

El problema de la activación natural de la esfalerita durante la flotación selectiva

The problem of natural sphalerite activation during the selective flotation

Ángel Azañero O., Pablo Núñez J., Vidal Aramburú R., Lourdes Quiñones L. y Luis Puente S.*

RECIBIDO: 25/06/2012 - APROBADO: 30/10/2012

RESUMEN

La activación natural de la esfalerita durante la flotación del plomo está relacionada principalmente a la contaminación del concentrado de plomo. El alto contenido de zinc en el concentrado de plomo recibe castigos económicos por mayores costos en refinación, además disminuye el contenido de zinc en su circuito de flotación. Esta investigación se ha realizado con cinco muestras de minerales diferentes para identificar las probables causas de activación natural de la esfalerita. Los resultados indican que las causas son intercrecimientos mineralógicos entre el plomo y zinc, y presencia de sales solubles de Cu^{2+} . Los iones ferrosos Fe^{2+} y férrico Fe^{3+} no muestran un efecto importante en la activación de la esfalerita.

Palabras clave: activación esfalerita, flotación de plomo

ABSTRACT

The natural activation of sphalerite during flotation of lead is mainly related to the pollution of lead concentrate. The high content of zinc in lead concentrates bears economical penalties due to high refining costs, additionally, high zinc content in lead concentrate reduces zinc content in zinc circuit flotation. This research was carried out on five different mineral samples in order to identify reasons for natural activation of sphalerite. The results indicate that mineralogical intergrowths between lead and zinc, and presence of soluble Cu^{2+} salts are responsible for sphalerite activation during flotation. Ferrous, Fe^{2+} , and ferric ions Fe^{3+} show no significant effect on the activation of sphalerite.

Keywords: activation, sphalerite, flotation of lead

* Docentes de la EAP de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM. E-mail: aazañero@gmail.com, pnunvez@unmsm.edu.pe, vidalaramburu@hotmail.com, lquinonesl@unmsm.edu.pe, lupuente@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

En el procesamiento de minerales sulfurados de plomo, plata y zinc, se debe lograr concentrados con el menor contenido de contaminantes, donde el concentrado de plomo debe tener mínimos contenidos de zinc y viceversa, usualmente para flotar la esfalerita se debe activar previamente con reactivos activadores específicos y el reactivo más usual es el sulfato de cobre, no obstante hay minerales donde al flotar el plomo-plata, el zinc flota en este circuito sin haber adicionado el activador, estos minerales presentan una activación natural y se debe investigar las causas que la originan y cómo disminuir el alto contenido del zinc en el concentrado de plomo, el zinc en el plomo trae pérdidas durante las etapas del tratamiento posterior y causan daño a los equipos donde se realiza este proceso.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Flotación de sulfuros de plomo y zinc

El procesamiento de minerales de plomo-plata y zinc por el método de flotación diferencial consiste:

- Flotación del plomo deprimiendo simultáneamente la esfalerita y pirita.
- Activación y flotación de la esfalerita, deprimiendo nuevamente la pirita (Quiroz, 1998; Zegarra y Pérez, 1997).

2.2. Flotación plomo

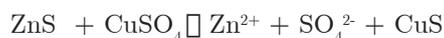
Se realiza a pH natural o levemente alcalino con una depresión simultánea de los sulfuros de zinc y pirita (American Cyanamid Company, 1976).

2.3. Depresión de la esfalerita y pirita

Durante la flotación del plomo, la esfalerita y la pirita deben permanecer deprimidas. (Marsden, 1996).

2.4. Activación de la esfalerita con depresión simultánea de pirita

Para flotar la esfalerita hay que activarla con sulfato de cobre



Simultáneamente se deprime la pirita en pH 10–12 (Fuerstenau y Raghavan, 1976) y (Gaudin, 1957).

