

## Uso del OR-400 en flotación selectiva Pb-Cu para controlar la activación de zinc por iones $\text{Cu}^{2+}$ soluble o del trabajo

M.T. Pineda Mendez y R. Garcia Castillo

Corporación Química Platinum SA de CV.

\* [mtpineda@platinum-corp.com.mx](mailto:mtpineda@platinum-corp.com.mx)

### RESUMEN

La presente investigación, se centra en el problema de la activación y flotación de sulfuros de Zn en el concentrado Pb-Cu, debido a la presencia de iones cobre soluble en solución. Esto con la consecuencia de disminuir el grado del concentrado Pb-Cu, ocasionando pérdidas significativas por la calidad de los concentrados finales, el cual es un problema muy común en las plantas de flotación de minerales polimetálicos (Pb, Cu y Zn).

Como alternativa a este problema, se expone el uso del reactivo OR-400 en la flotación Pb-Cu, con la finalidad de controlar la activación de Zn por los iones cobre en solución, logrando mejorar la selectividad del concentrado Pb-Cu, y aumentando la recuperación de zinc en el concentrado de zinc.

El OR-400 es dosificado en la etapa de molienda para darle acondicionamiento a la pulpa, en donde los iones cobre son precipitados para que no se adhieran a la superficie de las partículas de zinc (esfalerita, marmatita y wurtzita), evitando su activación y flotación.

Se trabajó sobre una muestra mineral, que presentaba fuertes problemas de activación de zinc en el circuito de Pb-Cu, ya que el 32.6% del zinc se recuperaba en el concentrado, bajando el grado de plomo y cobre considerablemente. Para conocer las causas de la activación de zinc, se realizó un estudio de microscopía electrónica de barrido, identificando especies sulfuradas de cobre como calcopirita, covelita y calcocita. Estas 2 últimas especies se encuentran en bajas cantidades, sin embargo, debido a su alta solubilidad, producen iones  $\text{Cu}^{2+}$  suficientes para interactuar con las partículas de zinc, volviéndose hidrofóbicas en su superficie, y provocando que se activen y tengan una flotación inevitable.

Los resultados metalúrgicos utilizando el OR-400 a dosificaciones de 80 g/t a nivel industrial, mejoraron la ley de plomo de 45.9 a 57.9 %, disminuyendo la ley de zinc de 12.12 a 2.74%, y para el concentrado de cobre, la ley se incrementó de 15.1 a 20.2%.

**PALABRAS CLAVE:** Flotación selectiva; OR-400; Cu-Pb.

## **INTRODUCCIÓN**

La flotación Pb-Cu se realiza con una depresión simultánea de sulfuros de zinc y pirita, esto se logra mediante el uso de cal, cianuro, bisulfito, sulfato de zinc y sulfito de sodio, en dosificaciones que no afecten la flotación del cobre por el cianuro, y del plomo por el bisulfito en altas concentraciones.

La flotación diferencial de minerales polimetálicos como plomo-cobre, está basada en el hecho de que el mineral de zinc es teóricamente hidrofílico y no flotará sin activación. El proceso ideal sería flotar un concentrado plomo-cobre sin contener zinc, seguido por la activación de la esfalerita con sulfato de cobre, y finalmente la flotación de un concentrado de zinc.

En la práctica, sin embargo, los minerales sulfuros de zinc, como la esfalerita, marmatita y wurtzita, tienen un grado variable de hidrofobicidad, por lo que algo de zinc flotará erróneamente y se perderá en el circuito de plomo-cobre. Esto es un problema particular de cada mineral, aunque también las principales causas podrían ser:

- a) Asociación mineralógica binaria Cu-Zn o Pb-Zn.
- b) Reactivos, consumos y puntos de dosificación.
- c) Activación natural de la esfalerita debido a la presencia de iones metálicos solubles de Cu, Fe, Ag, As, Sb, Cd, tipo de ganga (ácida o básica) en el mineral y el agua del proceso.

