

Precipitación de oro en solución rica clarificada con aluminio en minera Barrick

PRECIPITATION OF GOLD IN RICH CLARIFIED SOLUTION WITH ALUMINUM IN BARRICK MINING

Edwar Villavicencio*

RECIBIDO: 29/10/2014 – APROBADO: 23/11/2014

RESUMEN

La compañía minera Barrick Misquichilca- Unidad Pierina, en su proceso de cierre está en la búsqueda de procesos óptimos, que optimicen los resultados y que tengan el menor impacto ambiental.

En este contexto se evaluó el reemplazo el Zinc por el Aluminio en el proceso Merrill Crowe, se realizaron una serie de pruebas experimentales, y se determinó que no es necesaria la presencia de cianuro libre, ni una bomba de vacío; para que se dé la reacción. Toda la información obtenida, fue analizada y procesada, los resultados muestran valores consistentes, representativos y reportaron buenos resultados. El mejor resultado se obtuvo a un pH 11.5, con una adición de Aluminio en polvo de 0.25 g/l (55 kg para un flujo de 220 m³/h) sin desaireación, con 0.023 ppm y 0.041 ppm de leyes de oro y plata en la solución Barren respectivamente.

Palabras clave: Precipitación con aluminio, solución barren, cianuro libre.

ABSTRACT

Barrick Misquichilca mining company - Pierina Unit, in the process of closure is finding optimal processes, which will improve performance at low cost and with the less environmental impact.

In this context, aluminum is evaluated to replacement zinc in the Merrill Crowe process, a series of experimental tests were conducted and it was determined that it is not necessary the presence of neither free cyanide nor vacuum pump for the reaction to occur. All information obtained was analyzed and processed, the results show consistent, representative values and reported good results. The best result was obtained at pH 11.5, an addition of aluminum powder of 0.25 g / l (55 kg for a flow of 220 m³ / h) without deaeration, with 0.023 ppm and 0.041 ppm of silver and gold grades in the Barren solution respectively.

Keywords: Precipitation with aluminum, barren solution, free cyanide.

* Ing. Metalurgico Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: evillaj@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Como toda empresa minero metalúrgica, tiene la necesidad de extraer de manera eficiente y la mayor cantidad los recursos naturales metálicos, usando por ejemplo nuevos métodos de cementación del oro y plata, y de esta manera obtener un beneficio.

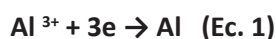
Minera Barrick viene realizando el tratamiento metalúrgico de soluciones provenientes del pad sin cianurar, sin embargo, el proceso actual requiere el uso de cianuro libre para que se dé la reacción en el cono de Zinc. (Minera Barrick, 2014).

Hasta ahora en el proceso Merrill Crowe se viene trabajando con el uso del Zinc, obteniéndose buenos resultados, sin embargo la Mina Pierina viene afrontando diversas dificultades una de ellas es la restricción del cianuro en sus operaciones, en ese contexto se ve obligada a buscar distintas alternativas, una de ellas el uso del aluminio para la cementación del oro y plata. En el presente trabajo de investigación se evaluara a nivel laboratorio los parámetros que intervienen en la cementación con aluminio de oro y plata, y considerar los parámetros que se utilizaran en planta.

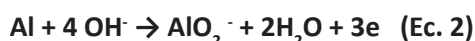
II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El aluminio fue usado comercialmente en Nipissing y Deloro smelter en Canada para la precipitación de oro de las soluciones ricas (Marsden, H., 2006).

La oxidación de aluminio en soluciones acuosas es:



El aluminio tiene suficiente potencial de reducción para reducir el cianuro de Au (I) complejo a oro. El aluminio no forma complejos estables con el cianuro pero se disuelve en soluciones alcalina:

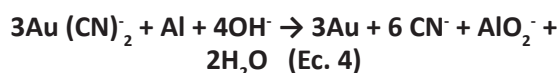


El ion aluminato AlO_2^- puede hidrolizar formando un hidróxido relativamente insoluble:



El equilibrio de esta reacción se puede mantener a la derecha manteniendo el pH sobre 12 para evitar la pasivación del aluminio por una capa de hidróxido formado en la capa superficial de aluminio.

