

Significativa Reducción del Consumo de Cianuro en la Lixiviación del oro permitió ahorros considerables en los costos operativos de Planta Procesos en Mina La Arena

Pitter Huapaya Chumpitaz¹, César Espejo Rodriguez², Pedro Gonzales Andia³

¹ Autor, Trujillo, Perú (pitter.huapaya@pe.panamericansilver.com)

² Coautor, Trujillo, Perú (cespejo@pe.panamericansilver.com)

³ Coautor, Lima, Perú (pedro.gonzales@pe.panamericansilver.com)

RESUMEN

En nuestra Planta de procesos de La Arena, uno de los principales insumos químicos en nuestro proceso es el cianuro de sodio. La lixiviación del oro con una solución de cianuro sigue siendo el proceso hidrometalúrgico más ampliamente utilizado para la extracción de oro en los minerales. El cianuro de sodio por ser parte esencial del proceso también es el que tiene un alto impacto en los costos operativos del área.

En base a resultados de pruebas metalúrgicas se concluyó que, a partir de la segunda mitad del ciclo de lixiviación del mineral, el requerimiento de cianuro para continuar con la lixiviación del oro es menor. Es por ello que se analizó la viabilidad de implementar un sistema de bombeo para realizar un riego diferenciado en el Pad y así optimizar el consumo de este reactivo.

El sistema permitió realizar adición de solución de cianuro concentrado (make up) a las celdas con mineral fresco y usar concentraciones menores de cianuro para

celdas con mineral que estaban en agotamiento o segunda lixiviación. Es así, que en adelante, la operación empezó a reducir la concentración de cianuro en las soluciones de riego para celdas agotadas con 40 ppm de Cianuro libre y optimizar el riego a las celdas con mineral fresco con concentraciones de cianuro entre 80 y 100 ppm, según criterio de la operación.

El proyecto permitió reducir el ratio de consumo de cianuro de sodio en el pad de lixiviación de 0.22Kg/tm a 0.18 Kg/tm; además se tuvieron los siguientes beneficios:

- Mejor administración del cianuro de sodio en la solución de riego.
- Oportunidad de regar con concentraciones altas de cianuro a celdas frescas y mejorar la cinética de lixiviación.
- Disminuir la lixiviación de metales como cobre y mercurio; los cuales generan problemas posteriores en el proceso.

1. Introducción

En la lixiviación del oro y plata con cianuro, para optimizar el proceso, por lo general se opta por incrementar la concentración de cianuro para acelerar la cinética; es decir reducir los ciclos de lixiviación. Sin embargo, concentraciones más altas de cianuro conllevan a disolver otros metales no deseados como el cobre, mercurio, fierro, etc.

El cianuro de sodio por ser parte esencial del proceso también es el que tiene un alto impacto en los costos operativos del área, por ello la necesidad de optimizar su uso.

En base a resultados de pruebas metalúrgicas se concluyó que, a partir de la segunda mitad del ciclo de lixiviación del mineral, el requerimiento de cianuro para continuar con la lixiviación del oro es mucho menor. Estos resultados permitieron analizar la oportunidad de optimizar el proceso, adicionando la cantidad necesaria de cianuro sin afectar su extracción.

Con el apoyo de la Gerencia se viabilizó el proyecto para instalar un sistema de bombeo de solución con cianuro concentrado desde Planta ADR hasta el Sistema de Re-bombeo del Pad de Lixiviación. En la ingeniería se enfatizaron consideraciones técnicas de seguridad y medio ambiente por tratarse de líneas con solución cianurada. Dichas consideraciones garantizan en todo momento, la operatividad del sistema de riego focalizado, así como la eficacia de los sistemas de protección tanto del personal como de las instalaciones implementadas.

El proyecto permite variar la concentración de cianuro de acuerdo al tiempo de riego del mineral, por ejemplo; los primeros 7

días se riega con una alta concentración (entre 80 a 100 ppm CN-), a partir del 8° día hasta el día 30° se regaría con una concentración de 70 ppm y los días restantes hasta completar el ciclo (60 días) se riega con 40 ppm de cianuro libre. Con ello se tiene un importante ahorro en consumo de cianuro, tener una solución más concentrada con oro al disminuir las concentraciones de otros elementos como cobre, mercurio, fierro. Además de utilizar menos reactivos en la destrucción de cianuro al momento de drenar el exceso de solución (en temporadas húmedas).