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

El tercer factor es un tema difícil, aunque puede ser parcialmente controlado por dosificación de reactivos depresores tales como: sulfato de zinc, cianuro, bisulfitos o sulfuro de sodio y OR-400.

Es muy usual encontrar minerales de zinc activados por sales solubles que tiene el mineral en forma natural, principalmente, los minerales de cobre secundarios, debido a su alta solubilidad con cianuro de sodio, ya que en pequeñas concentraciones activan fácilmente a la esfalerita, y en estas condiciones es muy difícil mantenerla deprimida en el circuito Pb-Cu.

La Tabla 1 muestra la disolución de cada especie de cobre en solución con cianuro de sodio, en donde se observa que los óxidos de cobre son fácilmente disueltos, y en relación con los sulfuros, la covelita, calcocita y bornita también son muy solubles en presencia de cianuro.

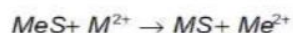
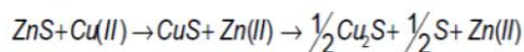
Tabla 1.- Solubilidad de especies de cobre al ácido sulfúrico y al cianuro de sodio.

Especie Mineral	Composición Aproximada	% Aproximado de Disolución	
		En Solución de Ácido Sulfúrico	En Solución de Cianuro de Sodio
<b>OXIDOS</b>			
Atacamita	CuCl <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub>	100	100
Azurita	Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>	100	100
Cuprita	Cu <sub>2</sub> O	70	100
Crisocola	CuSiO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O	100	45
Malaquita	CuCO <sub>3</sub> Cu(OH) <sub>2</sub>	100	100
Cobre Nativo	Cu	5	100
Tenorita	CuO	100	100
<b>SULFUROS SECUNDARIOS</b>			
Calcosina	Cu <sub>2</sub> S	8	100
Covelina	CuS	5	100
<b>SULFUROS PRIMARIOS</b>			
Bornita	Cu <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub>	2	100
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	2	7
<b>Nota.-</b> Las muestras serán pulverizadas finamente (100% malla -150) y el tiempo de reacción es una hora o menos			
<b>Fuente:</b> THE SEQUENTIAL COPPER ANALYSIS METHOD-GEOLOGICAL, MINERALOGICAL, AND METALLURGICAL IMPLICATIONS (G.A. Parkinson, Cambior USA, Inc. Englewood, CO, R.B. Bhappu, Mountain States R & D International Inc., Vail, AZ, FOR PRESENTATION AT THE sme Annual Meeting Denver, Colorado- March 6-9, 1995)			

La activación de la esfalerita con cobre depende de las especies presentes en la muestra. Por otro lado, la activación de la esfalerita con Cu (II) depende directamente de la concentración de cobre en solución, debido a la formación de especies hidrofóbicas en la superficie mineral de zinc.

Además del intercambio de iones, la adsorción e incorporación de Cu (II) en la red cristalina de la esfalerita, provoca una reacción de oxidación-reducción en la que el Cu (II) oxida al sulfuro del mineral, reduciéndose a Cu(I), dando como productos finales a la covelita (CuS), la calcocita (Cu<sub>2</sub>S) y azufre elemental, de naturaleza hidrofóbica; la proporción de estas especies en la superficie mineral dependerá del tiempo de contacto en el acondicionamiento.

El proceso de activación es controlado por una reacción de intercambio iónico entre el Cu<sup>2+</sup> y el Zn<sup>2+</sup>, el cual se lleva a cabo mediante la sustracción de un mol de Cu<sup>2+</sup> (debido a su incorporación dentro de la red de la esfalerita) por cada mol de Zn<sup>2+</sup> que es liberado del mineral. Éste aumento en la hidrofobicidad se debe a que, a medida que aumenta el tiempo de reacción, es decir, el tiempo de acondicionamiento, también se incrementa la cantidad de especies hidrofóbicas en la superficie mineral.