La ecuación total:



Otras reacciones se observan pero depende de las condiciones de la solución. El requerimiento estequiométrico

del aluminio es menor a del zinc, porque genera en la reducción 3 electrones comparado con 2 del zinc. Además, se puede ver que la reducción del cianuro de oro genera 2 moles de cianuro por cada oro precipitado, a diferencia del zinc que consume 2 moles adicionales de cianuro por cada mol de oro precipitado.

Una importante desventaja del aluminio que el hidróxido de calcio no puede ser usado para el control del pH por que el CaAl_2O_4 es formado, teniendo la tendencia de obstruirse en los filtros y contaminar el oro precipitado:



Así, las soluciones contenidas aun pocas cantidades de calcio debe ser preparadas antes de la precipitación del Al. Esto puede ser logrado con la adición carbonato de sodio para precipitar carbonato de calcio, con el beneficio adicional de incrementar el pH.

El aluminio precipita más lento que el zinc. Es menos efectivo que el zinc para recuperar soluciones con poco o nada de plata pero trabaja bien para precipitar plata cuando tiene más de 50 ppm. La desaireación es necesaria antes de la precipitación por la oxidación de Al, el aluminio es afectado en menor medida que el zinc para minerales sulfurados, arsénico, y antimonio. (Marsden, H., 2006)

III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Las diferentes pruebas experimentales se llevaron a cabo en los laboratorios de Metalurgia y química, del área de procesos de la minera Pierina.

3.1. Equipos, materiales y reactivos

Para las pruebas experimentales se utilizaran diversos equipos y materiales, en su mayoría procedentes del laboratorio de metalurgia, algunos son (Canales Juarez, 2013):

Equipos:

- Equipo de cianuración por agitación
- Balanzas digitales
- Potenciómetros
- Equipo de titulación
- Otros

Materiales:

- Pizetas
- Matraces
- Baldes
- EPPs (Guantes, lentes, respiradores, otros)
- Pro pipetas
- Pipetas

- Limpiadores
- Tubos de ensayo
- Botellas para muestras
- Cinta masking
- Estikers de identificación
- Marcadores
- Botellas para cianuración
- Vasos precipitados
- Goteros
- Papel filtro
- Otros
- Reactivos:
 - Polvo de Aluminio
 - Oxido de calcio

Muestra de la solución

La muestra a evaluar se toma de solución rica clarificada (1600 ml aproximadamente)

- Compósito de la salida de los filtros clarificadores (M3)



Figura N.º 1. Muestras tomadas del punto M3.

3.2. Pruebas de laboratorio

Se tomaron 6 muestras de aproximadamente 1600 ml (Figura N.º 01) para realizar la pruebas metalúrgicas como se observa en la Figura 2 (Canales Juárez, 2013).

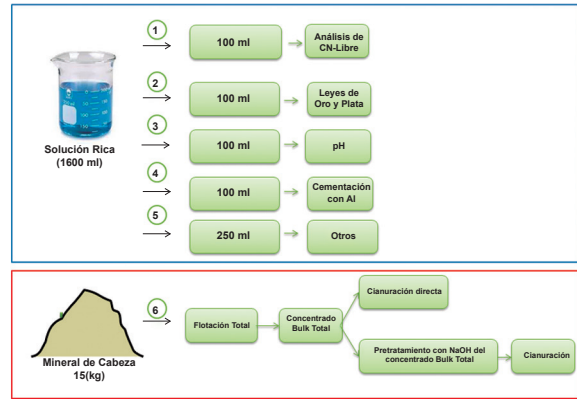


Figura N.º 2. Pruebas metalúrgicas realizadas.

Realizara pruebas preliminares para observar el comportamiento de las variables en estudio.

3.2.1 Prueba N.º 1: Cementación con polvo de aluminio a diferente pH

Se tomó una muestra representativa de 1000 ml. de solución rica clarificada como se observa en la Figura N.º 1, y se adicione aluminio a los vasos precipitados para su agitación como se ve en la Figura 2. Las condiciones de la prueba realizada se muestran en la Tabla N.º 1.

Tabla N.º 1. Cementación con polvo de Aluminio a diferente pH.