2.5. Se puede controlar la activación natural de la esfalerita

En minerales que no presentan este problema se puede controlar con sulfato de zinc, cianuros, bisulfitos, carbonato de calcio y sulfuro de sodio (Sutulov, 1963). Las mezclas NaCN – ZnSO₄ y el Na₂CO₃ pueden controlar parcialmente la esfalerita activada.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se realizaron pruebas metalúrgicas a los cinco minerales:

- Pruebas de flotación diferencial plomo/zinc.
- Caracterización mineralógica.
- Análisis químico de los productos de flotación.
- Análisis químico de pulpas de flotación (soluciones) antes y después de flotar el plomo.
- Cuantificar el contenido de iones Cu²⁺ y Fe³⁺ y su influencia en los resultados de flotación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha realizado el análisis de cabeza experimental y pruebas de flotación y los resultados se muestran en las Tablas N.º 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Tabla N.º 1. Análisis de contenido al mineral de cabeza. Leyes: %; Ag: gr/TM 5 minerales de Pb/Zn

Pb	PbOx	Cu	CuOx	Ag	As	Sb	Zn	ZnOx	Fe	S	MUESTRA
15.37	0.730	0.31	0.013	63	0.04	4.45	9.44	0.185	15.63	11.07	A
2.16	0.37	0.15	0.015	363	0,82	0,27	15.22	0.63	19.15	25.71	B
4,89	0,86	0,02	0,01	15	0,04	0,07	3,39	0,36	1,75	2,80	C
1,77	0,40	0,09	0,02	79	2,15	<10	3,29		10,58		D
1,38	0,12	0,04	0,01	297	2,35	0,14	2,14				E

Fuente: Laboratorios Alex Stewart

Tabla N.º 2. Resultados de flotación diferencial de Pb/Zn-Muestra A

Productos	Peso %	Leyes: %					Recuperación %		R.C.
		Pb	Zn	Fe	As	Sb	Pb	Zn	
Conc. Pb	13.56	54.41	4.53	1.34	0.064	17.17	50.41	6.53	7.37
Medio Pb	16.46	30.03	15.88				33.76	27.77	
Conc. Zn	9.80	4.20	51.56	0.595	7.47	2.37	2.81	53.68	10.20
Medio Zn	6.65	9.43	12.57				4.28	8.88	
Relave	53.53	2.39	0.553				8.74	3.14	
Cab. Calc.	100.00	14.64	9.41				100.00	100.00	

Fuente: Laboratorios Alex Stewart

Tabla N.º 3. Resultados de flotación diferencial de Pb/Zn-Muestra B

Resultados de flotación									
Producto	Peso %	Leyes %					Recuperaciones %		R.C.
		Pb	Zn	Fe	As	Sb	Pb	Zn	
Conc. de Pb	1,91	39,78	12,59	12,55	1,52	1,52	36,02	1,53	52,26
Medios Pb	4,27	5,71	23,04				11,37	6,27	
Conc. de Zn	20,50	1,44	46,29	14,48	0,353	0,23	14,22	60,68	4,88
2.º Medio Zn	4,88	1,52	27,31				3,32	8,50	
1.º Medio Zn	20,80	0,83	11,34				8,06	15,09	
Relave Gral.	47,64	1,19	2,61				27,01	7,93	
Cab. Calc.	100,00	2,11	15,65				100,00	100,00	

Fuente: Laboratorios Alex Stewart

Tabla N.º 4. Resultados de flotación diferencial de Pb/Zn-Muestra C

Producto	% Peso	Leyes %					Distribución %		Rc
		Pb	Zn	Fe	As	Sb	Pb	Zn	
Conc. Pb	5,39	70,08	10,07	0,40	0,02	0,010	74,89	15,04	18,547
Medios Pb	2,35	9,62	29,05	-	-	-	4,48	18,92	
Conc. Zn	3,26	5,82	55,86	1,20	0,05	0,003	3,76	50,47	30,666
Medios Zn	4,58	4,94	5,07	-	-	-	4,49	6,44	
Relave	84,42	0,74	0,39	-	-	-	12,38	9,12	
Cab. Calc.	100,00	5,05	3,61				100,00	100,00	

