

Mejoramiento de la recuperación de plata de los minerales de mina Poopó

Demetrio Tapia Ajata

Supervisor Planta Concentradora Mina Bolívar
Sinchi Wayra S.A.
demeta_t49@ hotmail.com

Napoleón Jacinto Eulate

Docente Carrera Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales
Universidad Técnica de Oruro
napojacinto@gmail.com

Resumen

El mineral de la mina Poopó es considerado como uno de los más complejos dentro del género de los minerales polimetálicos, por su contenido en zinc y plata es considerado un mineral polimetálico de alta ley en zinc y plata.

El resultado promedio de operación en planta de abril/2010 a abril/2011, muestra que la recuperación de plata en el concentrado de plomo es 25.59% con 5,884 g/ton de plata, la recuperación de plata en el concentrado de zinc es 46.80% con ley de 462 g/ton de plata. Por la forma de pago por los concentrados, no es favorable producir concentrado de zinc con alto contenido de plata, es mucho más favorable producir concentrado de plata-plomo con alto contenido de plata.

En el presente trabajo se ha estudiado a nivel de laboratorio y planta industrial el incremento de la recuperación de plata en el concentrado de plata-plomo. Luego de seis campañas de pruebas a nivel planta industrial, se logran resultados favorables obteniendo concentrados de plata de 3,261 g/ton de plata, con recuperación de 42.32%.

Palabras clave: Flotación de minerales complejos de plata, mina Poopó, recuperación de plata.

Improving the silver recovery from the Poopó mine ore

Abstract

The Poopo mine ore is considered as one of the most complex within the polymetallic ores, by its content in zinc and silver is considered as a polymetallic ore with high grade in zinc and silver.

The average result of the plant operation from april/2010 to april/2011, shows that the silver recovery in the lead concentrate is 25.59% with a silver content of 5,884 g/ton, the silver recovery in the zinc concentrate is 46.80% with a silver content of 462 g/ton. By the way of payment for the concentrates, it is not favorable to produce zinc concentrate with high silver content, it is much better to produce a concentrate of silver lead with high silver content .

In the present work, it has been studied at a laboratory and industrial plant scale the increment in the silver recovery in the silver lead concentrate. After six tests at a industrial plant scale, it has been achieved better results obtaining silver concentrates with 3,261 g/ton of silver, and recovery of 42,32%.

Key words: Flotation of complex silver ores, Poopo mine, silver recovery.

Melhoramento da recuperação de prata dos minerais da mina Poopó

Resumo

O mineral da mina Poopo é considerado como um dos mais complexos no gênero dos minerais polimetálicos, pelo seu conteúdo de zinco e prata.

A média da operação da planta de abril/2010 até abril/2011, mostra que a recuperação de prata no concentrado de chumbo é 25.59% com 5.884 g/ton de prata, a recuperação de prata no concentrado de zinco é 46.80% com lei de 462 g/ton de prata. Pela forma de pago pelos concentrados, não é favorável a produção de concentrado de zinco com um maior conteúdo de prata, é muito mais favorável a produção dum concentrado de prata-chumbo com um alto conteúdo de prata.

No presente trabalho, tem sido estudado, num nível de laboratório e industrial, o incremento da recuperação de prata no concentrado de prata-chumbo. Depois de seis series de provas na indústria, lograram-se resultados favoráveis, com a obtenção de concentrados de prata de 3.261 gr/ton de prata, com recuperação de 42.32%.

Palavras chave: Flotação de minerais complexos de prata, mina Poopó, recuperação de prata.

Introducción

La Compañía Minera Sinchi Wayra se ha adjudicado para su explotación los yacimientos polimetálicos del distrito mine-ro de Poopó; el mineral proveniente de dicha mina, actualmente es procesada en la planta Concentradora de Mina Bolívar.

El mineral de la mina Poopó es catalogado como uno de los minerales más complejos dentro del género de los minerales polimetálicos. La muestra tomada para el presente estudio, por su contenido en zinc y plata es considerado como un mineral polimetálico de alta ley en zinc y plata. Por tanto, se debe direccionar la producción hacia la obtención de concentrados de plata y concentrados de zinc

Estudios preliminares a nivel laboratorio [1, 2], recomiendan realizar la recuperación por flotación diferencial de plomo plata y zinc plata, descartando la flotación colectiva, la flotación diferencial conduce a mejores resultados metalúrgicos y con mayor valor económico.