## METODOLOGÍA

### Caracterización Mineralógica

Se realizó un estudio de microscopía electrónica de barrido de la muestra de cabeza, para conocer el estado mineralógico de las especies de interés, así como establecer las relaciones texturales que guardan las especies de valor económico entre sí y con otras especies minerales, además de conocer el tamaño y grado de liberación de estas especies.

Los resultados de análisis químico se presentan a continuación:

Compósito 13-16 noviembre 2020	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	As	Óxidos	
	g/t	%					PbOx	ZnOx
	52	0.81	3.54	0.11	5.77	0.44	22.2%	3.8%

El mineral de Pb es principalmente Galena (68%) con una liberación del 61.9%, el resto se encuentra en asociación binaria con ganga no sulfurosa, multifase y ocluido en borde (Figura 1).

Especie mineral Distribución %		Compósito 13-16 de nov 2020
Galena	PbS	68.29
Alamosita	PbSiO <sub>3</sub>	8.37
Anglesita	PbSO <sub>4</sub>	7.64
Scrutinyita	PbO <sub>2</sub>	6.01
Boulangerita	PbCuSbS <sub>3</sub>	3.62
Lithargita	PbO	1.24
Dufrenoyita	Pb <sub>2</sub> As <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	1.18
Melanotekita	Pb <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>9</sub>	0.92
Quenselita	PbMnO <sub>2</sub> (OH)	0.87
Cerussita	PbCO <sub>3</sub>	0.77
Jamesonita	Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>	0.36
Minerales en valores traza		0.75

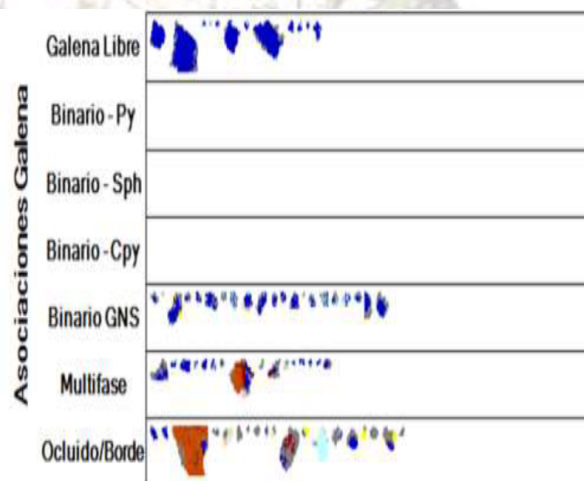


Figura 1.- Especies de plomo y grado de liberación

El Zn se presenta principalmente como Marmatita (76.6%) y esfalerita (17.5%), las cuales se presentan libres en un 27.5%, el resto se encuentra en asociación binaria con ganga no sulfurosa, con calcopirita diseminada, en multifase y ocluido (Figura 2).