Muestra	Cantidad (ml)	pH	Aluminio (g)
A-001	1000	10	1.00
A-002	1000	10.5	1.00
A-003	1000	11	1.00
A-004	1000	11.5	1.00
A-005	1000	12	1.00
A-006	1000	12.5	1.00

Tabla N.º 2. Resultados obtenidos de la cementación a diferente pH.

Muestra	CN-Libre inicial	CN-Libre Final	Au Solución Rica	Au Solución Barren	Ag Solución Rica	Ag Solución Barren
A-001	10.2	14.3	0.175	0.01	0.53	0.02
A-002	9.88	16.7	0.18	0.01	0.542	0.02
A-003	10.1	22.3	0.163	0.01	0.533	0.02
A-004	9.98	27.6	0.176	0.01	0.541	0.02
A-005	10.1	18.6	0.184	0.01	0.529	0.02
A-006	9.9	15.3	0.182	0.01	0.533	0.02

La prueba se realizó por en una celda de agitadores (Figura N.º 3). La prueba no necesito cianuro libre.

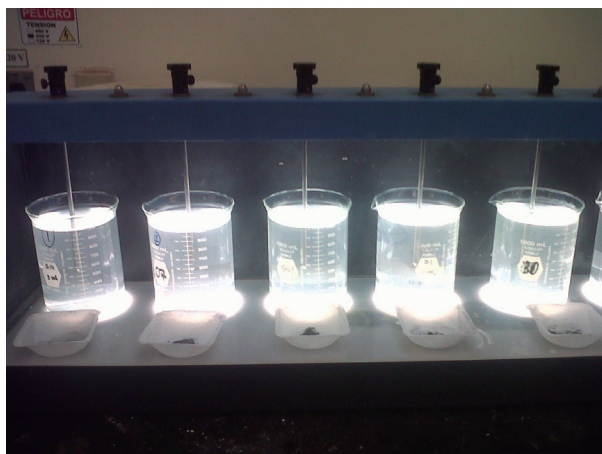


Figura N.º 03. Agitación en vasos precipitados.

Al final de la prueba se filtró 100 ml de solución barren para su posterior análisis. Los resultados se muestran en la Tabla N.º 2.

Tabla N.º 3. Cementación con polvo de aluminio a diferente pH.

Muestra	Cantidad (ml)	pH	Aluminio (g)
B-001	1000	11	0.05
B-002	1000	11	0.1
B-003	1000	11	0.15
B-004	1000	11	0.25
B-005	1000	11	0.50
B-006	1000	11	1.00

3.2.2. Prueba N.º 2: Cementación con polvo de aluminio a diferente masa

Se tomó una muestra representativa de 1000 ml. de solución rica clarificada como se observa en la Figura N.º 1, y se adiciono aluminio (a diferente masa) a los vasos precipitados para su agitación como se ve en la Figura N.º 4. Las condiciones de la prueba realizada se muestran en la Tabla N.º 3.

La prueba se realizó por en una celda de agitadores (Figura N.º 3). La prueba no necesito cianuro libre.

Al final de la prueba se filtró 100 ml de solución barren para su posterior análisis. Los resultados se muestran en la Tabla N.º 4.

Tabla N.º 4. Resultados obtenidos de la cementación a diferente pH.

Muestra	CN-Libre inicial	CN-Libre Final	Au Solución Rica	Au Solución Barren	Ag Solución Rica	Ag Solución Barren
B-001	7,46	12,2	0,2	0,1	0,59	0,144
B-002	8,81	16,95	0,19	0,036	0,586	0,08
B-003	8,13	16,95	0,21	0,025	0,587	0,082
B-004	8,13	30,5	0,209	0,015	0,589	0,06
B-005	8,81	20,31	0,212	0,005	0,596	0,033
B-006	8,81	23,05	0,211	0,02	0,593	0,02

3.2.3. Prueba N.º 3: Cementación con polvo de aluminio a diferente pH

Se tomó una muestra representativa de 1000 ml. de solución rica clarificada como se observa en la Figura N.º 1, y se adiciono aluminio (a la misma masa) a los vasos precipitados para su agitación. Las condiciones de la prueba realizada se muestran en la Tabla N.º 5.

Tabla N.º 5. Cementación con polvo de aluminio a diferente pH.

