

# Flotación y recuperación de fluorita de un mineral polisulfurado de plomo-plata-zinc-fierro

Flotación and recovery of fluorite of a polysulfide ore of seal with lead-silver-zinc-iron

Ángel Azañero Ortiz<sup>1</sup>, Pablo Antonio Núñez Jara<sup>1</sup>, Vidal Aramburú Rojas<sup>1</sup>, Elard León Delgado<sup>1</sup>, Luis Orihuela Salazar<sup>1</sup>, Sósimo Fernández Salinas<sup>1</sup>, Freddy Edinson Condori Ancota<sup>2</sup>, Angie Yesser Espinoza Cruz<sup>2</sup>

---

## RESUMEN

La fluorita ( $F_2Ca$ ) es un mineral que tiene múltiples aplicaciones, las principales son: fabricación de ácido fluorhídrico, industria siderúrgica, soldadura y ornamental. El mineral estudiado pertenece a la zona central del Perú, además de fluorita tiene valores metálicos de plomo, plata y zinc que responden bien a la flotación diferencial de sulfuros con buenos resultados en la calidad de los concentrados y altas recuperaciones. El concentrado de fluorita obtenido es de grado cerámico, no se logra obtener fluorita de grado ácido por la probable presencia de fluoruros de aluminio que están afectando la calidad del concentrado.

**Palabras clave:** Flotación de fluorita, Plomo, Plata, Zinc.

## ABSTRACT

Fluorite ( $F_2Ca$ ) is an ore that has multiple applications, the main ones are: manufacture of fluorhydric acid, steel iron industry, welding and ornamental purposes. This ore belongs to the central zone of Peru and besides fluorite, it has metallic values of lead, silver and zinc, these respond well to differential flotation of sulfur with good results in the quality of the concentrates and high recoveries. The obtained fluorite concentrate is of ceramic degree, fluorite of acid degree ca not be obtained because of the presence of Aluminium fluorides that affect the quality of the concentrate.

**Keywords:** Flotation fluorspar, Lead, Silver, Zinc.

---

1 Docentes de la EAP de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2 Estudiantes de la EAP de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## INTRODUCCIÓN

El espato fluor[5] o fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) es un mineral no metálico de composición química y cristales bien definidos; varía con el contenido de otras especies o elementos químicos dentro de su intercrecimiento mineralógico.

Lustre vítreo, fibrosa o columnar.

Color blanco, amarillo, verde, rosa, rojo carmesí, azul.

Ocurre como mineral de veta; como mineral principal o como ganga de minerales sulfurados (plomo, plata y zinc) con frecuencia asociado con cuarzo, calcita, barita, aluminio, sodio y cloro.

El fenómeno de fluorescencia debe su nombre a la fluorita; consiste en la emisión de luz del interior de una sustancia mientras está expuesta a la radiación directa de la luz blanca, aparece una luz color violeta tenue debido a los rayos ultravioleta; propiedad que permite identificar a la fluorita y diferenciarla de la calcita.

Tiene múltiples aplicaciones[10] como ácido fluorhídrico en la industria química, siderúrgica, soldadura y ornamental:

Equipos y materiales

- Celda de flotación.
- Molino de bolas.
- Estufa potenciómetro.
- Ro-Tap: tamices diversos.
- Balanza electrónica analítica.
- Bandejas, probetas, espátula.
- Reactivos de flotación.
- Quebracho, dextrina, R-765, sulfuro, carbonato y silicato de sodio.
- Xántatos, espumantes y sulfato de cobre.

## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### Objetivo

- Flotación de minerales no metálicos.
- Recuperar fluorita (mineral no metálico) de grado comercial por el método de flotación de un mineral polisulfurado de plomo-plata-zinc-pirita.

### Hipótesis

De acuerdo a la Ley de  $\text{CaF}_2$  el concentrado[2] de fluorita se clasifica en los siguientes grados:

- a) Ácido: 97%
- b) Metalúrgico: 85%
- c) Cerámico: 75%

Mediante la tecnología de flotación se tratará de obtener un concentrado, de ser posible que cumpla con el producto de la más alta calidad.