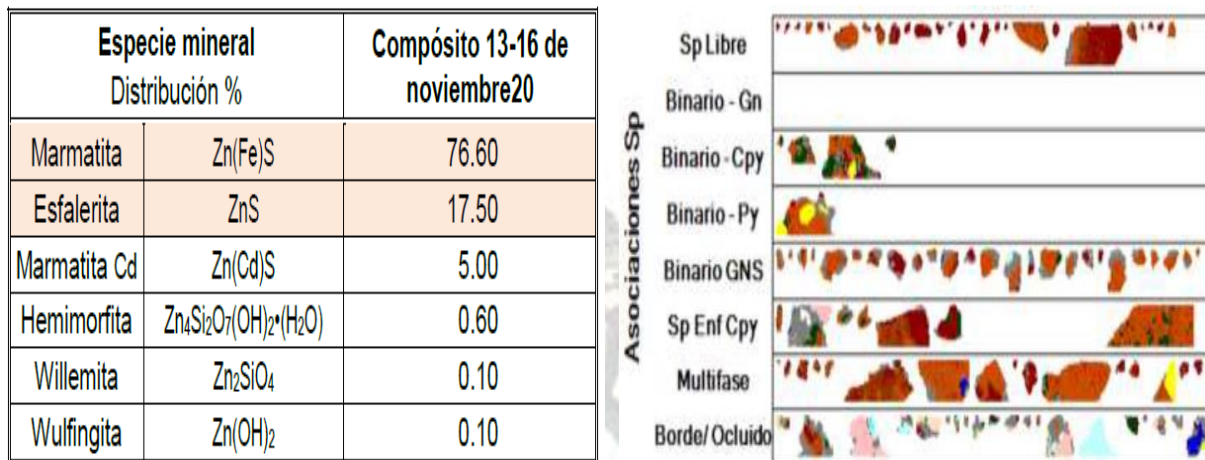


Figura 2.- Especies de zinc y grado de liberación.

El Cu se presenta principalmente como Calcopirita (92%). Otras especies minerales de cobre son la covelita (5.28%) y calcocita (1.15%), los cuales son especies que se solubilizan fácilmente, y ocasionan que los iones cobre activen los sulfuros de zinc, con la consecuencia de que floten en el concentrado Pb-Cu (Figura 3). La Tabla 2 resume de la mineralogía identificada en la muestra.

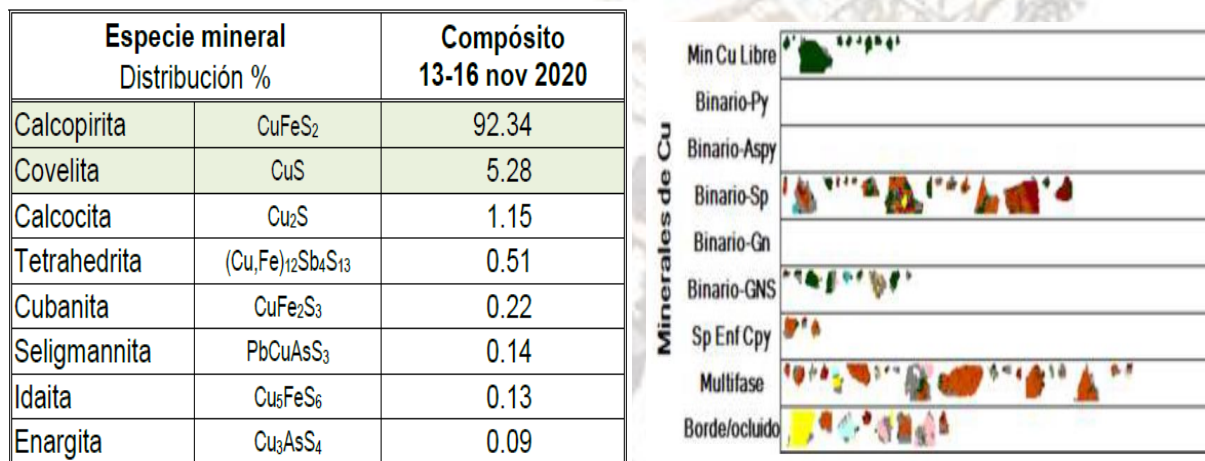


Figura 3.- Especies de cobre y grado de liberación.

Tabla 2.- Principales especies minerales.

Elemento		Compósito 13-16 nov 2020
Plomo	<b>Ley de Pb</b>	
	<b>0.81%</b>	
	Minerales Principales	
	<b>Galena (68%)</b>	
	Minerales Minoritarios	
Liberación y asociaciones	Alamosita (8%) Anglesita (8%) Scrutinyita (6%)	
	Libre %	62
	Tamaño Prom $\mu\text{m}$	11
	Asociaciones Principales	<b>Binario con GNS 25%</b>
	<b>Ley de Zn</b>	
<b>3.54%</b>		
Zinc	Minerales Principales	
	<b>Marmatita (77%) (10.8% de Fe) Esfalerita (17.5%)</b>	
	Libre %	27
	Tamaño Prom $\mu\text{m}$	13
	Asociaciones Principales	<b>Binario GNS 21% Enfermedad Cpy 31% Multifase 14%</b>
<b>Ley de Cu</b>		
<b>0.11%</b>		
Cobre	Minerales Principales	
	<b>Calcopirita 92%</b>	
	Minerales Secundarios	
	Covelita 5%	
	Libre %	13
Liberación y asociaciones	Tamaño Prom $\mu\text{m}$	9
	Asociaciones Principales	<b>Binario Sp 78%</b>
	<b>Ley de Arsénico</b>	
<b>0.44%</b>		
As	Minerales Principales	Arsenopirita
		94%
		Walkidellita
		2%
Sb	<b>Ley Antimonio (QemScan)</b>	
	<b>0.01%</b>	
	Minerales Principales	Stibnita
		60%
		Boulangerita
		24%
Gangas	No Sulfurosas	Cuarzo, Calcita y Diópsido
	Sulfurosas	Pirita

