

Caracterización de las esfaleritas por el método de microscopía óptica

CHARACTERIZATION OF SPHALERITES BY THE METHOD OF OPTICAL MICROSCOPY

Janet Quiñones¹, Pedro Gagliuffi¹, Maritza Campian¹

RECIBIDO: 14/10/2013 – APROBADO: 20/12/2013

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal la cuantificación del contenido de hierro en las esfaleritas; se obtuvo la diferenciación de tres tipos de esfaleritas según el contenido de hierro, lo que será de utilidad para la propuesta de soluciones en los problemas metalúrgicos. En este estudio se realizó la caracterización mineralógica de las muestras provenientes de la concentradora Paragsha, del distrito minero de Cerro de Pasco y, especialmente, las esfaleritas utilizando el método de microscopía óptica, para lo cual fue necesario el uso de un microscopio de polarización de luz reflejada.

Se realizó estudios de mayor exactitud como es el caso de análisis modales en donde se hacen cálculos del grado de liberación y asociación mineralógica, las muestras provienen de pruebas realizadas en el laboratorio metalúrgico. La muestra de análisis ha sido tomada de la planta concentradora de Paragsha, luego tamizada para la preparación de las secciones pulidas que sirvieron para la caracterización de cada una de ellas en forma independiente.

El análisis mineralógico realizado nos indicó que las muestras están constituidas por esfalerita 1, esfalerita 2, esfalerita 3, galena, tennantita, hematita, piritita, arsenopiritita, pirrotita, marcasita, calcopiritita, magnetita y gangas. El estudio mineralógico detallado de las muestras de concentrado de Zinc permite conocer si se está realizando el proceso metalúrgico de manera correcta o para mejorar el desarrollo del proceso que se está llevando a cabo en la planta de procesamiento metalúrgico.

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 de las partículas libres y el tipo de entrelazamiento entre los diferentes minerales.

Los resultados de los estudios de caracterización mineralógica son fundamentales porque permiten explicar los fenómenos específicos que suceden en el transcurso de los procesos metalúrgicos.

Palabras clave: Esfalerita, caracterización mineralógica, microscopía óptica, yacimientos de zinc, procesos metalúrgicos.

ABSTRACT

This research's main objective quantification of iron content in sphalerites; differentiation of three types of sphalerites is obtained according to the iron content, which will be useful for the proposed solutions in the metallurgical problems. In this study the mineralogical characterization of samples from the Paragsha concentrator, the mining district of Cerro de Pasco and especially sphalerites using the method of optical microscopy was performed for which it was necessary to use a polarizing microscope reflected light.

Studies was performed as accurately as in the case of modal analysis where estimates of the degree of liberation and mineralogical association are made, the samples come from the metallurgical testing laboratory. The specimen was taken from the concentrator plant Paragsha, then sifted for the preparation of polished sections that were used for the characterization of each independently. Mineralogical analysis showed us that the samples consist of sphalerite 1 sphalerite 2 3 sphalerite, galena, tennantite, hematite, pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, marcasite, chalcopyrite, magnetite and bargains. Detailed analysis of the zinc concentrate samples mineralogical study reveals whether it is making the metallurgical process correctly or for improving the development process

¹ Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Correo electrónico: lourdesjanetq@yahoo.com, mgagliuffie@gmail.com

that is taking place in the indicate the various difficulties encountered during the stage of grinding, these release rates are given in percentages of free particles and the type of entanglement between different minerals. The results of the mineralogical characterization studies are essential because they allow explain specific phenomena occurring during metallurgical processes. Ion are essential because they allow mineralogical explain specific phenomena occurring during metallurgical processes.

Key words: Sphalerite, mineralogical characterization, optical microscopy, deposits of zinc, metallurgical processes.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de la caracterización mineralógica y la cuantificación de Fe en las esfaleritas utilizando la técnica de microscopía óptica en las muestras provenientes de la concentradora Paragsha, del distrito minero de Cerro de Pasco que está localizado en la meseta andina del Perú Central, ubicado en la provincia de Cerro de Pasco en el departamento de Pasco.