Muestra	Cantidad (ml)	pH	Aluminio (g)
C-001	1000	10	0.25
C-002	1000	10.5	0.25
C-003	1000	11	0.25
C-004	1000	11.5	0.25
C-005	1000	12	0.25
C-006	1000	12.5	0.25

La prueba se realizó por en una celda de agitadores (Figura N.º 3). La prueba no necesito cianuro libre.

Al final de la prueba se filtró 100 ml de solución barren para su posterior análisis. Los resultados se muestran en la Tabla N.º 6.

Tabla N.º 6. Resultados obtenidos de la cementación a diferente pH.

Muestra	CN- Libre inicial	CN- Libre Final	Au Solución Rica	Au Solución Barren	Ag Solución Rica	Ag Solución Barren
C-001	7,46	10,85	0,2	0,161	0,597	0,046
C-002	8,81	14,92	0,204	0,076	0,596	0,094
C-003	8,13	21,96	0,205	0,068	0,589	0,085
C-004	8,13	18,98	0,213	0,023	0,594	0,041
C-005	8,81	16,27	0,207	0,084	0,596	0,06
C-006	8,81	13,56	0,219	0,085	0,601	0,018

3.2.4. Prueba N.º4: Cementación con polvo de aluminio a diferente pH

Se tomó una muestra representativa de 1000 ml. de solución rica clarificada como se observa en la Figura N.º 1, y se adiciono aluminio (a la misma masa) a los vasos precipitados para su agitación. Las condiciones de la prueba realizada se muestran en la Tabla N.º 7.

Tabla N.º 7. Cementación con polvo de aluminio a diferente pH.

Muestra	Cantidad (ml)	pH	Aluminio (g)
D-001	1000	10	0.5
D-002	1000	10.5	0.5
D-003	1000	11	0.5
D-004	1000	11.5	0.5
D-005	1000	12	0.5
D-006	1000	12.5	0.5

La prueba se realizó por en una celda de agitadores (Figura N.º 3). La prueba no necesito cianuro libre.

Al final de la prueba se filtró 100 ml de solución barren para su posterior análisis. Los resultados se muestran en la Tabla N.º 8.

Tabla N.º 8. Resultados obtenidos de la cementación a diferente pH.

Muestra	CN- Libre inicial	CN- Libre Final	Au Solución Rica	Au Solución Barren	Ag Solución Rica	Ag Solución Barren
D-001	7,46	6,78	0,187	0,091	0,522	0,08
D-002	8,81	15,6	0,187	0,079	0,522	0,022
D-003	8,13	17,63	0,187	0,025	0,522	0,029
D-004	8,13	25,76	0,187	0,009	0,522	0,015
D-005	8,81	18,98	0,187	0,022	0,522	0,035
D-006	8,81	18,98	0,187	0,04	0,522	0,01

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los datos recogidos en las pruebas metalúrgicas definitivas realizadas a la muestra del punto M3, se obtuvo para las diferentes pruebas:

4.1. Prueba I

En la ecuación N° 4 se aprecia que por cada mol de Al se genera 6 moles de cianuro libre, en la Figura N.º 4, ve observa que a distintos pH hay generación de cianuro libre.

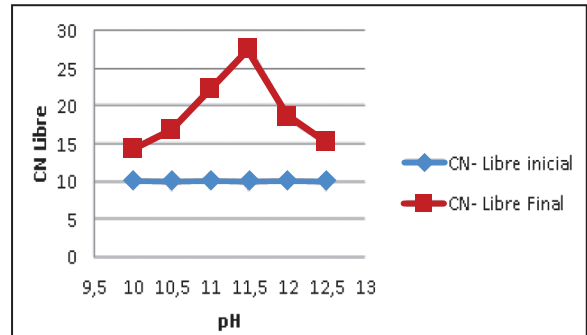


Figura N.º 4. Relación pH-CN Libre.

En cuanto a la solución barren está por debajo de la lectura permisible del equipo de absorción atómica comprobando la hipótesis de la recuperación con Aluminio (Figura N.º 5).