\*La muestra presenta 11% de Pirita y como Ganga No Sulfurosa se tiene Cuarzo (41%), Calcita (14%), Fluorita (1.24%).

### Pruebas de flotación Pb-Cu con OR-400

Se realizaron 2 series de pruebas de flotación para la evaluación del efecto del OR-400 en la flotación Pb-Cu, a diferentes dosificaciones en molienda para ver el consumo óptimo del reactivo.

El cuadro de reactivos consiste en una etapa de molienda, donde se dosifica OR-400, mezcla de sulfato de zinc y cianuro de sodio (relación 1:1), sulfuro de sodio y D160 (Tabla 3). Como promotor, se agregó el A-3418 y colector XIS en la etapa de acondicionamiento primario Pb-Cu.

**Tabla 3.-Esquema de reactivos.**

Seccion	Tiempo (min)	Cuadro de reactivos												
		Mezcla 1:1	Sulfuro Sodio	XIS	A3418	Espumante	CuSO4	NaCN	Cal	OR-400	Na2S	D160	pH	RPM
Molienda		500								Variable	20	60		
Prim. 1 Pb		90		10	5									8
Prim. 2 Pb				5										
Agot. 1 Pb														
Agot. 2 Pb														

Las leyes de cabeza utilizadas en esta serie de pruebas se presentan a continuación:

Ag g/Ton	Pb %	Zn %	Cu %	As %	Fe %
82.5	0.4775	2.6925	0.50	1.515	10.65

Las variaciones de dosificación del OR-400 fueron de 5, 10, 20 y 40 g/t.