## Materia prima

El mineral está constituido por pocos sulfuros, la galena, esfalerita y pirita en ganga no metálica de fluorita, calcita, cuarzo y otros compuestos minerales en menor proporción; los valores económicos principales la aportan la galena, plata, esfalerita y fluorita.

Leyes en %, Ag: Oz/Tc										
Pb	Cu	Zn	Fe	S	As	Sb	Ag	F	Ca	SiO <sub>2</sub>
3,15	0,16	1,44	2,35	2,12	0,15	0,06	1,9	22,8	40,0	2,16

## PRUEBAS DE LABORATORIO

- En este tipo de minerales primero se tiene que flotar selectivamente los valores metálicos: Pb-Ag-Zinc.
- La pirita, conjuntamente con otros sulfuros remanentes debe flotarse hasta agotamiento previo a flotar no metálicos.
- Flotación de fluorita con reactivos específicos para minerales[4] no metálicos: R-765, quebracho, dextrina.

Por las razones anteriores:

Se han realizado pruebas experimentales de acuerdo al esquema de flujo siguiente:

- a) Flotación selectiva de sulfuros
  - Flotación de plomo - plata
  - Flotación de zinc
  - Flotación de pirita
  - Remolienda relave sulfuros.
- b) Flotación de no metálicos
  - Flotación de fluorita

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

**Variable:** Granulometría de flotación del circuito de fluorita.

### Condiciones comunes de trabajo

#### A. Flotación de sulfuros

Molienda del Mineral

Peso: 1000 gr: Malla - 10

Agua: 500 cc

pH: 6,9

Tiempo: 5'

Granulometría: 60% - 200 m

Reactivos

ZnSO<sub>4</sub>: 0,180

NaCN: 0,020

## Acondicionamiento de Pb

Tiempo:	10´
XZ-3:	0,020
DF-250:	0,004
Flot.:	6´
ZnSO <sub>4</sub> :	0,090
NaCN:	0,010
XZ-3:	0,010

## Acondicionamiento de zinc

Tiempo 8´:	pH = 10,0
Cal:	0,500
CuSO <sub>4</sub> :	0,100
XZ-11:	0,010
DF-250:	0,008
Flot.:	3´ pH = 9,0
Limpieza:	
Cal:	0,200

## Acondicionamiento de pirita

Tiempo:	10´ pH = 7,1
CuSO <sub>4</sub> :	0,100
XZ-5:	0,050
R-404:	0,050
Aceite pino:	0,050
Flot.:	8´
XZ-5:	0,030
R-404:	0,030
A.P.:	0,024

## B. Flotación de no metálicos

- Remolienda relave de sulfuros

Acondicionamiento de F<sub>2</sub>Ca

Tiempo:	20´´
pH:	10,4
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> :	1,500
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> :	0,300
Quebracho:	0,150
Dextrina:	0,050
Na <sub>2</sub> S:	0,200
A. Pino:	0,024
R - 765:	0,330
Flot 5´	
R - 765:	0,060
Quebracho:	0,010
Limpieza:	Fluorita

## RESULTADOS

Reactivo	kg/TM			
	1°	2°	3°	4°
Limpiezas				
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,300	0,200	0,100	0,050
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,200	0,100	0,100	--
Quebracho	0,020	0,010	0,010	0,030
Dextrina	0,020	0,010	0,010	0,010
Na <sub>2</sub> S	0,100	0,100	0,050	--
A.P.	0,024	--	--	--
R-765	0,600	--	--	--
Tiempo	5´	3´	3´	3´
pH	10,5	10,5	10,0	10,0

Cuadro 1. Prueba 1.