Fuente: Laboratorios Alex Stewart

Tabla N.º 5. Resultados de flotación diferencial de Pb/Zn-Muestra D

Resultados de flotación										
Producto	% Peso	Leyes %						Distribución %		Rc
		Pb	Zn	Cu	Fe	As	Sb	Pb	Zn	
Conc. Pb	4,08	30,58	2,72	-	14,1	8,92	0,014	72,04	3,30	24,513
Medios Pb	4,47	3,59	4,48	-	-	-	-	9,27	5,96	
Conc. Zn	4,23	0,74	42,14	-	12,0	1,48	< 20 ppm	1,81	53,01	23,658
Medios Zn	15,82	0,81	6,75	-				7,40	31,77	
Relave	71,40	0,23	0,28	-	-	-	-	9,48	5,95	
Cab. Calc.	100,00	1,73	3,36	100,00				100,00		

Fuente: Laboratorios Alex Stewart

Tabla N.º 6. Resultados de flotación diferencial de Pb/Zn-Muestra E

Resultados de flotación									
Producto	% Peso	Leyes %					Distribución %		Rc
		Pb	Zn	Fe	As	Sb	Pb	Zn	
Conc. Pb	2,41	39,10	5,84	11,30	6,92	3,830	74,85	6,34	41,44
Medios Pb	1,63	3,70	4,81	-	-	-	4,78	3,53	
Conc. Zn	2,91	1,10	54,20	7,64	0,99	0,110	2,54	70,97	34,37
Medios Zn	5,54	1,53	5,79	-	-	-	6,73	14,44	
Relave	87,51	0,16	0,12	-	-	-	11,11	4,73	
Cab. Calc.	100,00	1,26	2,22	100,00			100,00		

Fuente: Laboratorios Alex Stewart

4.1. Caracterización mineralógica

Los estudios se realizaron en el Laboratorio de microscopía de la EAP de Ingeniería Geológica y Laboratorio de BISA.

Muestra A

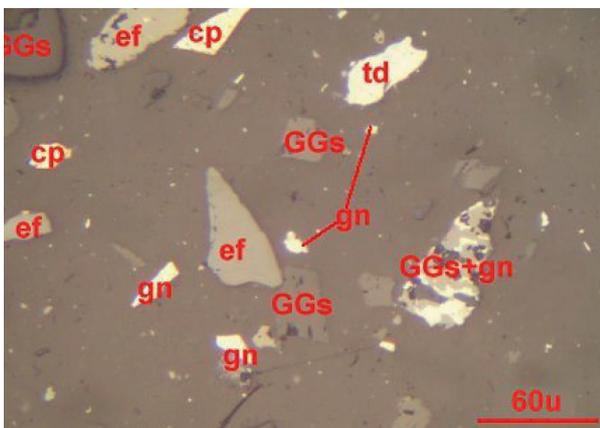


Figura N.º 1. Micrografía del mineral A microfotografía N.º 2. Partículas libres de galena (gn), calcopirita (cp), tetraedrita (td), esfalerita (ef) y de gangas (GGs); además de ellas están las partículas entrelazadas de galena con la ganga (GGs+gn). Magnificación: 200X.

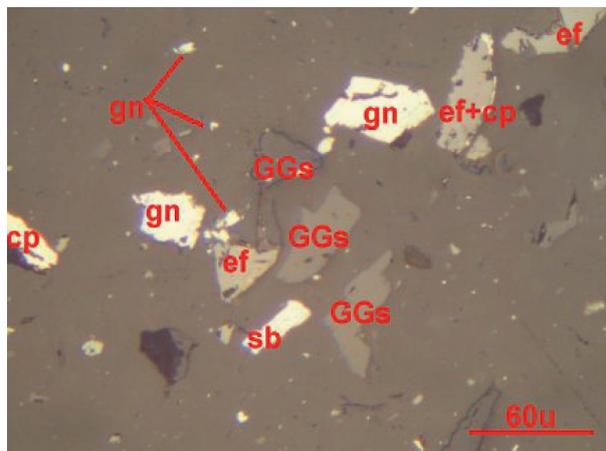


Figura N.º 2. Mineral A microfotografía N.º 4: Partículas libres de galena (gn), calcopirita (cp), esfalerita (ef), estibina (sb) y de gangas (GGs). Las otras partículas son las entrelazadas de la esfalerita con la calcopirita (ef + cp). Magnificación: 200X.

