

RECUPERACION DE BULLIÓN CONTENIDO EN ESCORIAS

MENDEZ, Luis Eduardo; YURQUINA, Bernabel.

YMAD: Planta de Refinación. (CP 4700). Argentina.

Dpto. Química. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. UNCa. Argentina.

RESUMEN:

El proceso de fusión del precipitado, proveniente de las soluciones cianuradas de oro y plata, se realiza con gran producción de escorias las que deben ser tratadas para recuperar los gránulos de bullion, que quedan ocluidos.

Este trabajo consistió en recuperar los restos de bullion, aplicando la técnica observada en la Mina Kushikino en Japón, consistente en el granallado de las escorias al mismo momento de producirse el colado de las masas fundidas, para luego ser procesadas en un horno vertical.

La investigación se desarrolló en tres etapas. Se calculó la carga fundente, y mediante un método de planeamiento estadístico, se definió el rango experimental óptimo para el cual las características físicas de la escoria hicieran viable su granallado. Se implementó un método operativo para el granallado y por último se analizó la recuperación de finos utilizando un JIG, como alternativa a la separación por diferencia de densidad.

ABSTRACT:

The fusion process of the precipitate, derived from the cyanide solutions of gold and silver is carried out with a great production of slag which must be processed to recover the granules of blocked bullion.

This work consisted of recovering the rests of bullion applying the observed technique in Kushikino mine in Japan. It consisted of the granulating process of slag parallel to the production of straining of melted masses to be processed later on in a vertical furnace.

The investigation was developed into three steps. The melting charge was calculated and, following a planning statistical method, the top experimental range was defined, so, the physical slag characteristics allowed the granulating process; and then, it was analysed the recovering of fines by using a JIG as an alternative to separate them taking into account the variation of density.

Keywords: Recovering, bullion, slag, granulating process.

INTRODUCCION:

El presente trabajo de investigación se realizó en la Empresa Yacimientos Minerales de Aguas de Dionisio (YMAD) ubicada en la provincia de Catamarca, República Argentina.

En la Mina Farallón Negro, de propiedad de YMAD, se obtienen mensualmente alrededor de 650 Kg de bullion con una ley promedio de finos del orden del 97 %, (89 % de plata y 8 % de oro). La recuperación de bullion ocluido en las escorias obtenidas en el proceso de fusión del precipitado de oro y plata, se lleva a cabo en una Planta de Tratamiento de Escorias, cuyas etapas principales son: Trituración-Molienda-Concentración y están esquematizadas en la figura 1.

La investigación desarrollada tuvo por objeto analizar la posibilidad de optimizar la recuperación de bullion contenido en las escorias mediante la implementación de un método alternativo que permitiera suplantar parcial o totalmente la Planta de Tratamiento. Para ello se estudió la adecuación de la técnica observada en la Mina Kushikino de Japón, en el marco de un acuerdo de cooperación entre YMAD y JICA (Japan International Cooperation Agency). Esta técnica consiste en “granallar las escorias en el momento de colar la masa fundida, para posteriormente recuperar el bullion ocluido por refusión de las escorias en un horno vertical”

Para su estudio, el trabajo se decidió en tres etapas:

- I- Determinación de la carga fundente óptima.
- II- a) Estudio de la viabilidad del granallado de escorias.
b) Implementación de un método operativo adecuado.
- III- Recuperación del bullion ocluido en las escorias.

La división en etapas y el orden sucesivo para su ejecución, se hizo con la pretensión de lograr conclusiones sobre aspectos parciales del estudio a fin de modificar técnicas operativas, corrigiendo y optimizando los resultados del proceso industrial paralelamente al avance de la investigación.

Parte Experimental

Primera Etapa

I- *Determinación de la carga fundente óptima.*

I.a. *Análisis del precipitado*

Los estudios se realizaron en una laboratorio normal de análisis metalúrgicos y se utilizaron técnicas convencionales de vía húmeda y vía seca.

La composición del precipitado se ha calculado sobre el peso húmedo, a fin de tratar posteriormente el mismo, en condiciones similares a la operatoria de rutina de Farallón Negro.

Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro I.

Cuadro I. Composición del Precipitado

Componentes	BULLION	Zn	Pb	Cu	Fe	H ₂ O
%	31,60	45,03	0,79	0,90	0,68	21,00

I.b. *Cálculo de carga fundente teórica.*

Determinada la composición del precipitado, se definió los fundentes necesarios para remover las impurezas y se calculó el requerimiento de cada uno, referido a 100 g de precipitado húmedo.

El cálculo y la carga fundente resultante se detallan en los cuadros II y III.

Cuadro II. Cálculo de la Carga.

Elemento	%	Fac. Ox.	Ox. Bas.	Fac. Nit.	Nitrat.	Ox. Ac.
Zn	45,03	0,246	11,077	0,87	39,176	
Pb	0,79	0,077	0,061	0,28	0,221	
Cu	0,90	0,254	0,229	0,91	0,819	
Fe	0,68	0,285	0,194	1,01	0,687	
NaNO ₃	40,90	0,094	3,8460			
			15,407			
SiO ₂					40,903	
Na ₂ B ₄ O ₇						0,534
Na ₂ O			0,158			0,954
			0,158			1,488

Relación Ox. Bas.: Sílice = 1:2

Factor: 1,488 - (2 * 0,158) = 1,172

Cuadro III. Carga Fundente

Fundente	SiO ₂	Na ₂ B ₄ O ₇	NaNO ₃	Total
Peso (g)	26,29	52,58	40,90	119,77
%	21,90	43,90	34,20	100,00

Relación carga: ppdo = 1,2

I.c. Ensayos preliminares de fusión

Se realizaron ensayos preliminares a escala de laboratorio, comparando el comportamiento de la fusión y las características de las escorias, entre la carga teórica calculada (CTC) y la utilizada en Farallón Negro (CFN).

Las características físicas de la escoria fueron evaluadas cualitativamente. La viscosidad, respuesta seleccionada para su estudio, no pudo cuantificarse ante la imposibilidad de utilizar un viscosímetro de alta temperatura, por el efecto del contenido de plata.

Se intentó medir la fluidez con un cono de acero especialmente construido pero la dificultad para hacer mediciones en un ambiente de temperatura constante, alrededor de 1000 °C, obligó a desechar estos valores.

Se optó, entonces, utilizar como respuestas cuantificables la pureza y la recuperación de bullion, que son estas las que pueden incidir en la etapa posterior del proceso (Refinación).

Con la nueva carga fundente se observó características físicas diferentes de la escoria comparada con las resultantes de CFN.

- * Aspecto vitreo definido.
- * Fragilidad al choque térmico y al impacto en frío.
- * Fácil granallado.

Cuadro IV. Ensayos Preliminares

Ensayo Nº	Fundentes				Pureza 0/00	Recuper. %	
	Referencias	Silice (g)	Bórax (g)	Nitrato (g)			Carbonato (g)
1	(C)	39,4	79,00	61,6	--	968,5	99,7
2	(CF)	34,6	61,0	30,6	53,6	918,6	78,8
3	(C)	39,4	79,0	61,6	--	971,6	99,5
4	(-10)	35,5	71,1	55,4	--	971,8	99,0
5	(+10)	46,4	86,9	67,7	--	961,6	96,8

Condiciones:

Precipitado: 150 g
 Tiempo de fusión: 45 minutos
 Temperatura: 1000 °C

Referencias: (C) : Carga según cálculo

(CF): Carga usada en mina
 (-10): Reducción del 10% respecto a la carga calculada
 (+10): Incremento del 10% respecto a la carga calculada

I.d. Estudios de efectos e interacciones de los componentes de la carga fundente.

Logradas las características adecuadas de la escoria para su granallado, se procedió a determinar el rango experimental óptimo, en el cual no se vea afectado la "calidad" de la escoria. Para ello se aplicó un método de planeamiento estadístico, consistente en el diseño experimental. El modelo "Diseño Factorial 2³" utilizado, permite lograr información sobre los efectos que producen, sobre las respuestas, las ocho combinaciones de las tres variables seleccionadas, cada una de ella en dos niveles.