2. Antecedentes

2.1 Ubicación y Accesibilidad

La mina está ubicada en el distrito Huamachuco, provincia Sanchez Carrión, región La Libertad, sobre los 3,400 msnm. A 4:00 horas de Trujillo por carretera, A 18 kms al Este de la mina Lagunas Norte (Boroo). A 10 kms al Norte de la mina aurífera La Virgen de Cía. Minera San Simón

Fig. 1. Mapa de ubicación – La Arena

2.2 Geología Regional

El Yacimiento Minero de La Arena se localiza dentro de las estructuras regionales de rumbo NW-SE (Andino), en la que afloran rocas sedimentarias, ígneas y volcánicas en menor intensidad, entre las primeras se han reconocido varias formaciones que abarcan en edad desde el Jurásico superior hasta el cuaternario reciente.

La secuencia sedimentaria comprende las siguientes formaciones: Chicama del Jurásico, Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, del Cretácico.

Estas formaciones son cortadas por intrusivos divididos en 2 facies, los dacíticos de edad 28 MA. Y los andesíticos de edad 25 MA.

La mineralización económica se encuentra dentro de la Formación Chimú, que tiene a la roca encajonante más favorable para la ocurrencia de éstos depósitos auríferos, estas rocas están constituidas por areniscas cuarzosas intercaladas por lutitas, limolitas, lutitas carbonosas y esporádicos mantos carbonáceos de escasa potencia en su parte inferior. La estratificación se da en capas medianas a gruesas (entre 1 a 2 m), algunas veces presenta estratificación cruzada y estructuras de sobrecarga.

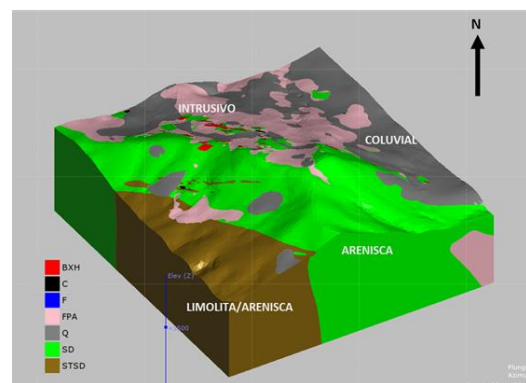
La Formación Chicama se compone esencialmente por lutitas oscuras a negras, con fina estratificación sub-horizontal. Regionalmente se han observado lentes de calizas claras.

Las formaciones Santa, Carhuaz y Farrat,



conforman la parte superior del Grupo Goyllarisquizga y sus rocas son de similares composiciones petrográficas que las hacen favorables para contener mineralización aurífera; lo que no ocurre con la Formación Chicama infrayacente a la Formación Chimú, constituida por lutitas de color gris oscuro con intercalación de Lutitas carbonosas de hasta 0.50m de espesor.

Fig. 2. Plano geológico del yacimiento La Arena



2.3 Geología Local

El yacimiento LA ARENA S.A. está clasificado como un depósito epitermal de alta sulfuración emplazado en areniscas

cuarzosas de edad Cretáceo inferior de la Formación Chimú, las cuales se encuentran en contacto con un Stock Intrusivo subvolcánico de composición Pórfido Andesítico de edad Terciaria, correspondiente al evento de rocas ígneas del Grupo Calipuy.