El promedio de resultados de operación en planta de abril/2010 hasta abril/2011, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Promedio operación planta mineral Poopó (abril /2010 – abril/2011).

Ley de concentrado	
Zn, %	48.19
Ag en concentrado de Zn, g/ton	462
Pb, %	21.88
Ag en concentrado de Pb, g/ton	5,884
Recuperaciones, %	
Ag en concentrado de Zn	46.80
Ag en concentrado de Pb	25.59
Total	72.39

El problema tal como define Arzapalo [2] es, "...no se debe hablar de una recuperación total de plata que suma la plata en

el concentrado de plomo, más la plata en el concentrado de zinc, porque: en el concentrado de plomo, previa deducción de 30 g, se paga el 95% de la plata contenida en el concentrado y en el concentrado de zinc, previa deducción de 109 g, se paga el 70% del contenido de plata, hasta un máximo de 150 g/ton. Por tanto, no resulta nada ventajoso, obtener 462 g/ton en el concentrado de zinc, porque de cualquier manera se paga sólo hasta un máximo de 150 g/ton, si se quiere recuperar más plata, se debe producir concentrado de plata".

En este marco, el objetivo principal de la presente investigación es mejorar la recuperación de plata en el concentrado de plata, en el tratamiento por flotación del mineral de mina Poopó.

Estudio microscópico

El estudio microscópico [1] realizado para determinar la composición mineralógica del mineral de mina Poopó revela una gran complejidad, encontrándose por lo menos 25 especies mineralógicas, destacándose lo siguiente:

- El mineral de zinc es de la variedad marmatita.
- Como minerales de plata se identificaron las siguientes especies: argentita, pirargirita, argidorita, estannina III, y tetraedrita; los tres primeros son minerales genuinos de plata, en tanto que los restantes son compuestos con componentes de mineral de plata.
- La pirita es el componente mayoritario de la muestra.
- Minerales de plomo se identificaron a la galena y principalmente sulfoantimoniuros, franckeita, zinckenita, jamesonita, bournita y boulangerita.
- Otros minerales identificados fueron: calcopirita, coveli-na, bismutina y limonita.

Estos resultados muestran que el mineral de mina Poopó, es uno de los más complejos dentro del género de los polimetálicos y permite inferir que cualquier proceso que pretenda obtener concentrados con leyes comerciales, deberá basarse en las posibilidades de obtener una adecuada liberación entre los minerales componentes.

Otro estudio microscópico [3] fue realizado con cuatro muestras del mineral de Poopó, especificados como; cabeza, concentrado de plomo, concentrado de zinc y relave final, con la indicación de ser alimentación y productos de un tratamiento metalúrgico por flotación. El objeto del estudio fue caracterizar mineralógicamente las citadas muestras y determinar los grados de liberación de las especies mineralógicas presentes.

La tabla 2, muestra resultados del análisis químico de la muestra global, caracterizada como un mineral polimetálico de alta ley en zinc y plata, bajo contenido de plomo con elevado contenido en hierro.

Tabla 2. Análisis químico de la muestra global [3].

% Pb	% Zn	% Cu	%Fe	g/ton Ag
0.32	8.37	0.20	19.82	183

La descripción mineralógica de la cabeza [3] indica, "...se aprecian esfaleritas libres desde mallas gruesas, algunas de ellas con importante contenido de plata, como sulfosal, para el concepto metalúrgico, todos los portadores de plata se denominarán sulfosales. Los sulfuros de hierro presentes son pirita, arsenopirita, pirrotina.

El estudio concluye que según el grado de liberación de la muestra global las sulfosales de plata están asociadas con otras especies y no alcanzan la liberación suficiente para la flotación. Los sulfuros de hierro están mayormente libres y juntos conforman 53,27% en peso de la muestra total.

La tabla 3, presenta el análisis químico del concentrado plomo-plata.

Tabla 3. Análisis químico concentrado plomo-plata [3].