Producto	Peso %	Leyes: %, Ag: OZ/TC							RECUPERACIONES %				Radio Conc.
		Pb	Zn	Fe	Ag	As	Sb	F	Pb	Zn	Ag	F	
Conc. Ro. Pb	4,93	57,30	2,50	3,60	23,5	0,28	0,58	1,82	93,10	8,69	69,30	0,40	20,30
Conc. Zn	1,66	2,16	55,86	3,95	2,0	0,06	0,07	1,93	1,17	65,81	2,00	0,15	60,03
Medios	0,86	2,87	14,10		2,5			0,89	0,80	8,62	1,28	0,04	
Conc. Fe	7,09	1,08	1,26	6,15	1,3			7,14	2,51	6,32	5,53	2,30	
Conc. F <sub>2</sub> Ca*	45,20	0,05	0,07	0,18	0,4			35,85	0,74	2,23	10,82	73,62	2,21
Medios "	12,02	0,12	0,30		0,6			14,56	0,47	2,51	4,32	7,95	
Relave	28,24	0,13	0,29		0,4			12,11	1,21	5,82	6,75	15,54	
Cab. Calc.	100,00	3,03	1,41		1,7			22,01	100,00	100,00	100,00	100,00	

\* F<sub>2</sub>Ca = 73,31% calculado.

Cuadro 2. Prueba 2

Producto	Peso %	Leyes: %					RECUPERACIONES	Radio
		F	Na	Ca	Mg	Al	%	Conc.
Conc. Ro. Pb	4,88	1,78					0,39	20,50
Conc. Ro. Zn	2,80	1,36					0,17	35,71
Conc. Fe	7,40	7,21					2,41	
Conc. F <sub>2</sub> Ca*	44,50	37,40	1,30	47,0	0,04	14,20	75,10	2,24
Medios “	11,90	14,81					7,95	
Relave Gral	28,52	10,86					13,97	
Cab. Calc.	100,00	22,16					100,00	

\* F<sub>2</sub>Ca = 76,48% calculado.

Cuadro 3. Prueba 3.

Producto	Peso %	Leyes: %					F	Radio Conc.
		F	Na	Ca	Mg	Al		
Conc. Ro. Pb	4,80	1,75					0,37	20,83
Conc. Ro. Zn	2,86	0,99					0,13	
Conc. Fe	7,30	8,52					2,78	
Conc. F <sub>2</sub> Ca*	44,30	37,90	1,26	46,20	0,02	13,03	74,95	2,25
Medios “	11,80	14,84					7,82	
Relave Gral	28,94	10,80					13,95	
Cab. Calc.	100,00	22,40					100,00	

\* F<sub>2</sub>Ca = 77,51 % calculado.

Cuadro 4. Prueba 4

Producto	Peso %	Leyes: %					RECUPERACIONES	Radio
		F	Na	Ca	Mg	Al	%	Conc.
Conc. Ro. Pb	4,87	1,89					0,41	20,53
Conc. Ro. Zn	2,70	1,23					0,16	
Conc. Fe	7,51	7,42					2,48	
Conc. F <sub>2</sub> Ca*	48,58	40,13	1,28	45,80	0,03	13,01	86,52	2,05
Medios “	10,12	6,36					2,75	
Relave Gral	26,22	6,60					7,68	
Cab. Calc.	100,00	22,53					100,00	

\* F<sub>2</sub>Ca = 82,06 % calculado.

**Cuadro 5.** Composición química de los concentrados de fluorita.

Prueba	Producto	Peso %	Leyes: %, Ag: OZ/TC											
			Pb	Zn	Cu	Ag	Fe	S	F	Na	K	Ca	Mg	Al
1	Conc.FCa	45,20	0,05	0,07	0,01	0,4	0,18	0,91	35,85	1,25	0,02	48,80	0,02	14,14
2	Conc.FCa	44,50	0,06	0,05	0,01	0,3	0,17	0,93	37,40	1,30	0,03	47,00	0,04	14,20
3	Conc.FCa	44,30	0,04	0,05	0,01	0,2	0,24	0,84	37,90	1,25	0,01	46,20	0,02	13,03
4	Conc.FCa	48,58	0,05	0,04	0,02	0,1	0,23	0,87	40,13	1,28	0,02	45,80	0,03	15,15

**Cuadro 6.** Composición química del concentrado calculado como <sup>2</sup> fluorita: F<sub>2</sub>Ca.

Prueba N°	Producto	Variable % - 200 m	Ley %	Ley	Recup. % F	R.C.
			F	F <sub>2</sub> Ca		
1	Conc. Fluorita	60,00	35,85	73,31	73,62	2,21
2	Conc. Fluorita	70,00	37,40	76,48	75,10	2,24
3	Conc. Fluorita	85,00	37,90	77,51	74,95	2,25
4	Conc. Fluorita	100,00	40,13	82,06	86,52	2,05