La caracterización mineralógica mediante la técnica de microscopía óptica nos permitió un análisis detallado de las muestras seleccionadas, en las que se pudo diferenciar los diferentes tipos de esfaleritas y la cuantificación del contenido de Fe en éstas. Se determinó los rasgos micrográficos mediante las observaciones de los diferentes minerales asociados.

La investigación se realizó por la necesidad de proponer soluciones a las diferentes problemáticas que se presentan durante los procesos metalúrgicos. Es importante resaltar que un buen estudio de caracterización mineralógica requiere siempre del uso de la técnica de microscopía óptica.

I.1 Ubicación y contexto geológico

El Yacimiento de Cerro de Pasco está localizado en la meseta andina del Perú Central, ubicado en la provincia de Cerro de Pasco en el departamento de Pasco.

El Yacimiento polimetálico de Cerro de Pasco es considerado en el grupo de Yacimientos de reemplazamiento y relleno de caliza por cuanto parte de la mineralización se ha producido por reemplazamiento de la caliza Pucará del Jurásico-Triásico al este del cuerpo mayor de sulfuros y al este de la falla Cerro de Pasco.

El cuerpo mayor de sulfuros se formó por un proceso de exhalación volcánica continental, emplazándose dicho cuerpo en el borde de una diatrema de grandes dimensiones, entre un cuerpo brechoso al Oeste de la falla Cerro de Pasco de rumbo Norte-Sur.

La mineralización está constituida por un cuerpo de pirita-sílice, cuerpos de plomo-zinc, vetas de cobre-plata y los llamados cuerpos de pirita-pirita

Los cuerpos de pirita-sílice se ubican en el borde del evento explosivo. Hacia el sur se divide en dos brazos, uno según el borde del evento explosivo y otro según la falla de Cerro de Pasco. A profundidad el cuerpo de pirita-sílice disminuye.

Los cuerpos de plomo-zinc se ubican hacia el Oeste del cuerpo de pirita en la caliza del Grupo Pucará de forma oval, del eje mayor al norte y a distancia vertical hasta 400 m, con baritina hacia el Este. Existen cuerpos de pirrotita que tienen algo de magnetita, algo de esfalerita, calcopirita, arsenopirita y casiterita. La esfalerita está

zonada oscura al centro, con una textura de calcopirita en la esfalerita.

Las vetas y cuerpos de cobre-plata tienen un rumbo oeste-este y cortan a los cuerpos de pirita-sílice, con presencia de pirita y tetraedrita. Al oeste del cuerpo de pirita-sílice presentan cuerpos de cobre-plata. También se observa menor cantidad de luzonita, calcopirita, chalcocita hipógena, bornita como minerales de cobre y además bismutinita. (Tumialan P.H. 2003). Véase Figura N.º 1.

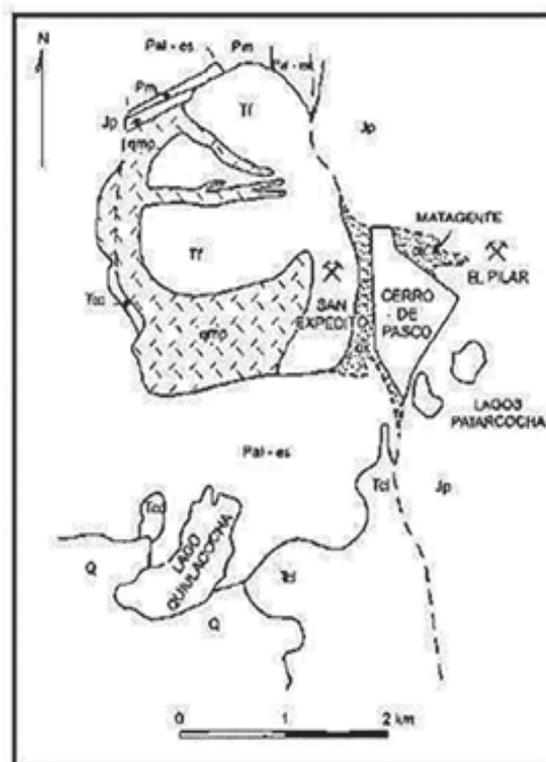


Figura N.º 1. Plano generalizado de Cerro de Pasco Q=Cuaternario; qmp = pórfido de cuarzo-monzonita; Tf = fragmental Lourdes y aglomerado Rumillana; Tcl = caliza Calera; Tcc = conglomerado de caliza Shuco; Jp = Formación Pucará; Pm = Formación Mitú; Pal-es = Formación Excelsior; ox = óxidos, (Petersen, U. 1965). Fuente: Tumialan 2003, Boletín de INGEMMET.