% Pb	% Zn	% Cu	%Fe	g/ton Ag
13.42	14.89	1.12	16.30	6,411

La descripción cualitativa indica [3], es un concentrado de plomo-plata altamente contaminado por zinc y hierro, "...los valores de plomo corresponden a galena y sulfosales de plata. Se aprecia un importante contenido de esfaleritas libres pirita y pirrotina, algunas esfaleritas son portadoras de plata".

El estudio concluye, que en el concentrado de plomo-plata se presenta 36.72% en peso como sulfuros de hierro, en este concentrado 60% son pirrotinas y 40% son piritas, otro contaminante importante es la esfalerita.

Esfalerita, pirita y pirrotina en total suman 63.22% en peso del total del concentrado; disminuir este desplazamiento debe mejorar las leyes del concentrado de plomo-plata.

En la tabla 4, se presenta el análisis químico de la muestra relave final:

Tabla 4. Análisis químico del relave final [3].

% Pb	% Zn	% Cu	% Fe	g/ton Ag
0.22	2.51	0.07	19.26	74

Una descripción cualitativa bajo el microscopio, de la muestra relave final de la flotación de Poopó [3], indica: "...Importante presencia de esfalerita y esfalerita plata, además sulfosales de plata libres desde las mallas gruesas y en casi todas las fracciones. Se confirma la presencia de pirita y pirrotina, sulfuros de hierro que generalmente definen operaciones de flotación".

El estudio concluye, que el análisis químico del relave final es alto en todos los elementos valiosos; la granulometría indica 64.8% menos 200 mallas; entonces se proyecta que las pérdidas de valores importantes no serían por falta de liberación.

Las pérdidas de zinc en el relave final no se deben a una falta de liberación; es un defecto de flotación. Las sulfosales de plata en el relave final se observan 77% libres y sólo 23% en mixtos con otras especies. Los sulfuros de hierro del relave final son mayormente piritas y menos pirrotina; importante es anotar que en la flotación de concentrados se presenta la relación inversa. Las pérdidas más importantes son por esfaleritas libres.

Descripción de la planta concentradora de mina Bolívar

La capacidad de tratamiento de la planta concentradora de mina Bolívar es de 1,200 TPD; sin embargo, el tonelaje de tratamiento de la carga de Poopó es de 1,000 TPD [4]. El mineral es alimentado en la parrilla principal, el producto de menos 8 pulgadas es acumulado en el stock pile para su alimentación mediante una cinta transportadora al molino SAG, el producto es alimentado a un molino secundario de bolas, la descarga de ambos molinos es alimentado a un ciclón.

El producto over flow del ciclón con una granulometría de 65% - 200 mallas Tyler, es alimentada a la etapa de flotación diferencial de plomo-plata. El circuito de flotación (ver figura 1), consta de cuatro celdas OK-10 de Outokumpu, dos de ellas operan en la etapa rougher y dos en la etapa scavenger, las espumas de la etapa rougher son enviadas a las etapas de flotación limpieza en celdas Denver Sub A 24.

La primera flotación limpieza se realiza en cuatro celdas cuyas espumas se alimentan a la segunda flotación limpieza que consta de dos celdas y las espumas de la segunda flotación se alimentan a la tercera flotación limpieza, que consta también de dos celdas, las espumas de la última limpieza son el concentrado final que se alimenta a un espesador convencional.

Las espumas de la etapa de flotación scavenger, juntamente con el non float de la primera flotación limpieza se recirculan a la alimentación, o sea a la etapa de flotación rougher. El producto under flow del espesador se lleva a un filtro de

prensa, cuyo producto con 12% de humedad es acumulado para su exportación.

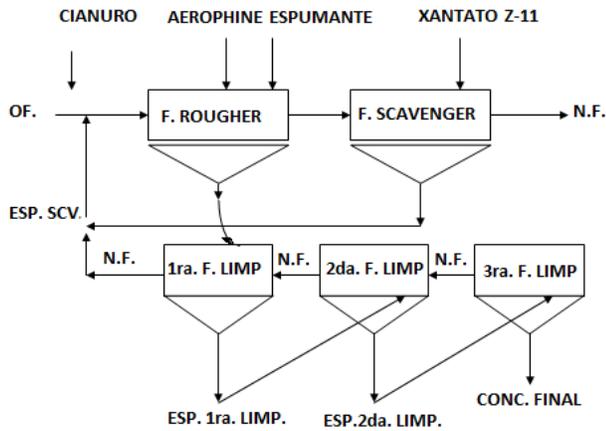


Figura 1. Diagrama de bloques del circuito de flotación de plomo plata [4].