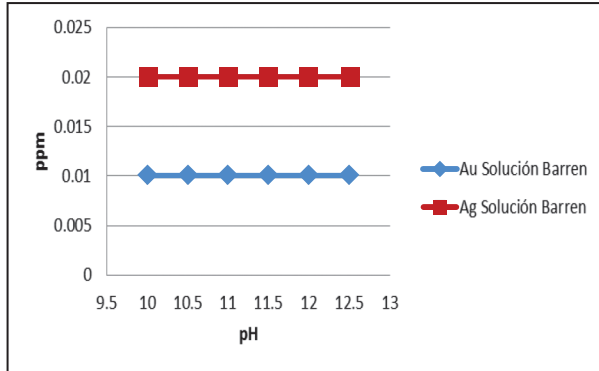


Figura N.º 5. Relación pH-ppm Au, Ag en solución barren.

4.2. Prueba 2

Al realizar la prueba a pH 11 y variando la masas de Aluminio, se observa mayor desprendimiento de cianuro libre con 0.25 g de aluminio (Figura N.º 6).

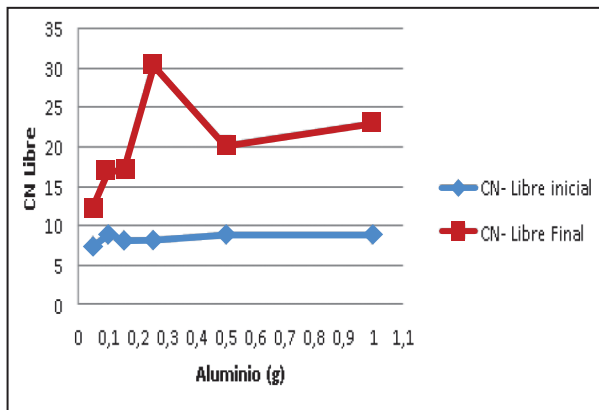


Figura N.º 6. Relación pH-CN Libre.

El análisis de absorción atómica confirma la que reacciones se dan mejor entre un pH 11 y 11.5 (Figura N.º 7).

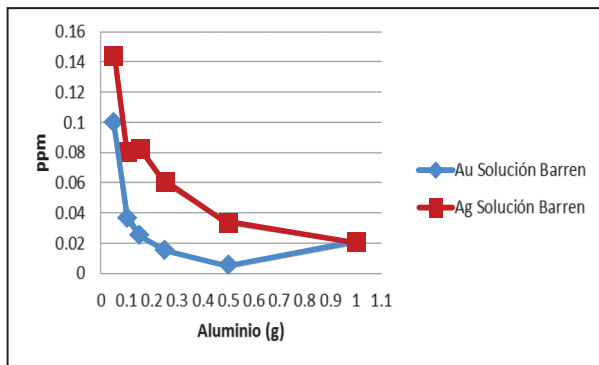


Figura N.º 7. Relación pH-ppm Au, Ag en solución barren

4.3. Prueba 3

Al realizar la prueba con una masa de 0.25 g de aluminio y a diferente pH, se observa que hay mayor generación de cianuro libre a un pH de 11 y 11.5 (Figura N.º 8).

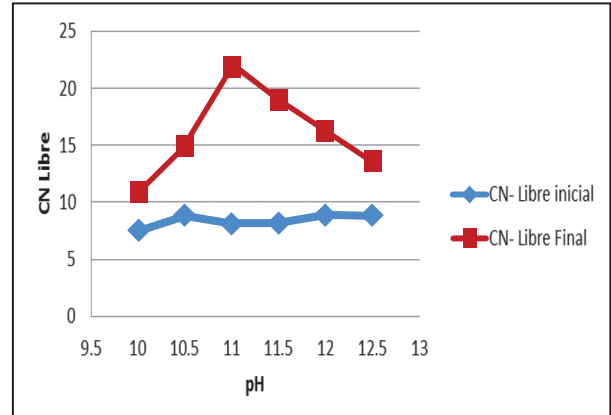


Figura N.º 8. Relación pH-CN Libre.

Los mejores resultados se obtuvieron a un pH de 11.5 y con una solución de barren muy baja (0.023 ppm y 0.041 ppm de leyes de oro y plata en el Barren respectivamente) (Figura N.º 9).