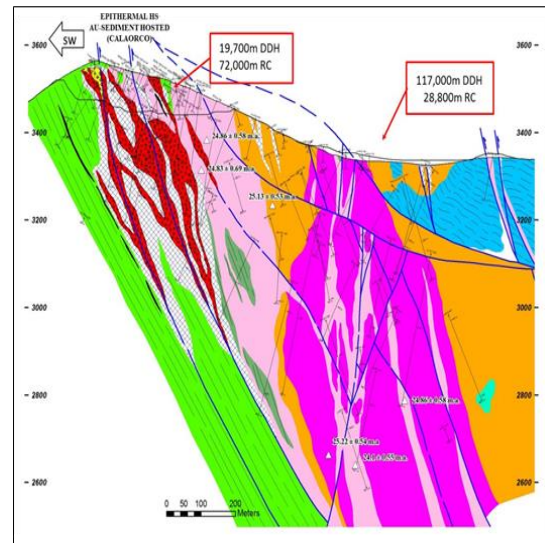
La mineralización asociada principalmente a óxidos de hierro (Goethita, Limonita, Jarosita y Hematita) se presenta en horizontes de areniscas y en vetas delgadas a finas (feeders), que cortan a estos horizontes y a otras no competentes para ser mineralizados, cuando estas estructuras (NW y SE) se encuentran poco espaciados forman cuerpos diseminados con leyes generalmente bajas.

Los fluidos gaseosos del intrusivo emplazado en profundidad fracturó y brechó estas rocas, esta fase hidrotermal depositó el oro asociándolo a la pirita y enargita y en muy poca cantidad a metales base; dichos sulfuros fueron oxidados y lixiviados por la acción meteórica de las aguas lo cual produjo un enriquecimiento de la concentración aurífera.

Los contenidos de alunita, pirofilita y enargita permiten clasificar a este depósito como epitermal de alta sulfuración.

La alteración de las areniscas está asociada principalmente a la silicificación y la alteración de las rocas intrusivas (Pórfido Andesítico) varían de acuerdo al contacto con las rocas sedimentarias y son la silicificación (cerca al contacto), argilización, alteración fílica, propilítica y en forma puntual argílica avanzada.

Fig. 3. Mapa Geológico local – Mina La Arena



2.4 Alteración y Mineralización

Las alteraciones presentes en el tajo son:

Propilitización, se presenta en el intrusivo andesítico adyacentes a las zonas argilizadas. Los ensambles de esta alteración son los siguientes: epidota, clorita, carbonatos y arcillas.

Argílica, está alteración se presenta con mayor intensidad en el intrusivo andesítico terciario (25 Ma.), conformando la mayor alteración presente en las rocas del tajo. Los ensambles que caracterizan esta alteración son pirita, caolinita, montmorillonita, muscovita y calcita.

Argílica Avanzada, está alteración predomina en el contacto del intrusivo andesítico de 28 ma. (dique central), con las areniscas de los bloques mineralizados, también en el contacto del intrusivo sedimentario del sur del tajo y algunos diques del norte. Los ensambles característicos de esta alteración son la alunita, caolinita, dickita, pirofilita y la muscovita. En el tajo se observa alunita

rosácea cerca de la superficie y blanquecina a profundidad.

Silicificación, se da mayormente en las areniscas de los cuerpos Mineralizados y en el contacto con el intrusivo andesítico.

La silicificación en estos cuerpos es intensa siendo fuerte a moderada al alejarse del contacto con el intrusivo y en este último se torna también con moderada silicificación en un halo de 10 m.

Los ensambles que caracterizan esta alteración son cuarzo y sílice calcedónica.

2.5 Proceso de cianuración

El oro rara vez se encuentra en la naturaleza formando compuestos, a diferencia de otros metales como cobre o zinc, siendo el telurio y posiblemente el selenio los únicos elementos que se le combinan en la naturaleza. Sus presentaciones habituales son en estado nativo o formando aleaciones, generalmente con plata (electrum). Aparece en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades y se halla corrientemente en filones que tienen relación genética con rocas ígneas de tipo silíceo. La principal fuente de oro son los llamados filones hidrotermales de cuarzo y oro, donde junto con la pirita y otros sulfuros, el oro fue depositado por soluciones minerales ascendentes que lo contenían. El oro está simplemente mezclado mecánicamente con los sulfuros y no en forma de combinación química alguna. En la superficie terrestre y cerca de ella, los sulfuros que contienen oro normalmente están oxidados, dejándolo libre y haciendo así su extracción muy fácil. En la mayoría de los filones, el oro está

finamente bien dividido y distribuido de forma tan uniforme, que su presencia no puede ser detectada por simple inspección.