II. MARCO TEÓRICO

La caracterización mineralógica de concentrados en operaciones mineras es una herramienta indispensable como soporte para el ingeniero metalúrgico en la planeación, optimización y monitoreo de los diversos procesos de recuperación en diversos tipos de mena, porque permiten conocer de manera precisa el tipo de especies que componen una mena que va a ser procesada o se está procesando.

2.1 Esfalerita

Es un mineral compuesto por sulfuro de zinc (ZnS). Su nombre deriva del término alemán Blender, engañar, por su aspecto que se confunde con el de la galena. Es la principal mena del zinc. La esfalerita contiene el 67 % de zinc y el 33 % de azufre y puede contener un % de hierro. Presenta las siguientes características ópticas: Traslúcido e incluso transparente. Con luz reflejada aparece de color gris y reflexiones internas amarillas, pardas o rojizas, dependiendo del contenido en hierro. (Cornelius *et al.*, 2003).

2.2 Estudios de caracterización

El estudio de caracterización es un conjunto de técnicas empleadas para conocer la mineralogía de una muestra y poder identificar minerales de interés económico, de ganga, etc., así como determinar grados de liberación y asociaciones de los mismos. De la misma forma es posible identificar pérdidas de valores y minerales económicos en colas finales o relaves del proceso de separación (Ojeda E. *et al.*, 2010).

2.3 Caracterización mineralógica

La caracterización mineralógica es una técnica muy utilizada en el beneficio de los minerales debido a que proporciona información sobre el arreglo y condiciones físicas de los minerales a partir de conocer la textura, forma, tamaño, cantidad y disposición de los minerales, así también sirve como guía en la selección de los métodos adecuados de concentración y tamaño de liberación con el fin de obtener una recuperación óptima (Sánchez A. y De la Rosa, 2007).

2.4 Microscopía óptica de luz reflejada

La microscopía óptica de luz reflejada es un estudio que aprovecha las propiedades ópticas de los minerales opacos siendo posible identificarlos por su color, textura, dureza, brillo, etc. Esta técnica permite determinar algunos minerales opacos, particularmente sulfuros metálicos, siendo posible determinar sus tamaños, asociaciones y liberaciones mediante un cuidadoso conteo de partículas y complementando en conjunto con los ensayos unacuantificación de diferentes especies minerales (Ojeda E. *et al.*, 2010)

2.5 Procesos metalúrgicos

Los procesos metalúrgicos constan de dos operaciones: la concentración, que consiste en separar el metal o compuesto metálico del material residual que lo acompaña el mineral, y el refinado, en el que se trata de producir el metal en un estado puro o casi puro, adecuado para su empleo.

Las muestras de un proceso se estudian en tres etapas:

1. Cabeza (Etapa de entrada) para determinar el método que se va a utilizar para la separación de los minerales.
2. Concentrado (Durante el proceso) para realizar el control del concentrado que se está obteniendo del proceso metalúrgico.
3. Relave (Etapa de finalización). (Azañero *et al.*, 2012)

2.6 Concentrados de mineral

Se le llama concentrado, en el quehacer minero, al producto rico en metales. Los concentrados se obtienen mediante varios procesos tales como la flotación, la lixiviación, la gravimetría, entre otros. Llevan el nombre del mayor metal contenido, pueden ser concentrados de zinc, cobre, plomo y otros. Entonces, puede señalarse que los concentrados contienen metal pero que está acompañado por otros elementos, además de materiales residuales.

