBRE, PLOMO Y ZINC**







Fuente: Azañero 2010

### III.- METODOS Y RESULTADOS

La muestra se ha estudiado mediante el microscopio de luz polarizada por el método de reflexión, para lo cual previamente se ha preparado la sección pulida y sobre la base de ésta se han determinado sus respectivos integrantes mineralógicos, es decir, se hizo su caracterización, a partir de ésta se procedió a ejecutar el análisis modal, los resultados de los diferentes pasos se encuentran especificados a continuación.

#### 3.1. Mineralogía

La caracterización mineralógica (Quiñones, 2010) de esta muestra indica todos los minerales que han sido observados, de los cuales algunos no han intervenido en el análisis modal, el motivo de esta no intervención es porque están en el orden de trazas; en la tabla siguiente se muestran estos minerales:

Tabla No. 1: Minerales Caracterizados

Minerales	Formula	Abreviaturas
Calcopirita	$CuFeS_2$	cp
Esfalerita	$ZnS$	ef
Galena	$PbS$	gn
Arsenopirita	$FeAsS$	apy
Pirita	$FeS_2$	py
Calcosita	$Cu_2S$	cc
Hematita	$Fe_2O_3$	hm

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazanero@unmsm.edu.pe](mailto:aazanero@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

Goetita	FeO.OH	gt
Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	td
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	mt
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	bn
Covelita	CuS	cv
Gangas		GGs

Fuente: Quiñones 2010

#### Minerales Auríferos

En esta muestra no se han observado minerales aurífero

#### Minerales Argentíferos

No se han observado minerales de plata, la galena es portadora de este valor metálico.

#### Minerales De Ferríferos

Como minerales ferríferos están la pirita, pirrotina, hematita, magnetita, goetita y la arsenopirita

#### Minerales Cupríferos

Como mineral de cobre está la calcopirita, calcosita, covelita, tetraedrita y bornita

#### Minerales Zincíferos

Como mineral de zinc está la esfalerita.

#### Minerales Plumíferos

Como mineral de plomo está la galena.

#### Otros Minerales

En este grupo se encuentran las gangas dentro de éstas están los silicatos y carbonatos.

### 3.2. Distribución Volumétrica

La distribución volumétrica realizada en esta muestra se ha hecho sobre la base de los minerales que han intervenido en el análisis modal y es como sigue:

Tabla No. 2 Distribución Volumétrica

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

Minerales	Volumen Porcentual
Esfalerita	6,04
Calcopirita	1.67
Galena	5,86
Arsenopirita	1.13
Pirita	6,84
Pirrotina	0,81
Goetita	0,21
Tetraedrita	0,60
Gangas	84,74

Fuente: Quiñones 2010

### 3.3.- Grados De Liberación

Los grados de liberación que presentan los minerales que han intervenido en el análisis modal de la muestra, nos indican las diferentes dificultades que han encontrado durante la etapa de la molienda, dichos grados de liberación son proporcionados en porcentajes a continuación son indicados:

Tabla No. 3 Grados De Liberación

Minerales	Grados De Liberación Porcentual
Esfalerita	98,75
Calcopirita	98,92
Galena	93,00
Arsenopirita	98,04
Pirita	95,55
Pirrotina	97,09
Goetita	83,33
Tetraedrita	96,30
Gangas	99,77

Fuente: Quiñones 2010

### 3.4.- Interpretación De Los Grados De Liberación

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

De acuerdo a los dos cuadros que se muestran arriba la interpretación de los grados de liberación es como sigue:

La esfalerita ocupa el 6,04% del volumen total de la muestra, de este volumen el 98,75% se halla libre, mientras que el 1,25% restante se encuentra aún en ínter crecimientos, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta.

La calcopirita ocupa el 1,67 % del volumen total de la muestra, de este volumen el 98,92% se halla libre, mientras que el 1,08% restante se encuentra aún entrelazado, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta.

La pirrotina ocupa el 0,91 % del volumen total de la muestra, de este volumen el 97,09% se halla libre, mientras que el 2,91% restante se encuentra aún entrelazado, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta.