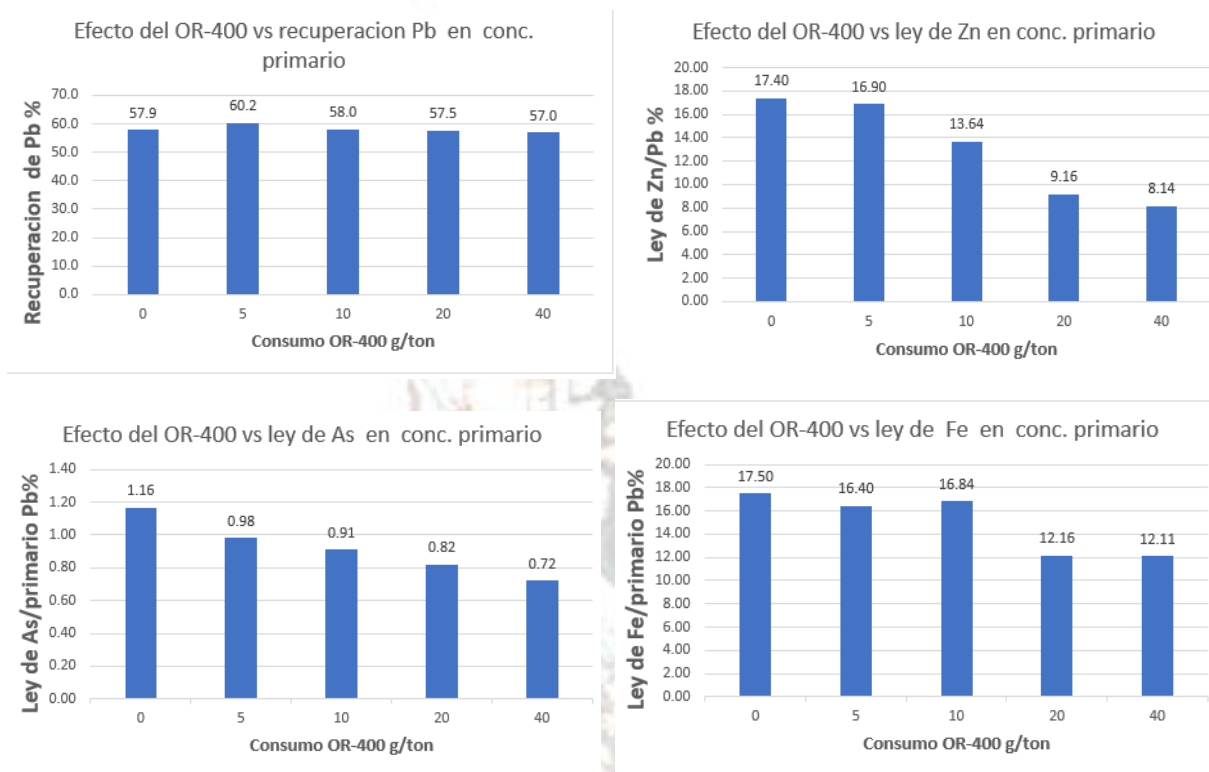
Los resultados indicaron que a mayor cantidad de OR-400, se tiene mejor grado de plomo (Tabla 4). Por otra parte, se observa que el grado de zinc disminuye conforme a la adición del reactivo OR-400, disminuyendo su distribución en el concentrado bulk (Figura 4).

**Tabla 4.- Resultados de la variación del OR-400**

OR-400 g/t	% Peso	Leyes Primario 1+2						Recuperacion Primario 1+2					
		Ag g/Ton	Pb %	Zn %	Cu %	As %	Fe %	Ag	Pb	Zn	Cu	As	Fe
0	5.9	682	5.47	17.40	6.41	1.16	17.50	39.2	57.9	32.6	71.4	4.3	9.0
5	4.6	776	5.37	16.90	7.56	0.98	16.40	40.1	60.2	31.1	69.4	3.2	7.7
10	5.6	722	6.27	13.64	6.74	0.91	16.84	32.9	58.0	19.8	61.6	2.8	6.6
20	5.2	604	7.70	9.16	5.95	0.82	12.16	49.0	57.5	18.9	65.5	2.8	7.1
40	5.3	629	7.64	8.14	6.01	0.72	12.11	51.8	57.0	18.6	65.3	3.1	7.2

Con los resultados de las pruebas de flotación, se concluyó que la dosificación adecuada se encuentra entre 20 y 40 g/t del OR-400, debido a que, a comparación de la prueba estándar, el grado de Zn disminuyó de 17.4 a 8.14%.

**Uso del OR-400 en flotación selectiva Pb-Cu para controlar la activación de zinc por iones Cu<sup>2+</sup> soluble o del trabajo**



**Figura 4.- Efecto del OR-400 sobre el plomo, zinc, arsénico y hierro.**

En la siguiente serie de pruebas, se usó la dosificación de 0, 40 y 80 g/t de OR-400. Los resultados indican que, con la dosificación de 40 g/t se tienen los mejores resultados, ya que el grado de plomo sube a esta dosificación, y la recuperación de Pb se mantiene en 61% (Tabla 5). Mientras que la distribución de zinc, en concentrado primario Pb-Cu disminuye de 57.2% a 14.4%.