2.7. Grado de liberación

El Grado de liberación es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas minerales “libres”; su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, y dado que es un parámetro de importancia decisiva tal determinación debe basarse en una metodología técnica y científicamente bien fundamentada (Craig & Vaughman 1997).

III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación desarrollada es aplicada de tipo experimental, para lo cual fue necesaria la preparación de muestras en sección pulida para realizar una caracterización mineralógica mediante un estudio microscópico utilizando un microscopio de luz reflejada.

Las muestras se han estudiado mediante el microscopio de luz polarizada por el método de reflexión marca Leitz Ortholux II en el Laboratorio de Microscopía Óptica de la EAP. de Ingeniería Geológica de la UNMSM, 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 en tablas que se muestran a continuación.

La descripción de los minerales se realizó en base a la determinación de sus propiedades ópticas, las cuales permitieron la identificación de los diferentes minerales presentes en las muestras.

También se realizó estudios con una mayor exactitud como es el caso de análisis modales en donde se hacen cálculos de liberación y asociación mineralógica. La muestra de análisis en cada caso fue tamizada a diferentes mallas y el análisis de caracterización de cada fracción se realiza en forma independiente.

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. (Ver Tabla N.º 2).

La caracterización mineralógica detallada incluye los minerales constituyentes, su volumen porcentual, grado de liberación y los entrelazamientos de los minerales presentes en las muestras de concentrado.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis microscópico de las muestras

La caracterización mineralógica 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.

4.2 Muestras de concentrado de zinc

En la Tabla N.º 1 se incluyen los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal de las muestras de concentrado en las mallas +100,+200,+270,+325,+400 y -400.

En la Tabla N.º 1 se puede diferenciar lo siguiente:

- **Minerales auríferos:** En esta muestra no se han observado minerales auríferos.
- **Minerales argentíferos:** No se han observado minerales de plata, la galena es portadora de este valor metálico.
- **Minerales ferríferos:** Como minerales ferríferos están la pirita, pirrotina, hematita, magnetita, marcasita y la arsenopirita.
- **Minerales cupríferos:** Como mineral de cobre está la calcopirita, y tenantita.
- **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.

4.3 Distribución volumétrica y grado de liberación

Las distribuciones volumétricas son reportadas en términos porcentuales, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se presentan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en la Tabla N.º 2.

4.4 Interpretación de los resultados

Los volúmenes porcentuales representados en la Tabla N.º 2 representan al volumen en porcentaje (V %) de cada uno de los minerales que constituyen las muestras de concentrado de Zinc que fueron tamizados en las mallas +100, +200,+270, +325,+400 y -400.

Los valores de los grados de liberación que presentan los minerales nos indican el porcentaje de partículas libres y las partículas que no han sido liberadas, las que se encuentran aún entrelazadas, siendo el motivo de su no liberación total los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos. (Amstutz Christian, 1954).

4.5 Micrografías

A continuación se muestran las micrografías tomadas durante el estudio que son muestras fehacientes de lo observado. Ver Figuras N.º 2 al 13.

Tabla N.º 1. Mineralogía de las muestras.

Minerales	Fórmula	Abreviatura	Malla +100	Malla +200	MALLA +270	MALLA +325	MALLA +400	MALLA - 400
Esfalerita 1	ZnSFe	ef1	X	x	x	X	X	X
Esfalerita 2	ZnSFe	ef2	X	x	x	X	X	X
Esfalerita 3	ZnSFe	ef3	X	x	x	X	X	X
Galena	PbS	gn	X	x	x	X	X	X
Tenantita	Cu ₃ AsS ₃ , 25	tn	X	x	-	-		X
Hematita	Fe ₂ O ₃	hm	X	x	x	X	X	X
Pirita	FeS ₂	py	X	x	x	X	X	X
Arsenopirita	FeAsS	apy	X	x	x	X	X	
Pirrotita	Fe(1-x)S	po	X	x	-	X		X
Marcasita	FeS ₂	mc	-	x	-	X		
Calcopirita	CuFeS	cp	-		x	X		
Magnetita	FeO·Fe ₂ O ₃	mt					X	
Gangas		GGs	X	x	x	X	X	X