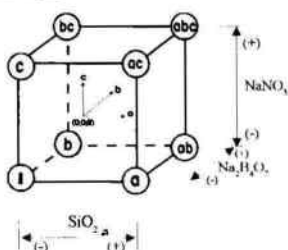
Las variables consideradas fueron los componentes de la carga fundente: Silice (A), Bórax (B) y Nitrato (C).

Las respuestas analizadas: Finos totales y Recuperación de Bullion y características de la escoria.

Los niveles para cada variable fueron: mínimo (-)10%; máximo (+)10% (corrida 1) y mínimo (-)30%; máximo (+)5% (corrida 2); respecto de la CTC.

Dentro del ámbito considerado se comprobó la invariabilidad de las características físicas de la escoria y sin presentar dificultad para su granallado.

Diseño Factorial 2³:



Matriz			
Corrida	Variables		
	A	B	C
I	-	-	-
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	-
c	-	-	+
ac	+	-	+
bc	-	+	+
abc	+	+	+

Cuadro V. Resultado de las pruebas combinadas para determinar la carga fundente óptima.

	Respuestas	l	a	b	ab	c	ac	bc	abc
Corrida 1	Finos (0/00)	958,1	966,0	955,0	969,8	964,0	961,9	957,6	959,1
	Recuper (%)	97,3	96,2	97,9	98,4	98,7	98,4	99,5	98,7
Corrida 2	Finos (0/00)	955,1	968,2	968,2	960,9	961,9	972,3	971,0	967,4
	Recuper (%)	98,9	95,9	99,8	98,3	99,3	98,2	99,6	99,4

I.e. Ajuste de la carga fundente

Los ensayos de ajuste se realizaron en Farallón Negro durante la operatoria de rutina de fusión de precipitado.

A partir de los resultados surgidos del diseño experimental, se definió como metodología para el ajuste de la carga, reducir la relación carga/precipitado partiendo de la relación teórica y manteniendo las proporciones del fundente según el cálculo de la carga.

La disponibilidad de cuatro hornos de fusión de capacidad unitaria para 40 Kg de precipitado húmedo, permitió realizar ensayos en paralelo para cada carga, minimizando la incidencia del rendimiento de los hornos en los resultados.

El cuadro VI muestra los resultados de las pruebas donde los valores de finos (oro+plata) es el promedio de los ensayos para cada carga.

La reducción de la relación carga/precipitado hasta 0,8/1 a escala industrial dio resultados concordantes a los obtenidos en el laboratorio. Para valores menores, la escoria pierde fluidez y aumenta la resistencia a la fragmentación por el choque térmico.

Cuadro VI. Resultados de las pruebas de fusión en Farallón Negro.

Carga Kg	Fundentes			Relación Carga/ppdo	Finos %	Escorias	
	SiO ₂	Na ₂ B ₄ O ₇	NaNO ₃			Aspecto	Color
48	10,5	21,0	16,5	1,20	972,6	Vitrea-Frágil	Negro
45	10,0	19,5	15,5	1,12	968,5	Vitrea-Frágil	Negro
41	9,0	18,0	14,0	1,02	974,1	Vitrea-Frágil	Negro
40	9,0	17,0	14,0	1,00	968,5	Vitrea-Frágil	Negro
38	8,0	16,0	14,0	0,95	966,0	Vitrea-Frágil	Negro
32	7,0	14,0	11,0	0,80	977,8	Vitrea-Frágil	Negro
31	6,0	14,0	11,0	0,77	961,2	Calcárea-dura	Grisáceo

Segunda Etapa

II.a Estudio de la viabilidad del granallado de escorias.

Simultáneamente a las pruebas de ajuste de las cargas se hicieron ensayos preliminares para determinar el método operativo de granallado.