Muestra B

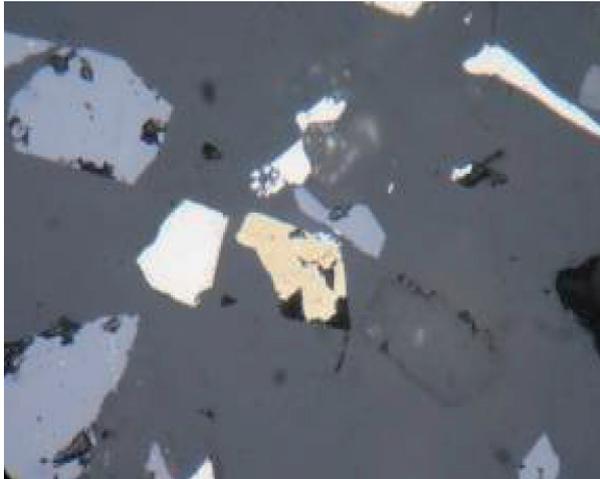


Figura N.º 3. Mineral B microfotografía No. 5: Granos libres de calcopirita (cp), pirita (py) y esfalerita (et).
Fuente: Laboratorios BISA

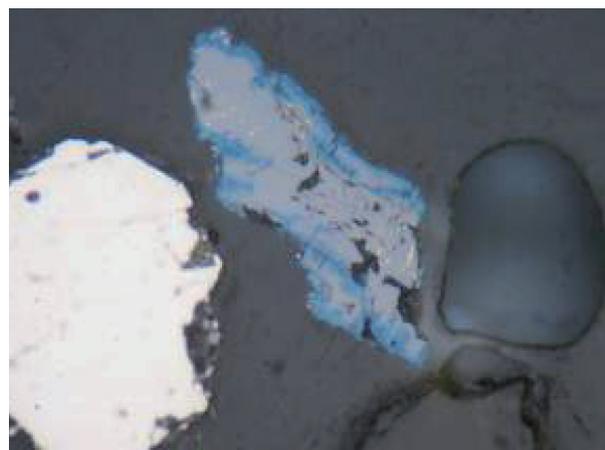


Figura N.º 4. Mineral B microfotografía N.º10: Granos libres de pirita (py). Mixtos de esfalerita/covelita/estannita (ef/cv/esn).
Fuente: Laboratorios BISA

Concentrado de plomo: Muestra B

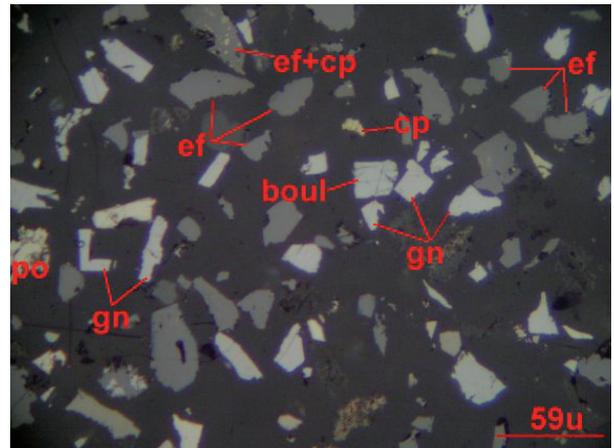


Figura N.º 5. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), de boulangerita (boul) y pirrotita (po) y también están las partículas entrelazadas de la esfalerita con la calcopirita (ef + cp). Magnificación: 200X.