Tabla N.º 2. Distribución volumétrica y grados de liberación

Minerales de las muestras	Malla + 100		Malla + 200		Malla + 270		Malla + 325		Malla + 400		Malla - 400	
	Vol.%	Grado de Lib.										
Esfalerita 1	14.43	66.96	19.19	83.52	25.38	80.40	24.60	79.25	29.38	88.74	43.92	99.83
Esfalerita 2	42.98	84.6	40.08	76.24	33.52	80.68	33.90	89.90	32.76	92.64	30.04	98.49
Esfalerita 3	10.68	69.19	15.82	75.38	16.99	72.07	13.10	89.27	9.26	84.03	5.79	93.28
Galena	1.25	45.45	0.91	0.00	2.25	22.68	1.90	37.38	0.27	0.00	0.89	97.56
Tennantita	2.24	25.32	0.22	0.00	-	-	-	-	-	-	0.22	100.00
Hematita	0.06	0.00	0.11	0.00	0.36	0.00	0.07	0.00	0.04	0.00	0.06	0.00
Pirita	8.72	52.12	17.74	63.04	17.27	53.18	22.31	74.66	26.69	81.63	18.10	97.85
Arsenopirita	0.2	0.00	0.26	0.00	0.97	52.63	0.30	0.00	0.04	0.00	-	-
Pirrotita	0.03	0.00	0.04	0.00	-	-	0.43	0.00	-	-	0.65	100
Marcasita	-	-	0.26	0.00	-	-	0.71	100.0	-	-	-	-
Calcopirita	-	-	-	-	0.05	0.00	-	-	-	-	-	-
Magnetita	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.00	-	-
Gangas	19.41	43.90	5.37	27.75	3.21	47.62	2.20	48.13	1.48	78.95	0.33	0.00

Grado de Lib. = Grados de Liberación de los minerales

Vol. % = Volumen porcentual de los minerales.

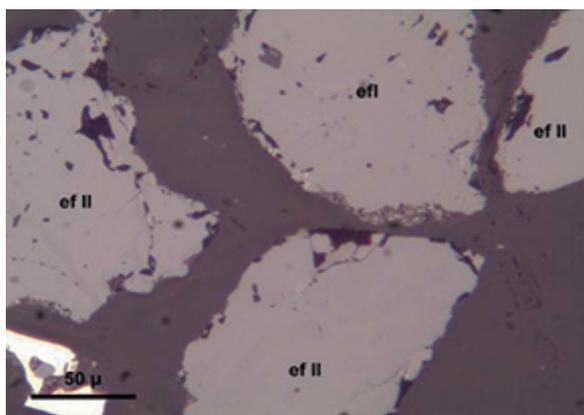


Figura N.º 2. Partículas libres de esfalerita 1 (ef1) y esfalerita 2 (ef2) en nicols paralelos. Magnificación: 200X. Muestra de concentrado de zinc en malla +100.

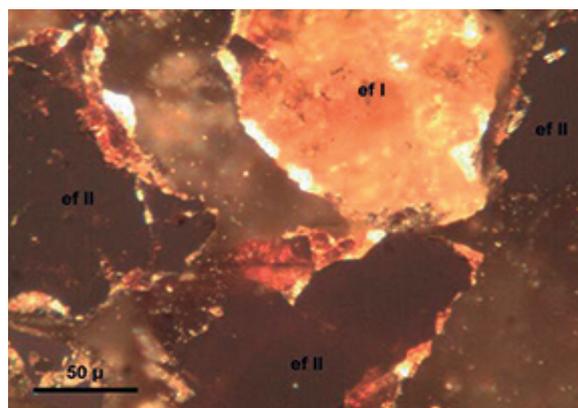


Figura N.º 3. Partículas libres de esfalerita 1 (ef1) y esfalerita 2 (ef2) en nicols cruzados. Magnificación: 200X. Muestra de concentrado de zinc en malla +100.