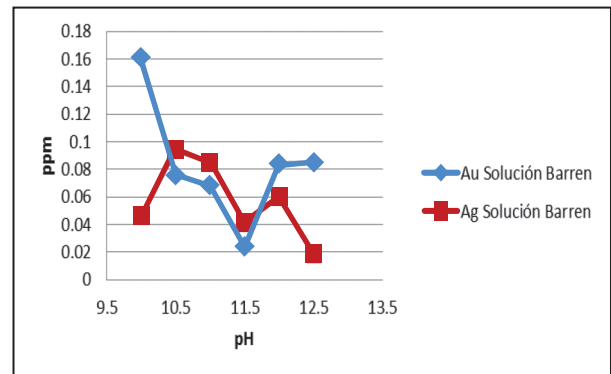


Figura N.º 9. Relación pH-ppm Au, Ag en solución barren.

4.4. Prueba 4

Se realizo otra prueba similar a la prueba 3 con 0.5 g de Al obteniendose resultados aproximados (Figura N.º 10 y 11).

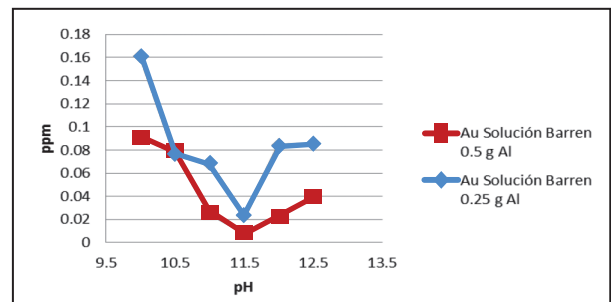


Figura N.º 10. Relación pH-ppm Au, Ag en solución barren.

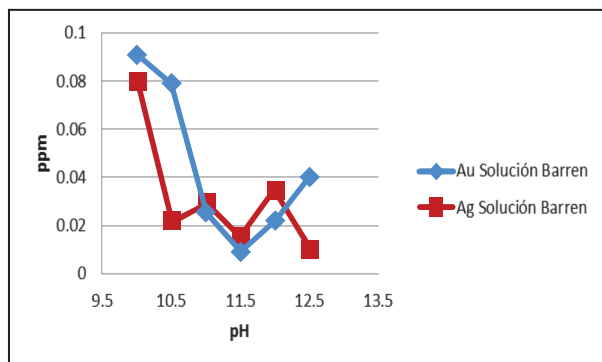


Figura N.º 11. Relación pH-ppm Au, Ag en solución barren.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con el uso de polvo de aluminio en remplazo del zinc, se lograron obtener mejores o iguales resultados que el proceso actual, concluyendo que:
 - Al llevar a cabo las pruebas se utilizó Oxido de calcio, el cual no interfirió en la reacción.
 - No es necesario la adición de cianuro libre para que se dé la reacción.
 - No es necesario la desaireación para que se dé la reacción.
 - Los resultados obtenidos en la tabla N.º 6, la muestra C-004 muestra valores similares a los datos actuales en planta con 0.023 ppm y 0.041 ppm de leyes de oro y plata en la solución Barren respectivamente.

5.2. Recomendaciones

- Es necesario hacer pruebas de cinética con tiempos distintos para ver si es necesario un tiempo de residencia o no para que se dé la reacción.
- Los precios de la materia prima del aluminio y zinc son similares (1.706 US\$ y 1.970 US\$ / ton) (London Metal Exchange).
- En cuanto a la adición de aluminio llevado a escala estamos en 55 kg para un flujo de 220 m³/h pero sin desairar la solución.
- Se recomienda hacer pruebas con desaireación.

VI. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la Compañía Minera Barrick – Unidad Pierina, por el apoyo en la realización de este proyecto de investigación. Otro agradecimiento al Ingeniero Pitter Huapaya ex Ingeniero Senior del área de procesos de la Unidad Pierina quien confió en mi la realización del presente proyecto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Marsden, H., (2006). The Chemistry of Gold Extraction. London: Ellis Horwood Ltd.
- Canales Juarez, (2013). Determinación de los Parámetros de Cementación de una Solución Cianurada Aurífera por Medio de Aluminio Metálico.
- Minera Barrick, (2014). Expedientes e informes Minera Barrick Unidad Pierina.