**Tabla 5.- Variación del OR-400 de 0 a 80 g/ton.**

OR-400 g/t	% Peso	Leyes Primario 1+2						Recuperación Primario 1+2					
		Ag g/Ton	Pb %	Zn %	Cu %	As %	Fe %	Ag	Pb	Zn	Cu	As	Fe
0	4.6	487	7.18	23.24	3.36	0.31	9.42	52.6	61.7	57.2	55.8	2.3	6.5
40	4.3	413	8.86	8.70	3.79	0.40	7.38	49.5	61.4	14.4	51.4	3.3	5.0
80	4.0	433	8.00	6.68	4.18	0.36	7.11	45.8	59.2	11.5	50.7	3.0	4.6

El análisis del agua de proceso de la mina es el siguiente:

Análisis mg/l		
Cu	Zn	Fe
<b>298</b>	<b>1.53</b>	<b>0.07</b>



Como se observa, el agua tiene alto contenido de Cu disuelto, el cual es suficiente para activar el zinc en la flotación Pb-Cu.

**Resultados a nivel industrial.**

El OR-400 se agregó en la etapa de molienda en dosificación de 80 g/ton, junto con sulfato de zinc y cianuro de sodio (relación 1:1), sulfuro de sodio y D160. Como promotor, se agregó el A-3418 y colector XIS en la etapa de acondicionamiento primario Pb-Cu, observando una mejoría en el grado de los concentrados de plomo y cobre, como se puede apreciar en las tablas 6 y 7, respectivamente.

**Tabla 6.- Concentrado de plomo**

OR-400	% PESO	TMSecas	gr/Ton		%		
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu
OR-400 (0 g/ton)	0.741	390.79	32.12	1,613	<b>45.9</b>	<b>12.12</b>	4.60
OR-400 (80 g/t)	0.388	299.58	42.22	2,685	<b>57.9</b>	<b>2.74</b>	5.32

**Tabla 7.-Concentrado de cobre**

OR-400	% PESO	TMSecas	gr/Ton		%		
			Au	Ag	Pb	Zn	Cu
OR-400 (0 g/ton)	0.204	107.73	12.47	1,616	<b>8.1</b>	<b>18.74</b>	15.07
OR-400 (80 g/t)	0.586	452.14	18.0	2,025	8.4	9.78	<b>20.2</b>

**CONCLUSIONES**

Con base a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y a nivel industrial, el reactivo OR-400 demuestra la capacidad de precipitar los iones Cu<sup>2+</sup> que se generan por la solubilidad que presentan los minerales secundarios de cobre (covelita y calcosita), dando como resultado una fuerte mejoría en la activación de las partículas de zinc. Obteniendo como consecuencia, el incremento del grado de los concentrados de Pb y Cu, así como el incremento en la recuperación de Zn en el concentrado Zinc.

Del mismo modo, los resultados a nivel industrial se han visto favorables con el uso del OR-400, encontrando una dosificación de 80 g/t en el proceso. La ley de Pb mejoró de 45.9 a 57.9%, disminuyendo la ley de zinc de 12.12 a 2.74%, y para el concentrado de cobre la ley se incrementó de 15.1 a 20.2%.

La activación y flotación de zinc en el concentrado Pb-Cu es un problema muy común en muchas minas, dando como resultado, concentrados de mala calidad. Por lo que el OR-400 es una alternativa muy atractiva para mejorar el proceso en plantas de minerales polimetálicos.

### **AGRADECIMIENTOS**

A Orion Productos Industriales S.A. de C.V. y Corporación Química Platinum S.A. de C.V., por la dedicación, el alcance, y la disponibilidad para entregar los recursos necesarios para hacer de este proyecto posible.

### **REFERENCIAS**

Delgado, G. 2016. Operaciones en planta concentradora de mineral polimetálico y óxidos de plomo-plata-cobre de Sociedad Minera Corona S.A.

Parkinson, G. Bhappu R. 1995. The sequential copper analysis method-geological, mineralogical, and metallurgical implications.

A. Azañero. "Flotación de Minerales de Plomo". Revista del Instituto de Investigación de la FGMMCG – UNMSM Vol. 5, Nro. 10, p. 34 – 43 (2002).

Azañero Ortiz, Ángel "Curso Concentración y Flotación de Minerales, Capítulos Flotación de Sulfuros", UNMSM – Lima 2002, pp. 7-8.