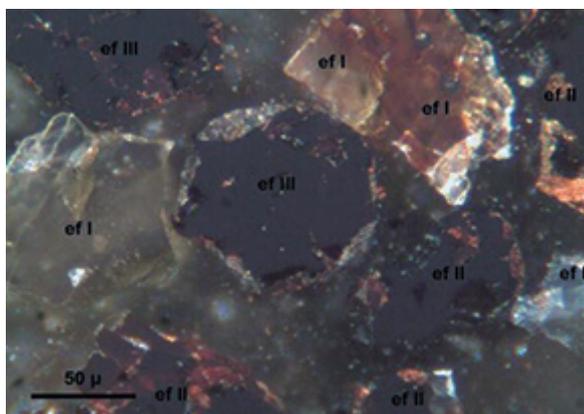


Figura N.º 4. Partículas libres de esfalerita 1 (ef1) y esfalerita 2 (ef2) y esfalerita 3 (ef3) en nicols paralelos. Magnificación: 200X. Muestra de concentrado de zinc en malla +200.

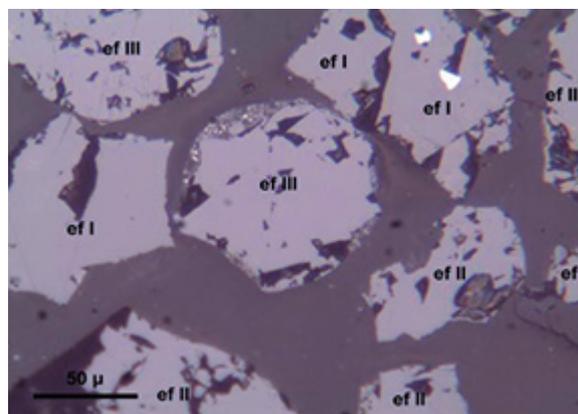


Figura N.º 5. Partículas libres de esfalerita 1 (ef1) y esfalerita 2 (ef2) y esfalerita 3 (ef3) en nicols cruzados. Magnificación: 200X. Muestra de concentrado de zinc en malla +200.

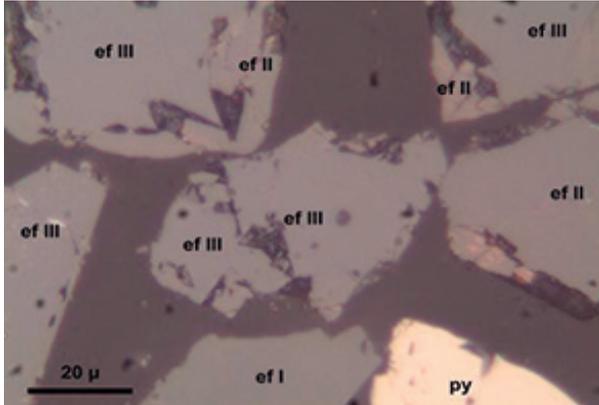


Figura N.º 6. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2), esfalerita3 (ef3) y pirita en nicols paralelos.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla +270

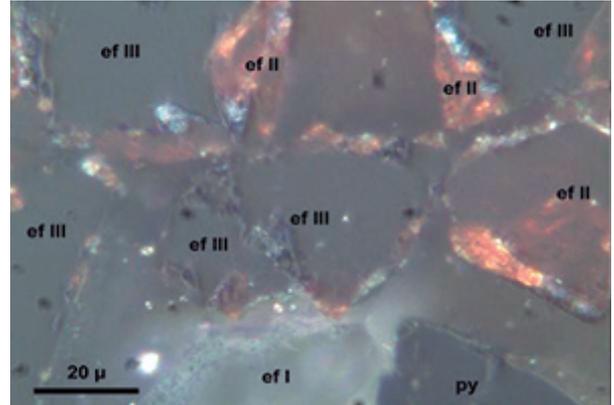


Figura N.º 7. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2), esfalerita3 (ef3) y pirita en nicols cruzados.