El análisis de la operación y de acuerdo a los datos obtenidos durante el proceso muestran que el pH de la descarga del over flow del ciclón es de 5.6-5.8 esto es, una pulpa relativamente ácida, debido a que no se adiciona cal en la etapa de molienda y por la naturaleza de la carga que contiene elevado contenido de sulfuros de hierro como pirita, pirrotina siempre tenderán a oxidarse durante la molienda y generar ácido y sales ferrosas. El sulfato ferroso que se genera es un buen depresor de la galena y además también un gran consumidor de colectores como el xantato.

En menas ricas en sulfuro de hierro (pirita, pirrotina, marcasita), es común adicionar la cal en la etapa de molienda para contrarrestar cualquier tendencia a generar acidez. Pero, la cantidad de cal agregada se controla minuciosamente para evitar la depresión de la galena, una buena depresión de sulfuros de hierro puede obtenerse sin necesidad de subir el pH sobre 7.0 a 7.5.

La adición de cianuro de sodio que se realiza en el molino SAG, es de 14.73 g/ton, su función principal es de acelerar la flotación de la galena, efecto que se logra por la limpieza de la superficie de la galena; sin embargo, este aspecto se debe revisar por el peligro de depresión que puede estar realizando en las sulfosales de plata y la posible lixiviación de la plata.

También, la cantidad de cianuro adicionado en la primera limpieza 8.73 g/ton, de la flotación de plomo-plata no parece ser conveniente por lo que se revisará esta dosificación en esta etapa.

Se está utilizando el reactivo Aerophine 3418A como colector, dosificando en 20.94 g/ton en la primera celda de la flotación

rougher y una mezcla de Dow Froth 1012 y MIBC 41.89 g/t, como espumante a razón de 1:2 y finalmente se adiciona xantato isopropílico de sodio (Z-11) en la etapa de flotación scavenger con una dosificación de 6.54 g/ton.

Materiales y método de experimentación

El mineral utilizado en las pruebas [4], es la producción de la mina Poopó, cuya composición química en promedio es la presentada en la tabla 2.

Los reactivos de flotación son los utilizados en el circuito de flotación de la planta de concentración de mina Bolívar.

Las pruebas de flotación se realizaron en laboratorio y luego en el circuito industrial de la planta concentradora de mina Bolívar. El método de trabajo seguido fue el enfoque tradicional de cambio de variable a la vez, ya que este método es adecuado para pruebas especialmente a nivel industrial.

Para mejorar la recuperación de plata, se realizaron los siguientes trabajos experimentales [4].

- Modificar el circuito de flotación de plata, eliminando la tercera limpieza con la finalidad de elevar la recuperación de plata.
- Adición de cal en la etapa de molienda, a fin de evitar la oxidación de sulfuros de hierro y neutralizar la pulpa ácida producida, hasta pH = 7.
- Revisar la actual dosificación de cianuro en la etapa de limpieza.
- Realizar pruebas de flotación con diferentes dosificaciones de aerophine 3418 A

Resultados y discusión

Para la evaluación de resultados, es necesario tomar un criterio de evaluación y comparación de resultados; para esto, se utiliza la ley del concentrado y la recuperación. No es posible utilizar índices de eficiencia como la de Schulz, debido a la complejidad mineralógica.

El método de trabajo desarrollado, genera una etapa de operación evolutiva, la cual da lugar a que los mismos procesos generan información dando pautas para la mejora continua de la calidad del producto y generan respuestas que son medidas y analizadas estadísticamente.

Se tiene como parámetro de control los resultados obtenidos del primer grupo de pruebas, recuperación de plata en concentrado de plomo 20.90% con ley de 5,300 g/ton de Ag.

Pruebas de laboratorio se realizan al inicio del trabajo de mejoramiento de la recuperación de plata, pruebas a diferentes valores de pH se utiliza Xantato Z-11 como colector, cianuro de sodio, espumante, mezcla de Dow Froth 1012 con MIBC (relación de 1:2). En la tabla 4, se resume los resultados obtenidos.