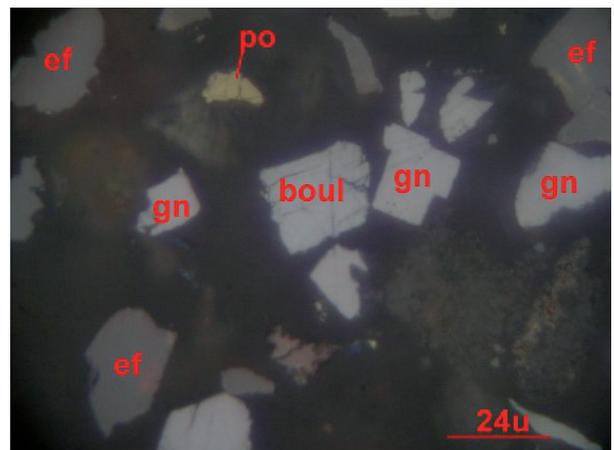


Figura N.º 6. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), boulangerita (boul) y de pirrotita (po). Magnificación: 500X.

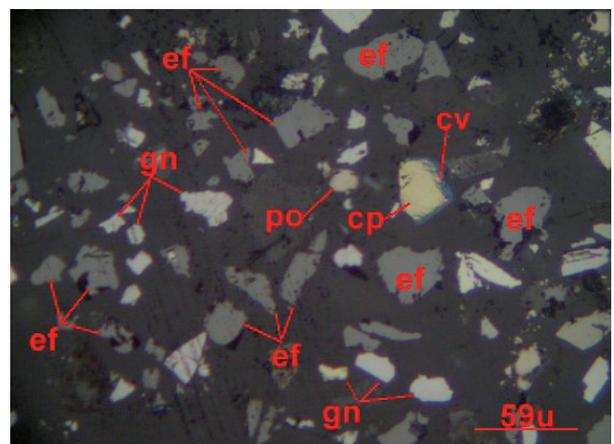


Figura N.º 7. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), y también están las partículas entrelazadas de la calcopirita con la covelita (cp + cv). Magnificación: 200X.

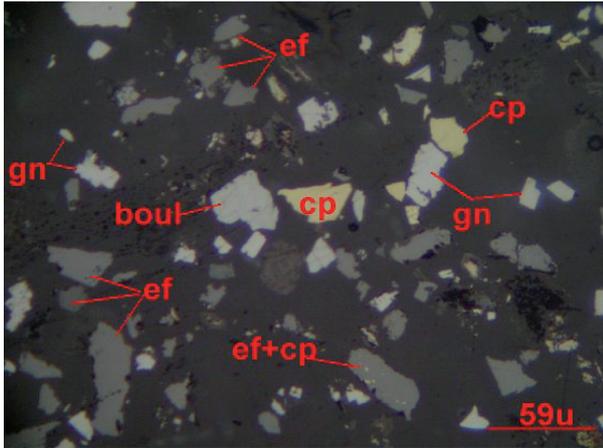


Figura N.º 8.. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), calcopirita (cp), boulangerita (boul) y también están las partículas entrelazadas de la esfalerita con la calcopirita (ef + cp). Magnificación: 200X.

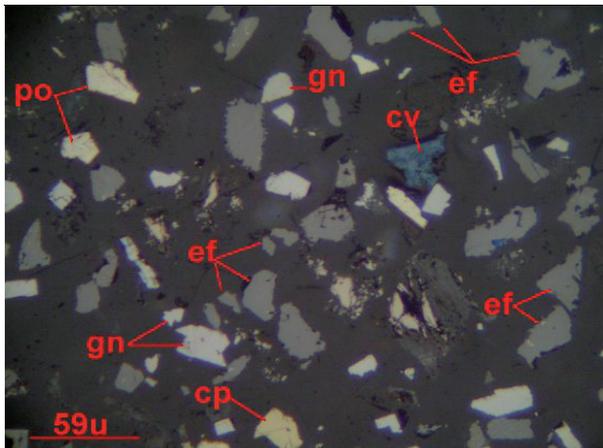


Figura N.º 9. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef), calcopirita (cp), covelita (cv) y pirrotita (po). Magnificación: 200X.