La arsenopirita ocupa el 1,10 % del volumen total de la muestra, de este volumen el 98,04% se halla libre, mientras que el 1,96% restante se encuentra aún entrelazado, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 03 que se adjunta

La pirita ocupa el 6,84% del volumen total de la muestra, de este volumen el 95,55% se halla libre, mientras que el 4,45% restante se encuentra aún entrelazado, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta.

La goethita ocupa el 0,21% del volumen total de la muestra, de este volumen el 83,33% se halla libre, mientras que el 16,67% restante se encuentra aún en ínter crecimientos, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 03 que se adjunta

La galena ocupa el 5,86 % del volumen total de la muestra, de este volumen el 93,00% se halla libre, mientras que el 7,00% restante se encuentra aún entrelazado, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabreras@unmsm.edu.pe](mailto:mcabreras@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta

La tetraedrita ocupa el 0,60% del volumen total de la muestra, de este volumen el 93,30% se halla libre, mientras que el 6.70% restante se encuentra aún entrelazada, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta

Las gangas ocupa el 84,74% del volumen total de la muestra, de este volumen el 99,77% se halla libre, mientras que el 0,23% restante se encuentra aún en ínter crecimientos, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, tal como se pueden apreciar en la tabla N° 3 que se adjunta.

### **3.5.- MICROGRAFIAS**

A continuación se muestran las micrografías tomadas durante el estudio que son muestras fehacientes de lo observado, Ver Figuras: 2,3, 4 Y 5

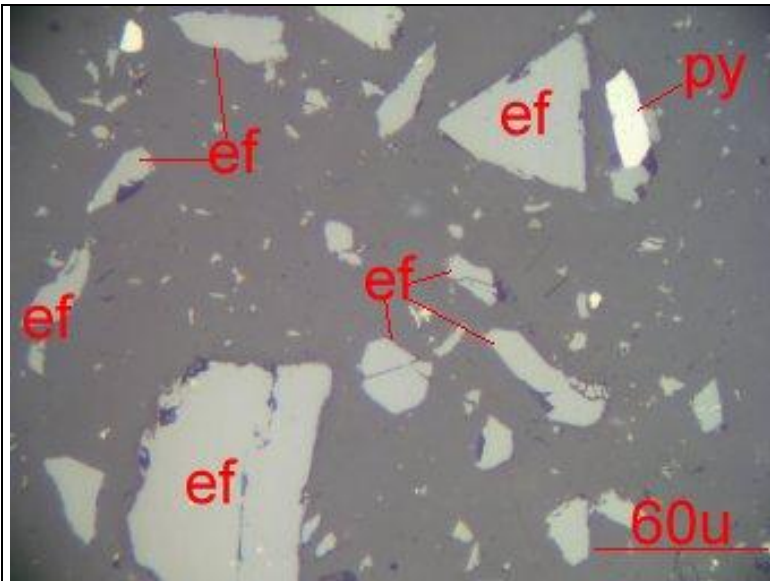


Figura 2. Partículas libres de esfalerita (ef), de calcopirita (cp), de pirita (py) y de gangas (GGs). Magnificación: 200X

Figura 3. Partículas libres de esfalerita (ef), de pirita (py), de arsenopirita (apy), de Gangas (GGs) y también están las partículas entrelazadas de la calcopirita con la novelita (cp+cv), Magnificación: 200X