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El mineral investigado tiene moderado contenido de valores metálicos: Pb - Ag - Zn.
- En función de la mineralogía y composición química del mineral, previo a flotar fluorita, se debe flotar todos los sulfuros, incluyendo la pirita.
- La ley de fluor en el mineral es alta: 22,80%.
- El mineral responde eficientemente al método de flotación diferencial de sulfuros obteniendo concentrados de Pb-Ag y Zinc de muy buena ley y altas recuperaciones.
- Flotar fluorita del mineral en estudio; donde la ganga principal es calcita no parece ser un problema, se observa buena selectividad.
- De acuerdo al Cuadro 5, donde se muestran los análisis químicos del concentrado de fluorita vemos que los porcentajes de: Pb, Zn, Cu, Ag, Fe, S, K y Mg son escasos y marginales.
- El mismo Cuadro 5 nos permite ver que el concentrado de fluorita presenta alto contenido de aluminio y moderado porcentaje de Na.

Estos resultados nos estarían indicando presencia de otras especies minerales aparte de la fluorita ellas podrían ser criolita, fuellita, Prosopita, gearksutita u otros fluoruros de aluminio, razón por lo cual no se alcanza altas leyes en el concentrado:

Se recomienda investigar la flotación inversa del circuito de no metálicos.

- Realizar un estudio minerográfico del concentrado de fluorita.

## CONCLUSIONES

- El mineral tiene valores metálicos y no metálicos, esto lo hace económicamente atractivo.
- Se obtiene concentrados de sulfuros metálicos de grado comercial, el concentrado de fluorita es de grado cerámico, que puede servir para aplicaciones diversas en la industria nacional, evitando su importación.
- Los elementos químicos como el aluminio y el sodio están en porcentajes relativamente altos en el concentrado de fluorita.
- Realizar un estudio minerográfico del concentrado de fluorita y realizar pruebas de flotación con menores tamaños de partícula, en el circuito de no metálicos sería lo más conveniente para este mineral.

## AGRADECIMIENTO

Al Consejo Superior de Investigaciones; al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica a la Dirección y Coordinación de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica, a los profesores y alumnos que han colaborado en la desarrollo del Proyecto de Investigación N° 061601041.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Anderson O. E. «Plant manager minera oil company». *Mills flotation fluorspar*, bulletin N° M4 - B65, pp. 1-8.
2. Banco Minero del Perú (1982). Laboratorio Central del Callao. Informe técnico 1780, pp. 2-16.
3. Bruque J. M., Gonzales F., Caballero, F., Pardo G. y Perea R. (1982). «Flotation of fluorite with N-alkylammonium chlorides». *Internacional Journal of Mineral Processing*, pp. 75-76.
4. Cyanamid International «Manual de productos químicos para minería». Notas sobre tratamiento de minerales N° 26, New Jersey, USA: 074; pp. 18, 36, 37 y 46.
5. Dana Edward S., William E. Ford (1981). *Tratado de mineralogía*. 4<sup>ta</sup> edición. Traducido por Alberto Berumen, Ing. Petróleos Mexicanos, pp. 506-513.
6. <http://www.economia.gob.mx/pics/p/p2596/caracteristicas.htm>
7. <http://www.economia.gob.mx/pics/p/p518/dgpm-2004>. pp. 14.
8. Medina Beltran O. (1984) *Fundamentos de flotación*. Cap. V, pp. 97-98, Lima.
9. Mielczarski, J. Nowak P y J.W. Strojek (1983). «Correlation between the absorption of sodium dodecyl sulfate on calcium fluoride (fluorite) its floatability – An infra red internal reflection spectrophotometric study». *International Journal of Mineral Processing* 11, pp. 303-317.
10. Pérez Chacón, Jorge (2006). «Flotación y recuperación de fluorita». *Manual de prácticas de metalurgia II*- Mx.