4.2. Grados de liberación concentrado de plomo: Muestra B

Los grados de liberación que presentan los minerales que han intervenido en el análisis modal de concentrado de plomo de la muestra B, son proporcionados en porcentajes.

Tabla N.º 7. Grados de liberación

Minerales	% de liberación
Esfalerita	97.00
Galena	97.00
Calcopirita	97.00
Pirita	99.00
Pirrotita	99.00
Gangas	100.00

Concentrado de plomo: Muestra C

A continuación se muestran las micrografías tomadas durante el estudio:

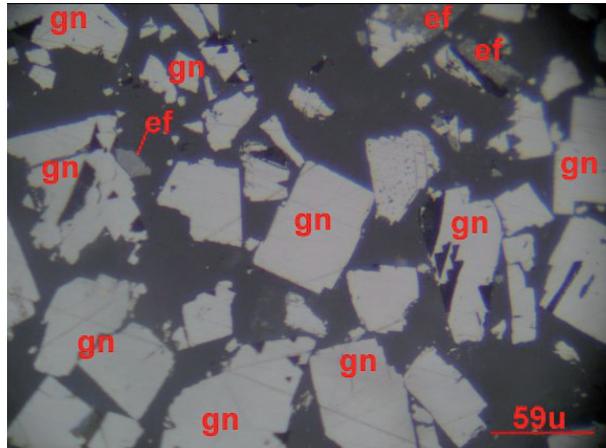


Figura N.º 10. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef). Magnificación: 200X.

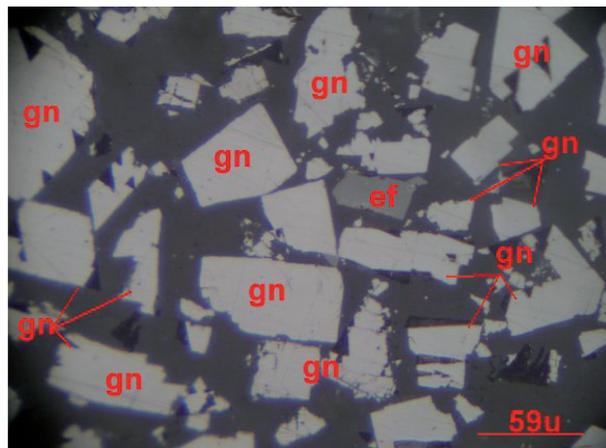


Figura N.º 11. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef). Magnificación: 200X.

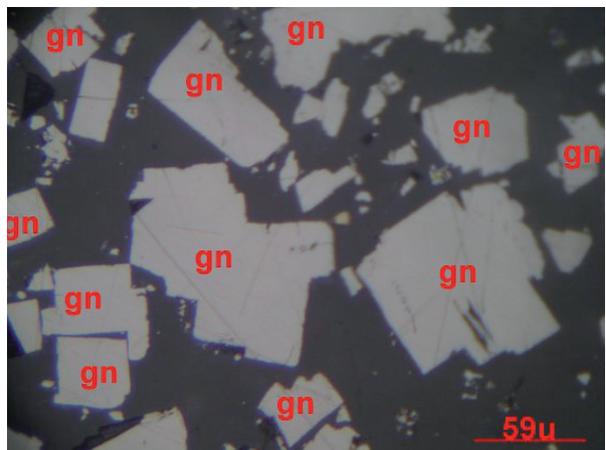


Figura N.º 12. Partículas libres de galena (gn). Magnificación: 200X.

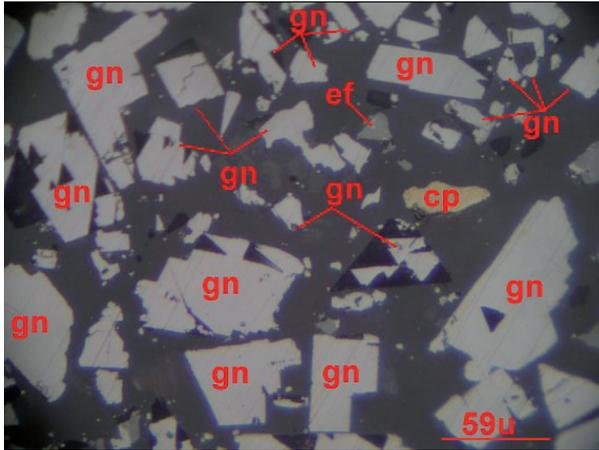


Figura N.º 13. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef) y calcopirita (cp). Magnificación: 200X.