Magnificación:500X

Muestra de concentrado de zinc en malla +270

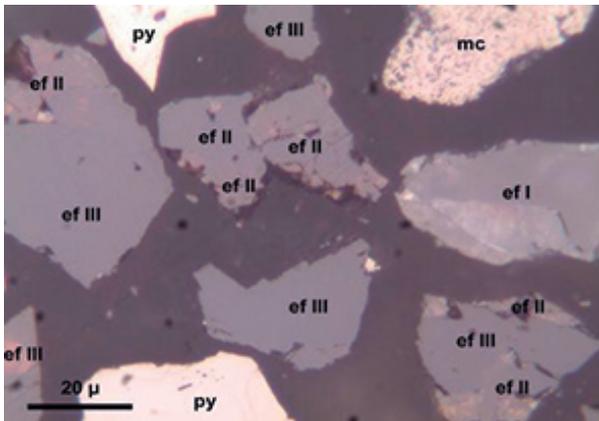


Figura N.º 8. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2), esfalerita3 (ef3), pirita y marcasita en nicols paralelos.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla +325

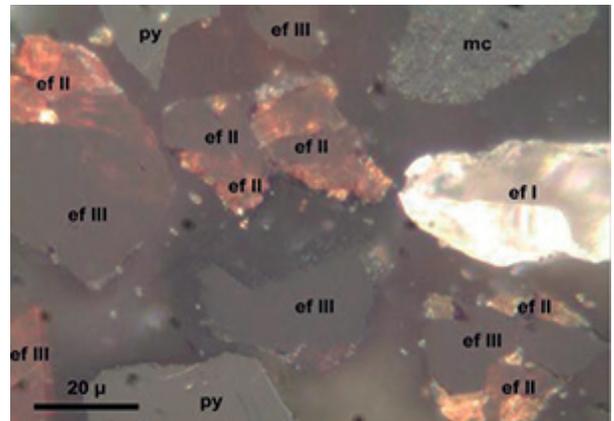


Figura N.º 9. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2), esfalerita3 (ef3), pirita y marcasita en nicols cruzados.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla +325

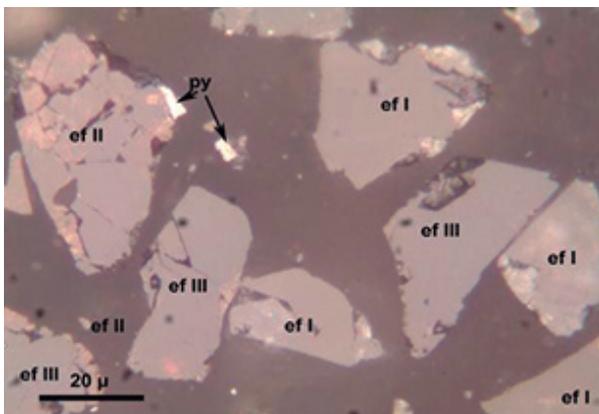


Figura N.º 10. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2), yesfalerita3 (ef3) en nicols paralelos.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla +400

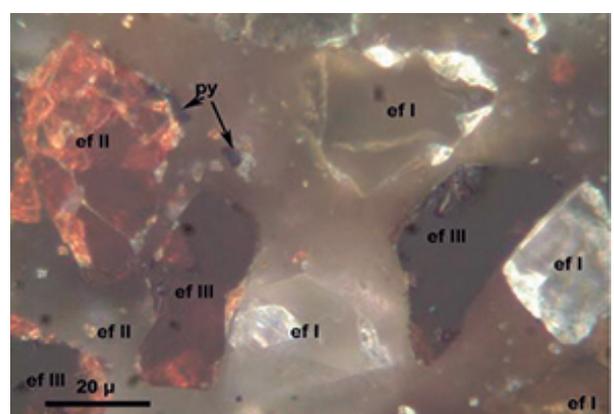


Figura N.º 11. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2) y esfalerita3 (ef3) en nicols cruzados.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla +400

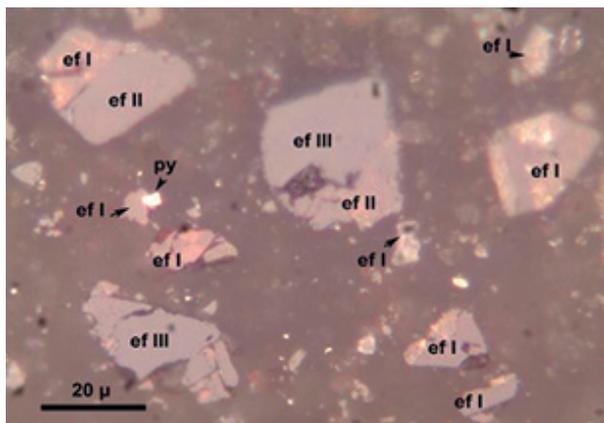


Figura N.º 12. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2) y esfalerita3 (ef3) en nicoles paralelos.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla – 400.