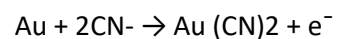
La cianuración es el proceso más usado para la recuperación de oro, en especial del oro procedente de las menas no refractarias, pudiendo aplicarse también a minerales de plata.

2.5.1. Proceso de Lixiviación del oro con cianuro

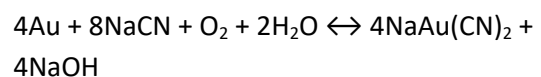
El proceso de lixiviación empleando cianuro en medio alcalino como agente lixivante, se ha constituido como la práctica universal para la extracción de los metales preciosos, desde que J.S. MacArthur y los hermanos R. y W. Forrest, patentaron la técnica en el año de 1889.

La cianuración es un proceso hidrometalúrgico basado en la utilización de soluciones de cianuros alcalinos como medio químico para lixiviar el oro y la plata contenidos en menas auríferas/argentíferas. Los cianuros más importantes que se usan en este procedimiento son el de potasio y el de sodio. Una solución de cianuro alcalino en agua se hidroliza como sigue:

En su forma más simple, la reacción para disolución de oro metálico en una solución diluida de cianuro es:



Para explicar la disolución de oro en la disolución cianurada existen varias teorías (J.C. Yannopoulos, 1991), pudiéndose escribir la reacción global como:



El proceso de disolución del oro en cianuro implica reacciones heterogéneas sólido-líquido, siendo la secuencia de estas reacciones:

- Absorción de oxígeno en la disolución.
- Transpone de oxígeno y cianuro hasta la interfase sólido-líquido.
- Adsorción de oxígeno y cianuro en la superficie del sólido.
- Reacción electroquímica.
- Desorción de los complejos cianurados solubles de oro y otros productos de reacción de la superficie sólida.
- Transporte de los productos desorbidos hasta el seno de la disolución.

Estas etapas dependen entre otras de las siguientes variables:

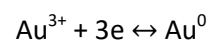
- Concentración de oxígeno, que depende de la temperatura, altitud, fuerza iónica del medio, tipo e intensidad. En concentraciones diluidas de cianuro la presión de oxígeno no afecta a la dilución, sin embargo en disoluciones más concentradas el efecto es importante.
- Concentración de cianuro, que influye cuando la disolución no se realiza a presión atmosférica ya que en tal caso la reacción esta controlada por la presión de oxígeno.
- pH, que al ser mayor de 9 durante la cianuración impide que se forme HCN.
- Presencia de álcalis, ya que entre otras misiones previenen la pérdida de cianuro y neutralizan los compuestos ácidos del proceso.
- Presencia de otros metales, los cuales pueden consumir oxígeno y/o cianuro afectando a la velocidad de extracción del oro.

Mediante la lixiviación cianurada se consigue recuperar un 75-90 % de oro de las menas tostadas y un 85-95 % de los concentrados.

La lixiviación con cianuro seguirá ocupando el puesto número uno por muchos años, entre otros procesos hidrometalúrgicos orientados a la explotación de metales preciosos.

2.5.2 Reacción química:

El oro es muy estable, como lo indica su poca reactividad en el aire o en la mayoría de las soluciones acuosas, incluidos los ácidos fuertes. El oro solo se disuelve en soluciones oxidantes que contienen ciertos agentes ligantes complejos, por el ejemplo, cianuro, haluros, tiosulfatos, tiourea y tiocianato. Este comportamiento único permite que el oro sea extraído de una manera muy selectiva con referencia a otras menas, esto es necesario ya que las menas de oro son de bajo tenor. Gran parte de la química del oro y sus compuestos, especialmente el comportamiento en solución acuosa puede ser relacionado con su gran electronegatividad, que es, su tendencia a atraer electrones.



$$E = 1.52 + 0.0197 \log \text{Au}^{3+} \text{ (V)}$$

La termodinámica predice si una reacción puede ocurrir o no, pero no predice, si esta reacción te dará en un tiempo adecuado desde el punto de vista operativo. Esto último depende de la velocidad con la que la reacción ocurrirá. (Cinética).