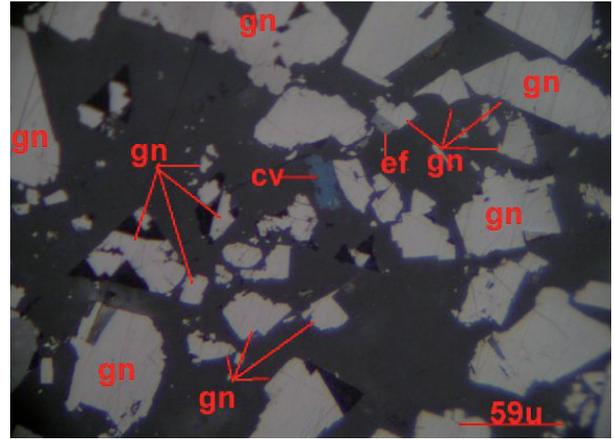


Figura N.º 15. Partículas libres de galena (gn), covellita (cv) y también están las partículas entrelazadas de la galena con la esfalerita (ef + gn). Magnificación: 200X.

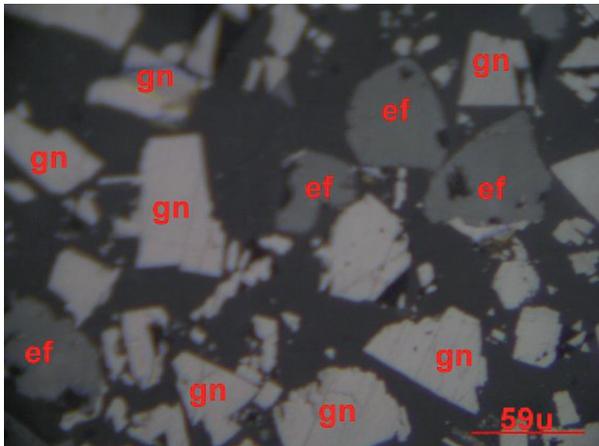


Figura N.º 14. Partículas libres de galena (gn), esfalerita (ef) y también están las partículas entrelazadas de la esfalerita con la galena (ef + gn). Magnificación: 200X.

Grados de liberación del concentrado de plomo: Muestra C

Los grados de liberación que presentan los minerales que han intervenido en el análisis modal de la muestra, concentrado de plomo Muestra C, dichos grados de liberación son proporcionados en porcentajes.

Tabla N.º 8. Grados de liberación.

Minerales	% de liberación
Galena	99.90
Esfalerita	99.00
Gangas	100.00

4.3. Desplazamiento de zinc al concentrado de plomo

Tabla N.º 9. Resultados de flotación en función del desplazamiento de zinc al concentrado de plomo: cinco minerales de Pb/Zn

PRODUCTO	PESO %	LEYES %		DISTRIBUCIÓN %		MUESTRA
		Pb	Zn	Pb	Zn	
Conc. Pb	13.56	54.41	4.53	50.41	6.53	34.30 A
Medios Pb	16.46	30.03	15.88	33.76	27.77	
Conc. Pb	1.91	39.78	12.59	36.02	1.53	7.80 B
Medios Pb	4.27	5.71	23.04	11.37	6.27	
Conc. Pb	5.39	70.08	10.07	74.89	15.04	33.60 C
Medios Pb	2.35	9.62	29.05	4.48	18.92	
Conc. Pb	4.08	30.58	2.72	72.04	3.30	9.26 D
Medios Pb	4.47	3.59	4.48	9.27	5.96	
Conc. Pb.	2.41	39.10	5.84	74.85	6.34	9.87 E
Medios Zn	1.63	3.70	4.81	4.78	3.53	