Inicialmente, se probó colando la masa fundida en dos pasos sucesivos. En el primero, se volcó la mitad del volumen fundido sobre un tanque de agua fría de aproximadamente 100 litros de capacidad. Se detuvo el colado, y en el segundo paso se completó el volcado sobre la lingotera de moldeo de bullion, cayendo el excedente de la escoria sobre una bandeja que soporta la lingotera.

La operatoria adoptada presentó dos inconvenientes:

- a) Desde el punto de vista práctico es imposible determinar el punto justo para detener el primer colado sin correr el riesgo de arrastrar parte del bullion fundido.
- b) Parte de la escoria queda sin granallar.

II.b. Método operativo implementado.

Confirmada la viabilidad del granallado de las escorias, se procedió a diseñar un sistema que básicamente no implicara cambios en la operación de colado de rutina.

El sistema implementado está esquematizado en la figura 2 y se basa en una técnica sencilla. Consiste en realizar el granallado de la escoria en forma simultánea con el colado de bullion. Para ello, se coloca el contenedor de agua por debajo del nivel de piso y la lingotera se sostiene, a la altura adecuada, con un esqueleto de hierro que no obstruya el paso de la masa fundida en su caída. De este modo, se cuela el contenido del crisol sobre la lingotera y el rebalse de escoria que se produce durante el colado, cae al contenedor a través de una canaleta en pendiente. De esta manera, la escoria granallada queda en el fondo del recipiente con agua y el bullion se moldea en la lingotera.

Tercera Etapa

III. Recuperación del bullion ocluido en las escorias.

En esta etapa se previó el diseño y la construcción de un horno para la refusión de las escorias y la separación del bullion por diferencia de densidad.

Los estudios y los correspondientes resultados de la segunda etapa, más el aprovechamiento de infraestructura y equipos ya existentes, permitieron analizar la alternativa de utilizar el JIG DENVER 8"x12" para recuperar el bullion por concentración gravitatoria.

Para hacer viable esta posibilidad era necesario que la granulometría de las escorias granalladas sea similar a las del tratamiento de la Planta, a la salida de la etapa de molienda.

A partir de una clasificación gruesa de la escoria, según su granulometría, se obtiene la siguiente distribución:

Malla #	Retención %
+6	10
+10	60
-10	30

La clasificación granulométrica reviste relativa importancia por cuanto, dadas las características de la escoria, en cuanto a carácter vítreo y gran fragilidad al impacto en frío, los pequeños trozos que se obtienen continúan fragmentándose con el manipuleo de las mismas. Por lo tanto, la liberación de los granúlos de bullion sin dificultad, posibilita la concentración de los granúlos mediante la utilización del JIG.

La utilización de un horno vertical para la recuperación del bullion, surgido de la metodología observada en la Mina Kushikino, será motivo de un estudio posterior para el diseño y cálculo del mismo, y hacer así un análisis comparativo de costos operativos entre ambas alternativas.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la primera etapa se resumen en el cuadro VII. En la nueva carga fundente se eliminó el carbonato de sodio, y con la modificación de las proporciones de los otros fundentes para la remoción de las impurezas del precipitado, se logró el mejoramiento de las características físicas de la escoria (fluidez, fragilidad térmica) posibilitando su posterior granallado.

El ajuste de la carga a escala industrial sustentado en el estudio estadístico aplicado con base en el diseño experimental, dió como resultado una reducción, en peso, de 10 Kg por cada 40 Kg de precipitado (carga por horno) que significa 23,8%. Desde el punto de vista económico, equivale a una disminución del 20,2% en costos de reactivo. Para la producción actual de mina es necesario realizar 55 fusiones de promedio mensual, lo que implica un ahorro de 550 Kg de reactivo para el mismo período.

La segunda etapa significó obtener resultados que permitieran introducir cambios operativos en el proceso de fusión del precipitado, implementándose un método simultáneo de colado bullion y granallado de escorias, obteniéndose así una fragmentación de tamaños convenientes, necesarios para liberar los fragmentos metálicos ocluidos. Consecuencias directas de esta modificación son; Substitución de etapas del tratamiento convencional; reducción tanto del tiempo de proceso, como del consumo de energía y costo por hora/hombre. Definición como método alternativo más conveniente el uso de JIG.