Tabla 5. Dosificación de reactivos a diferentes pH en (g/ton).

pH	NaCN	Z-11	DF1012	MIBC	Recup. Ag
7	50	10 al R-5 al SCV	25	50	56,23
8,5	50	10 al R-5 al SCV	25	50	54,07
7	50	14 (aerophine 3418A (10 R- 5 SCV)	25	50	57,58

En la tercera prueba se utiliza mezcla de colectores adicionando 14 g/ton de aerophine 3418 A a título de prueba, de estas pruebas se concluye que trabajar con pH = 7, permite una recuperación de plata de 2.16% y 3.51% que cuando se trabaja con pH = 8,5.

Un segundo período de pruebas se realiza con la finalidad de determinar la mejor dosificación del colector aerophine 3418 A. En la tabla 5, se resume los resultados de dichas pruebas.

Tabla 6. Leyes y recuperaciones a diferentes dosificaciones de Aerophine 3418 A.

Aerophine (g/ton)	Ag, g/ton	Recup. Ag, %	Recup. Zn, %	Recup. Fe, %
15	295	49,31	20,41	17,70
30	255	49,38	20,49	21,19
45	265	48,46	18,59	17,34
60	195	44,96	22,12	27,13
75	270	56,87	26,31	28,03
100	180	67,61	32,63	60,08
115	172	64,06	29,17	70,68

De los resultados obtenidos se concluye que a mayor dosificación mejora la recuperación de plata, pero también aumenta la recuperación de zinc y hierro.

En el segundo grupo de pruebas se aplican los resultados de laboratorio como ser el incremento del colector aerophine 3418 A hasta 23 g/ton y se continúa las pruebas con pH natural.

La evaluación comparativa de estas pruebas se realiza por métodos estadísticos [5]; en este sentido, el promedio (o la media) y la desviación estándar son los parámetros más comunes para resumir un grupo de resultados.

Una de las formas más comunes para informar sobre la comparación, es un intervalo de confianza para la diferencia en la media de recuperación entre el tratamiento de prueba y el control.

El intervalo de confianza para una diferencia entre dos promedios se calcula con la relación siguiente:

$$X_A - X_B \pm t^* S_p \sqrt{(1/n_A - 1/n_B)} \quad (1)$$

Donde: n_A y n_B son los números de observación para los dos tratamientos, la desviación estimada S_p , se calcula a partir de las desviaciones estándar de los dos grupos:

$$S_p = \sqrt{((n_A - 1) * S_A^2 + (n_B - 1) * S_B^2) / (n_A + n_B - 2)} \quad (2)$$

El factor t depende de los grados de libertad $n_A + n_B - 2$, para esta prueba comparativa, de los dos grupos de muestras el nivel de confianza es 95%.

En la tabla 6, se tiene el resumen de los resultados de las pruebas comparativas a escala industrial aplicando ecuaciones 1 y 2.

Tabla 7. Resumen de pruebas comparativas.

Grupo de pruebas	X_i % Recup Ag-Pb	Ley de plata g/ton	Radio de concentración	Diferencia de la media de recuperación
P ₁	20,90	5300	192,13	
P ₂	32,18	5218	108,20	$X_2 - X_1 = 11,28 \pm 5,06$
P ₃	25,94	4898	161,52	$X_3 - X_1 = 5,04 \pm 4,87$
P ₄	28,83	4705	144,01	$X_4 - X_1 = 7,93 \pm 4,56$
P ₅	32,48	5050	124,71	$X_5 - X_1 = 11,58 \pm 5,86$
P ₆	42,32	3261	47,05	$X_6 - X_1 = 21,42 \pm 7,36$

De la tabla 6, se concluye que la media de recuperación en todas las pruebas mejoró sustancialmente, respecto de la prueba inicial.

La figura 2, presenta la evolución del radio de concentración, ésta disminuye desde 192.13, en la prueba 1, hasta 47.05, en la sexta prueba.