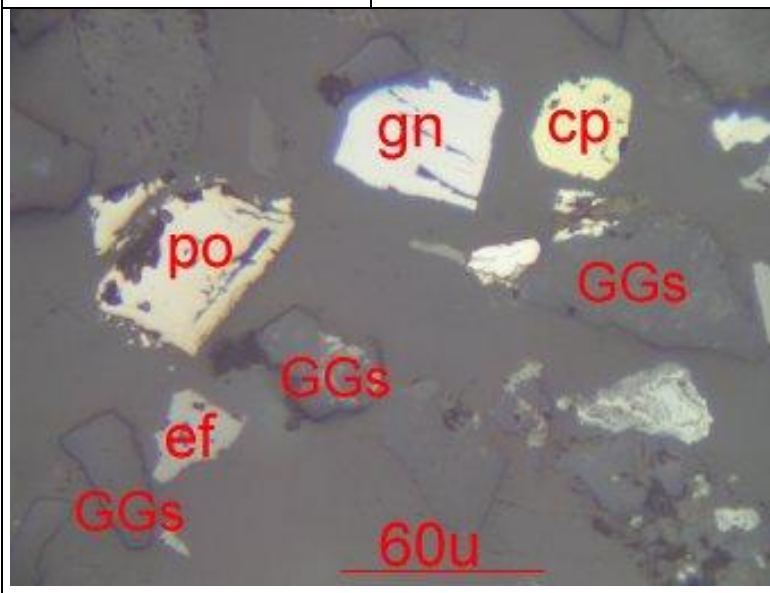
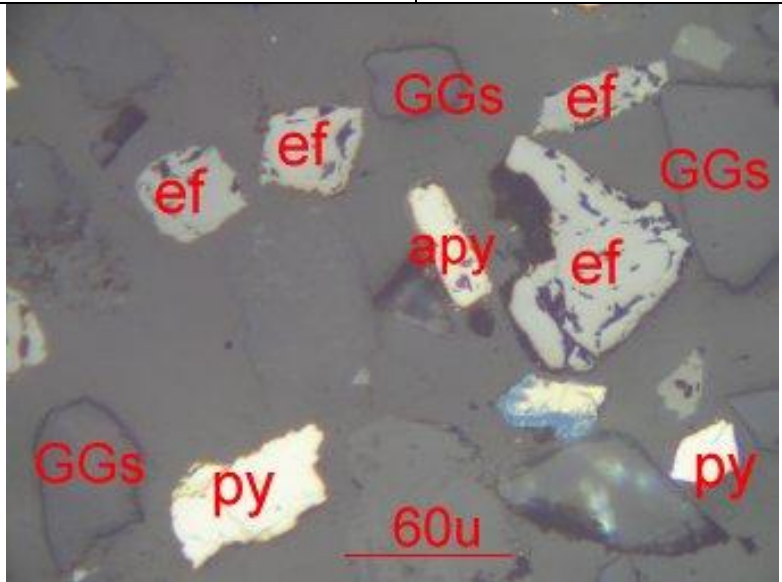
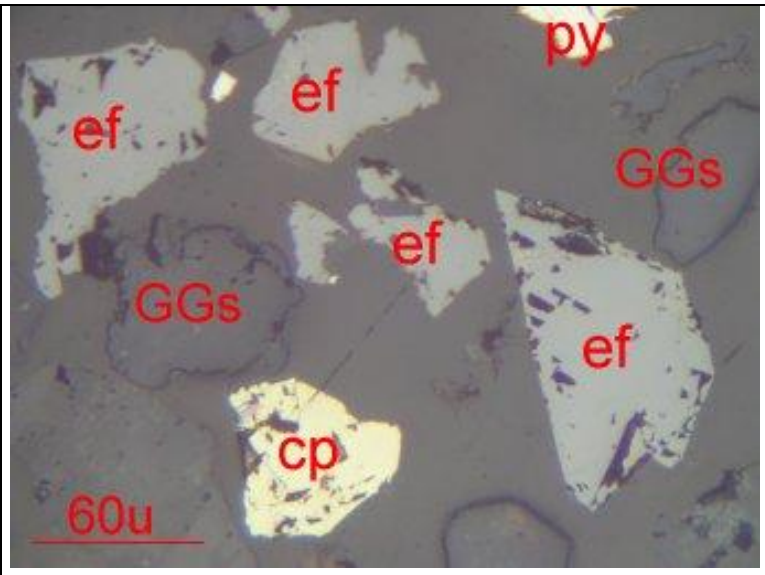


Figura 4 Partículas libres de esfalerita (ef), de galena (gn), de calcopirita (cp), de pirrotita (po) y de Gangas(GGs) Magnificación: 200X

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

Figura 5. Partículas libres de esfalerita (ef), de calcopirita (cp), de pirita (py), de Gangas (GGs)  
Magnificación: 200X



Fuente: Quiñones 2010

**Tabla N° 4: Análisis Químico del Mineral**

Producto	Leyes %, Au y Ag: Oz/Tc							
	Pb	Cu	Zn	Ag	Au	As	Sb	Fe
Mineral	6.59	1.08	5.36	6.65	0.04	0,29	1.67	5.32