El uso del JIG como alternativa frente a la construcción de un horno de refusión, se relaciona directamente con los costos adicionales que éste implica y que podrá ser analizado en un trabajo posterior.

Además, la disponibilidad del espacio físico en la sala de fusión para la instalación del JIG, permite que tanto el tratamiento del precipitado como el de las escorias, se lleve a cabo en el mismo recinto dotado de la infraestructura de seguridad que, por el valor intrínseco del material que se manipula, se requiere en estos casos.

Sin embargo, la modificación definitiva, cuya propuesta fue adelantada en un informe preliminar, es una decisión empresaria que aún no ha sido resuelta. Esto implicará estudios adicionales de ajuste en cuanto se refiere a ingeniería de detalle y rendimiento.

Cuadro VII. Relación entre la carga de F.N. y la carga ajustada retenida referida a 40 kg de precipitado húmedo.

Identificación	Peso de Reactivo (Kg)				Peso Total (Kg)	Costo \$
	Sílice	Bórax	Nitrato	Carbonato		
Carga de rutina de F.N.	8,0	16,0	8,0	10,0	42,0	26,20
Carga ajustada	7,0	14,0	11,0	-	32,0	20,90

CONCLUSIONES:

Del análisis de los resultados obtenidos a escala de laboratorio e industrial, surge que la adecuación y aplicación de la técnica de referencia, no representa ninguna dificultad. Es una técnica sencilla que se sustenta en dos aspectos básicos:

- 1) La correcta definición, tanto de las fundentes adecuadas como de la carga respecto a la composición del precipitado que permite la obtención de una escoria vitrea y de gran fluidez.
- 2) La metodología de granallado de las escorias para lograr una fragmentación tal, que la granulometría sea pareja y de tamaño conveniente para una fácil liberación del metal.

La utilización de un diseño estadístico ha brindado importante información sobre el rango experimental más apto, donde la seguridad de los resultados no es afectada.

La clasificación de las escorias en función de su granulometría tiene relativa incidencia en el análisis de los resultados ya que por las características vítreas de las mismas, se produce una fragmentación adicional producto del manipuleo y operatoria seleccionada para su tratamiento.

La retención de gránulos de bullion en las escorias depende principalmente de la operatoria de colado, más que de la definición de la carga fundente. La regularidad de los valores de retención para una misma operatoria permite hacer esta afirmación.

El ajuste del granallado para obtener una escoria de granulometría homogénea y tamaño adecuado, es decisivo si se utiliza como alternativa de recuperación, al JIG. No así en el caso de refusión, por cuanto en este caso el objeto de la fragmentación es reducir el volumen del material a tratar a fin de aumentar la capacidad de tratamiento del Horno.

Como conclusión final, debe destacarse que a partir de estos resultados queda abierta la posibilidad de realizar estudios adicionales referidos a detalles de ingeniería de proceso comparativos entre las alternativas que se esquematizan en la figura 3.

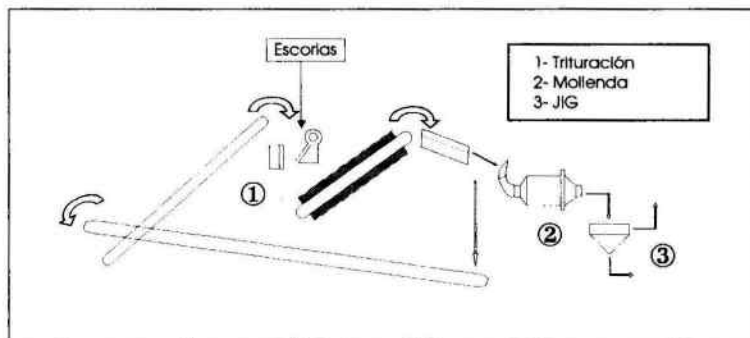


Figura 1: Planta de Tratamiento de Escorias.