Fuente: Cuadros 2, 3, 4, 5 y 6 (Azañero A. 1999)

4.4. Análisis químico de pulpa de flotación

Tabla N.º 10. Resultados de análisis químico de la pulpa antes y después de flotar el plomo en tres muestras minerales

PRODUCTO	LEYES mg/lit.		MINERAL
	Cu	Fe	
Solución molienda	0.10	13.0	A
Solución flotada	0.12	144.0	
			B
Solución molienda	0.06	64.4	
Solución flotada	0.017	0.14	
			C
Solución molienda	2.30	0.12	
Solución flotada	1.33	0.12	

Fuente: HYF Laboratorios S.A.C 2011

V. CONCLUSIONES

Muestra A presenta activación parcial del zinc, pero se puede controlar en la etapa de limpieza.

Muestras D y E no hay desplazamiento de zinc al concentrado de plomo, el zinc no está activado.

En las muestras A y B se aprecia bajo nivel de iones Cu^{2+} (Cuadro N.º 10).

Minerales B y C muestran alto contenido de zinc en el concentrado plomo.

El estudio mineralógico del concentrado de plomo muestra B, indica 97% de liberación de plomo y zinc (Tabla N.º 7), los contenidos de iones cúpricos son bajos (Tabla N.º 10).

La relación en peso $\text{Zn/Pb}=7$ es alta (Tabla N.º 1); el zinc se desplazaría al concentrado de plomo por arrastre, debido al bajo contenido de plomo en el mineral y por intercrecimientos mineralógicos.

El estudio mineralógico del concentrado de plomo de la muestra C, indica 99% de liberación entre la galena y la esfalerita. Las Tablas N.º 8 y 10 nos indican que los contenidos de iones cúpricos son altos en la muestra C, en este mineral la esfalerita se encuentra fuertemente activada.

El alto contenido de iones férricos Fe^{3+} no influye en la activación de la esfalerita.

De acuerdo a los resultados obtenidos los altos contenidos de iones Cu^{2+} son los principales responsables de la activación de la esfalerita.

VI. AGRADECIMIENTOS

Al Vicerrectorado de Investigaciones, a través del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica, a la Dirección y Coordinación de la EAP de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, por las facilidades prestadas a través de los Laboratorios de Metalurgia Extractiva. A los profesores Walter Rengifo Sing, Jorge Ventosilla Shaw, Ronal Valencia Bellido y Elard León Delgado, y a los estudiantes Carlos Rivera Reaño, Juliette Huaroto Quintanilla y Oscar Francisco Cardoza Ramos, quienes apoyaron en la ejecución de este proyecto de investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Cyanamid Company (1976). "Mining Chemicals Handbook". Mineral Dressing Notes N.º 26. Copyright by American Cyanamid Company, Rev. 7/81 USA.
2. Azañero, A. (1999). "Modelos Matemáticos para simular Flotación Industrial a partir de Pruebas de Laboratorio". Revista del Instituto de Investigaciones - FGMMCG - UNMSM Vol. 2, N.º 3, pp. 69-83, Lima.
3. Fuerstenau D. y Raghavan S. (1976). "Some Aspects of the Thermodynamic of Flotation". In Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume M.C. Fuerstenau (ed.), pp. 21-65. AIME/SME.
4. Gaudin, A.M. (1957). Flotation. McGraw-Hill, New York.
5. Marsden J. (1996). The Chemistry of Gold Extraction. 2.ª ed., Printed In Great, Britain. Capítulo 9.
6. Sutulov A. (1963). "Flotación de Minerales". Universidad de Concepción - Instituto de Investigación, Chile.
7. Quiroz, I. (1998). "Flotaciones Diferenciales de Sulfuros". UNI.
8. Zegarra J. y C. Pérez (1997). "Selección de Procedimientos de Separación de Cu-Pb Flotación y Optimización Económica". CENTROMIN, La Oroya.