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

Fuente: Presente Investigación

**Tabla No. 5 balance Metalúrgico (1)  
Flotación Diferencial Cu-Pb/Zn**

<b>Resultados de Flotación Diferencial Cu-Pb/Zn</b>																
<b>Producto</b>	<b>Peso %</b>	<b>Leyes %, Ag y Au: Oz/Tc</b>										<b>Recuperaciones %</b>				<b>R.C.</b>
		<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ag</b>	<b>Au</b>	<b>As</b>	<b>Sb</b>	<b>Fe</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ag</b>			
Conc. Cu-Pb	11.64	49.92	7.83	3.98	44.28	0.29	0.42	1.91	3.80			87.48	84.82	8.72	78.23	8.59
Medios Cu-Pb	6.62	5.68	1.01	8.68	9.99							5.66	6.24	10.85	10.03	
Conc. de Zn	7.45	0.72	0.19	51.60	2.55		0.39	0.11				0.81	1.30	72.54	2.89	13.42
Medios Zn	5.60	3.50	0.24	4.64	6.00							2.95	1.21	4.91	5.10	
Relave	68.69	0.30	0.10	0.23	0.56							3.10	6.43	2.98	3.75	
<b>Cab.Calc.</b>	<b>100,00</b>	<b>6.64</b>	<b>1.07</b>	<b>5.30</b>	<b>6.59</b>	<b>0.04</b>						<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

Fuente: Presente Investigación

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe),  
[vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com),  
[lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe),  
[lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe),  
[victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)



**Tabla No. 6 balance Metalúrgico (2)  
Flotación Diferencial Cu/Pb/Zn**

<b>Resultados de Flotación Diferencial Cu/Pb/Zn</b>																
<b>Producto</b>	<b>Peso %</b>	<b>Leyes %, Ag y Au: Oz/Tc</b>										<b>Recuperaciones %</b>				<b>R.C.</b>
		<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ag</b>	<b>Au</b>	<b>As</b>	<b>Sb</b>	<b>Fe</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ag</b>			
Conc. Cu	3.49	8.24	23.30	3.62	13.30	0.35	0.29	0.54				4.33	75.70	2.38	7.04	28.65
Conc. Pb	8.15	67.78	1.20	4.12	57.54	0.23	0.45	3.36				83.15	9.12	6.34	71.19	12.27
Medios Cu-Pb	6.62	5.68	1.01	8.68	9.99							5.66	6.24	10.85	10.03	
Conc. de Zn	7.45	0.72	0.19	51.60	2.55		0.39	0.11				0.81	1.30	<b>72.53</b>	2.89	13.42
Medios Zn	5.60	3.50	0.24	4.64	6.00							2.95	1.21	4.90	5.10	
Relave	68.69	0.30	0.10	0.23	0.56							3.10	6.43	2.98	3.75	
<b>Cab.Calc.</b>	<b>100,00</b>	<b>6.64</b>	<b>1.07</b>	<b>5.30</b>	<b>6.59</b>	<b>0.04</b>						<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

Fuente: Presente Investigación

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe),  
[vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com),  
[lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe),  
[lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe),  
[victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

#### **IV.-ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

Se trata de un mineral que tiene valores de plomo, cobre, zinc, plata y oro, en consecuencia hay que encontrar los parámetros más adecuados para beneficiar este mineral, Ver Tabla 4.

El contenido de cobre (1.20 %) en el concentrado de plomo se puede disminuir con más tiempo de flotación durante la separación y con una o dos etapas de limpieza, Ver Tabla 5 y 6.

El contenido de plomo (8.24 %) en el concentrado de cobre se puede disminuir con más tiempo de flotación durante la separación y con una o dos etapas de limpieza, esto mejorará aún más las leyes de los concentrados de Pb y Cu.

Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio deben mejorar en calidad y recuperación en un proceso continuo ó planta industrial (Egas 1985)

Desde el punto de vista metalúrgico, el mineral estudiado es factible de procesar por flotación diferencial, obteniendo concentrados independientes de cobre, plomo y zinc, con leyes que pueden ser mejorados en un proceso continuo.

0.29 Oz/tc de Au en el bulk Cu-Pb, aporta un valor económico de \$380/ Tonelada de concentrado.

#### **V.- CONCLUSIONES**

El contenido de zinc en los concentrados de plomo y cobre está en rangos razonables de comercialización.