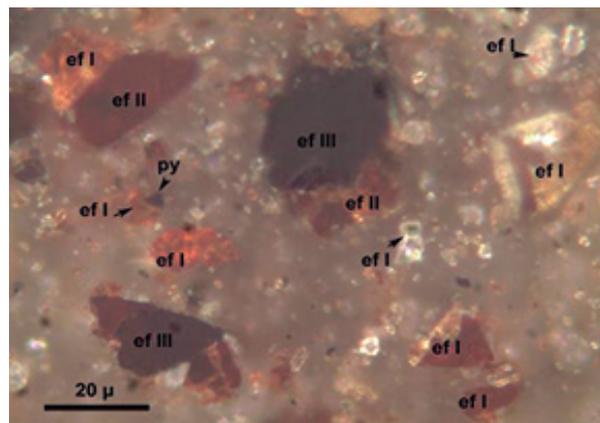


Figura N.º 13. Partículas libres de esfalerita 1(ef1), esfalerita 2 (ef2) y esfalerita3 (ef3) en nicoles cruzados.

Magnificación: 500X

Muestra de concentrado de zinc en malla – 400.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis mineralógico realizado nos indicó la que las muestras están constituidas por esfalerita 1, esfalerita 2, esfalerita 3, galena, tennantita, hematita, pirita, arsenopirita, pirrotita, marcasita, calcopirita, magnetita y gangas.

La mineralogía en forma detallada de las muestras de los concentrados de Zinc permitirá definir las condiciones de operación metalúrgica que son apropiadas para este tipo de mineral.

El estudio microscópico de las muestras de los concentrados de Zinc durante el proceso metalúrgico permite conocer el origen de los cambios en el comportamiento del mineral, cuando éstos tienen que ver con la composición de la mena.

Los resultados de estos estudios son fundamentales para la investigación convencional ya que pueden explicarse fenómenos específicos que suceden en el transcurso de los procesos propuestos.

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 de las partículas libres y el tipo de entrelazamiento entre los diferentes minerales.

VI. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Superior de Investigaciones, al Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas, Metalúrgica y Geográfica, a la EAP de Ingeniería Geológica de la UNMSM, por las facilidades prestadas

a través de los Laboratorios de Microscopía Óptica, así como a Profesores y Estudiantes de la EAP de Ingeniería Geológica de la UNMSM que colaboraron con el desarrollo del Proyecto de Investigación N.º 131601021.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Amstutz, Christian (1960). Geometric Classification of basic intergrowth patterns of minerals. *Bull. Soc. Franc Minèr. Crist* 80, 181-193, 275-292.
2. Azañero Ortiz Ángel *et al.* (2012). El problema de la activación natural de la esfalerita durante la flotación selectiva. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*. Enero-Junio 2012. Vol. 15, 29, pp. 83-90.
3. Cornelius Klein, Cornelius S. Hurlbult (2003). *Manual de Mineralogía de Dana*. 4.ª ed. Editorial Reverté.
4. Craig James R. & Vaughnan David (1997). *Ore microscopy and ore petrography*. Second edition. Editorial John Wiles & Sons.
5. Ojeda Escamilla M., *et al.* (2010). *Caracterización mineralógica en la industria minera*. Instituto de Metalurgia Universidad Autónoma de San Luis Potosí-México.
6. Sánchez A., De La Rosa C. J. M (2007). Caracterización menográfica de minerales sulfurados. Congreso SAM/CONAMET 2007, San Nicolás. México.
7. Tumialan P.H. (2003). *Compendio de yacimientos minerales del Perú*. Tomo 10 de la serie B del INGEMMET..