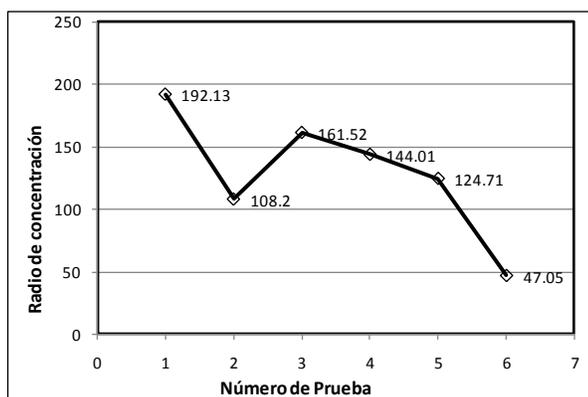


Figura 2. Evolución del radio de concentración.

La figura 3, muestra la evolución de la recuperación de plata en el concentrado de plata-plomo, ésta aumenta desde 20.9%, en la prueba 1, hasta 42.32%, en la sexta prueba.

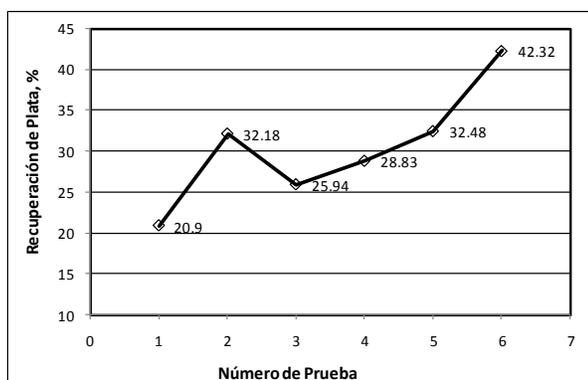


Figura 3. Evolución de la recuperación de plata.

Estas figuras muestran en forma objetiva la mejora obtenida en el transcurso de la evolución de las pruebas.

Finalmente, se ha efectuado una estimación económica del valor del concentrado bruto producido, la cual muestra una mejora sustancial desde 29.10 \$us/ton hasta 76.07 \$us/ton, lográndose un incremento de 46.97 \$us/ton.

Conclusiones

El análisis químico de la muestra global indica que es un mineral polimetálico de alta ley en zinc y plata, bajo contenido de plomo y elevado contenido en hierro.

El análisis mineralógico muestra que el producto de la mina Poopó contiene principalmente minerales de zinc y plata, entonces se debe producir concentrados de plata y concentrados de zinc.

Se ha logrado alcanzar el objetivo principal del estudio, mejorar la recuperación de la plata. El análisis de la evolución de los resultados de las diferentes pruebas muestra que la recuperación de plata aumenta desde de la prueba de control inicial de 20.90% hasta alcanzar una recuperación de 42.32% en la sexta etapa de pruebas; pero al mismo tiempo el radio de concentración disminuye desde 192.13 hasta 47.05.

La evaluación económica del valor del concentrado bruto producido, muestra una mejora sustancial desde 29.10 \$us/ton hasta 76.07 \$us/ton, lográndose un incremento de 46.97 \$us/ton.

Recomendaciones

Si se tiene un producto de alto valor económico en el total, la recuperación es más importante que la ley, por lo que el proceso deberá estar diseñado para alcanzar esta recuperación y luego mejorar la ley.

Se debe continuar con trabajos de laboratorio en la optimización de la mezcla de colectores, que será una buena alternativa para disminuir costos de la etapa de flotación

Estudiar la separación magnética de la pirrotina previa a la etapa de flotación.

Referencias bibliográficas

- GARRÓN UGARTE, Carlos, Flotación de complejos de Pb-Ag-Zn del yacimiento Poopó, diciembre, 2001.
- ARZAPALO I., W., Informe progresivo de diagnóstico y recomendaciones para la planta concentradora Bolívar, mayo, 2011.
- MANZANEDA, J., Estudio microscópico de cuatro muestras de mineral calidad Poopó, Informe N° 07-2008, Lima, Perú, octubre 2008.
- TAPIA AJATA, Demetrio, "Mejoramiento de la recuperación de plata de los minerales de Mina Poopó", Trabajo de Grado de Licenciatura, Tutor: Napoleón Jacinto Eulate, Oruro: Universidad Técnica de Oruro, Programa de Ingeniería Metalúrgica, enero 2012, 80 p.
- XI Seminario Técnico Cytec, octubre 2008, Iquique- Chile.