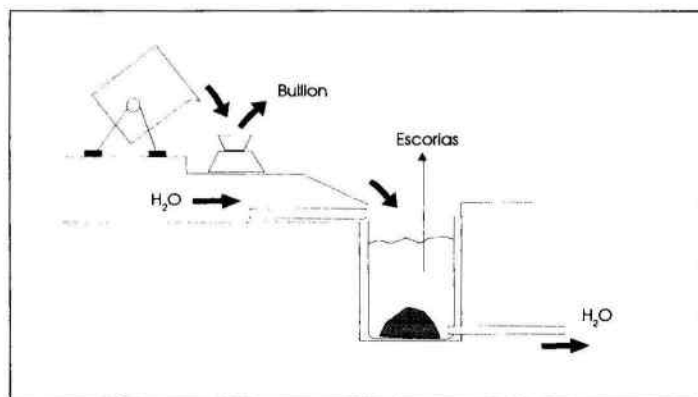


Figura 2: Método de Granallado implementado.

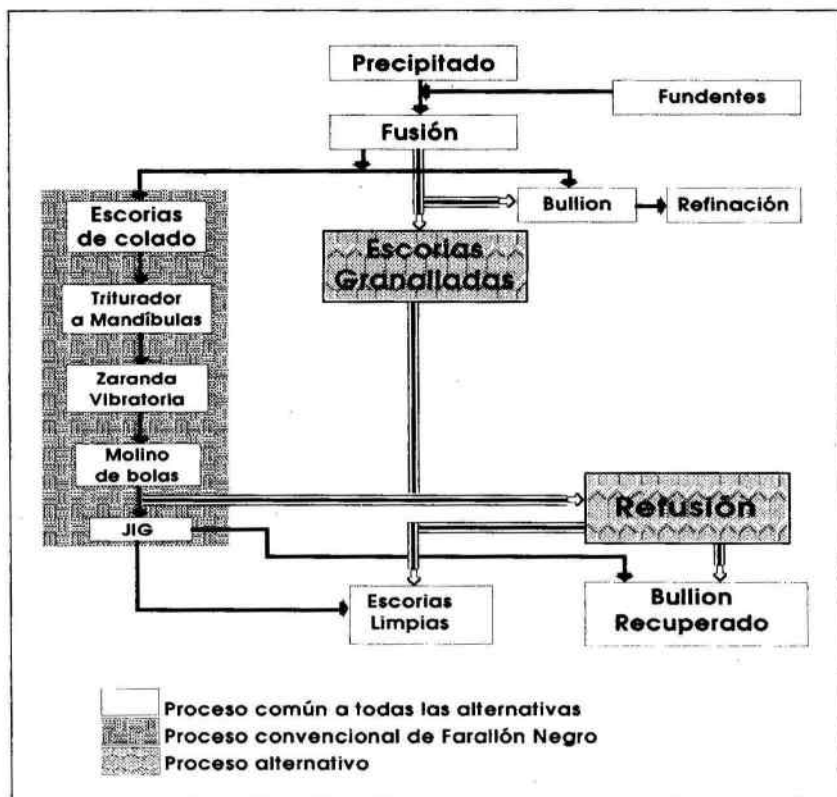


Figura 3: Diagrama Comparativo

Referencias.

- [1]. ALVARES, J.. Bases del Diseño Experimental y su Aplicación a las Experiencias de Flotación de minerales. Seminario Latinoamericano de metalurgia Extractiva del Cobre. Universidad de Concepción. (Octubre 1979).
- [2]. BERL, LUNGE, D'ANS. Métodos de Análisis Químico Industrial. 1º y 2º Parte. Labor s.a. España. (1961).
- [3]. CUTLER SHEPAR, O. and DIETRICH, W.. Fire Assay. Mc. Graw. Hiel Cap. 4. (1940).
- [4]. MONTGOMERI, D.C.. Gpo. Ed. Iberoamérica. Cap. 7. México. (1991).
- [5]. RODGER, G. and JUGOON, R.. Optimizing Bullion Fineness by 2³ Factorial Desing of a Flux Composition for Gold Precipitates. Canadian Mining Journal. (June 1970).