Para separar los concentrados de cobre y plomo, en este mineral el proceso que mas se adapta es el método de depresión del plomo y el reactivo más efectivo por su poder oxidante es el dicromato de sodio, también se puede usar el dicromato de potasio, pero es más caro.

El dicromato de potasio es un reactivo no compatible con el medio ambiente por lo que se puede usar en combinación con dextrina, carboximetil celulosa ó extractos de madera como el quebracho o taninos con el objeto de bajar el consumo de este reactivo y disminuir el daño al medio ambiente.

La tecnología de flotación diferencial se aplica a minerales sulfurados, sin embargo hay minerales complejos que contienen una variedad de sulfuros y no responden bien a este proceso por varios factores, principalmente por entrelazamientos minerales en granulometrías muy finas ó activación natural de la esfalerita y sulfuros de hierro.

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

Debido al problema anterior los concentrados de plomo y cobre saldrán con alto contenido de zinc y pirita, complicando severamente los procesos posteriores de fundición y refinación y baja recuperación de zinc en su circuito.

El método de flotación diferencial se aplica a minerales poli metálicos sulfurados, (Sutulov, 1963) dependiendo de su composición química y complejidad mineralógica se realizará el procesamiento metalúrgico con los reactivos y diagramas de flujo más adecuados.

## **VI.- AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Superior de Investigaciones, al Instituto de Investigaciones de la facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica, a la Dirección y Coordinación de la EAP de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM, por las facilidades prestadas a través de los Laboratorios de Metalurgia Extractiva así como a Profesores y al grupo de estudiantes: Oscar Francisco Cardoza, Gloria Violeta Arotinco Yucra, Eduar Wilmer Villavicencio Jaimes, Julliette Josefina Huaroto Quintanilla y Carlos Arturo Rivera Reaño; quienes colaboraron con el desarrollo del Proyecto de Investigación No. 101601021.

## **VII.- REFERENCIAS**

- 1- AMERICAN CYANAMID COMPANY "MANUAL DE PRODUCTOS QUÍMICOS" PARA MINERÍA" IMPRESO EN MEXICO 1986, TRADUCIDO POR Ma. ELENA SAUCEDO LOYA, A. GIRALDEZ Y J.A.GUTIERREZ ABRIL 1988
- 2- ASTUCURI T. VENANCIO "INTRODUCCION A LA FLOTACION DE MINERALES" - LIMA-PERU - 1999.
- 3- AZAÑERO ORTIZ ANGEL "CURSO DE CONCENTRACIÓN Y FLOTACIÓN DE MINERALES", EAP ING. METALURGICA, UNMSM, LIMA, PERU - 2010.
- 4- EGAS SAENZ ANGEL "EVALUACION DE PLANTAS CONCENTRADORAS" 1° EDICION, LIMA – PERU 1985
- 5.- QUIMICA AMTEX S.A. "PRESENTACIÓN GRUPO AMTEX" SIMPOSIUM: AVANCES EN FLOTACIÓN DE MINERALES POLIMETALICOS, LIMA – PERÚ JULIO 2006.
- 6.- QUIÑONES LAVADO, LOURDES JANET "MINERALURGÍA MINERAL POLIMETÁLICO SULFURADO DE Pb, Cu, Y Zn" INFORME TECNICO OCTUBRE, 2010.

\* Profesores del Departamento Académico de Ing. Metalúrgica  
[aazaneroo@unmsm.edu.pe](mailto:aazaneroo@unmsm.edu.pe), [vidalaramburu@hotmail.com](mailto:vidalaramburu@hotmail.com), [lourdesjanetq@yahoo.com](mailto:lourdesjanetq@yahoo.com),  
[mcabrerass@unmsm.edu.pe](mailto:mcabrerass@unmsm.edu.pe), [lpuentes@unmsm.edu.pe](mailto:lpuentes@unmsm.edu.pe), [victorafalconi@hotmail.com](mailto:victorafalconi@hotmail.com)

- 7.- SUTULOV ALEXANDER "FLOTACION DE MINERALES". UNIVERSIDAD DE CONCEPCION - INSTITUTO DE INVESTIGACION CHILE 1963.
  
- 8.- ZEGARRA Y C. PEREZ "SELECCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SEPARACION DE Cu-Pb FLOTACION Y OPTIMIZACION ECONOMICA" CENTROMIN - LA OROYA – PERU 1998.