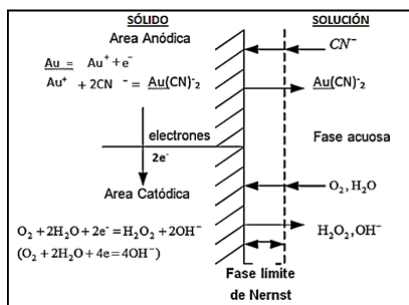
Las reacciones heterogéneas pueden ser controladas por la cinética de una reacción química o electroquímica inherente o por

la velocidad de transporte de masa de las especies reaccionantes.

Las principales etapas de la reacción son:

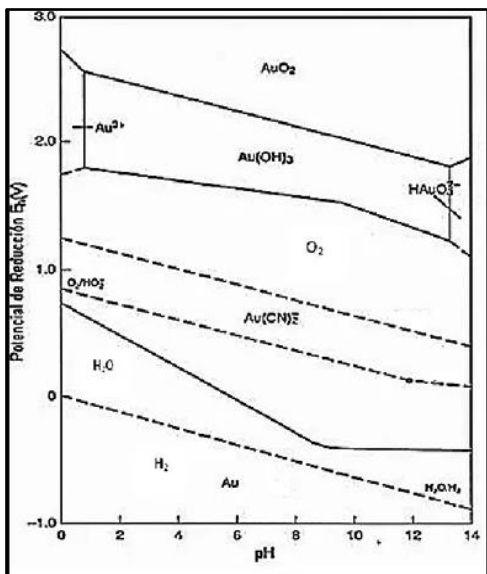
- Transporte de masa de reactantes gaseosos en la fase acuosa y su subsecuente disolución. (Oxígeno aire a Oxígeno en solución)
- El transporte de masa de las especies reaccionantes a través de la solución de la capa límite del sólido, a la superficie del sólido.
- Reacción química o electroquímica en la superficie del sólido, incluyendo la absorción y desorción.
- Transporte de la especie reaccionante a través de la capa límite al seno de la solución.

Figura 4. Disolución del oro



2.5.3 Reacción Anódica:

En soluciones cianuradas alcalinas el oro es oxidado y se disuelve para formar el complejo de cianuro de Au (I), $Au(CN)_2^-$ como se muestra en el diagrama Eh-pH



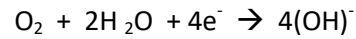
(figura 6). La reacción de disolución es:



Figura 5. Diagrama de Estabilidad Eh-pH para el sistema Au-H₂O-CN a 25°C

2.5.4 Reacciones Catódicas

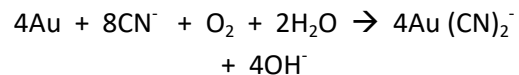
En soluciones aireadas de cianuro alcalino la reacción de disolución es acompañada por la reducción catódica de oxígeno, siendo la principal reacción la siguiente:



El peróxido de hidrógeno formado es un fuerte agente oxidante el cual puede tomar parte en otras reacciones de oxidación posterior.

2.5.5 Reacción Global de Disolución

La reacción global puede ser descrita de acuerdo a la ecuación propuesta por Elsner:



2.5.6 Cinética de las Reacciones

Entre los factores que afectan la velocidad de disolución del oro son: las concentraciones de cianuro y oxígeno, temperatura, pH, área superficial del oro expuesto, agitación, transferencia de masa y la presencia de otros iones en la solución.

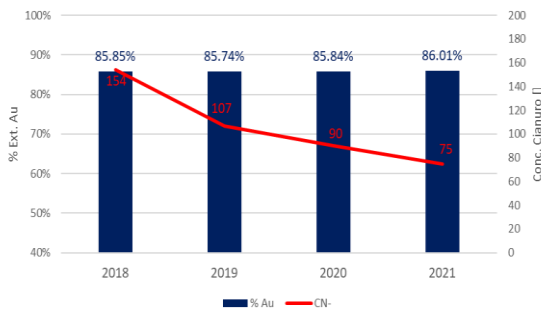
3. Primeras evaluaciones

A Lo largo de estos últimos años, la concentración de cianuro en la lixiviación se ha venido bajando paulatinamente sin afectar la extracción del Oro.

Tabla 1. Variación del Cianuro últimos años

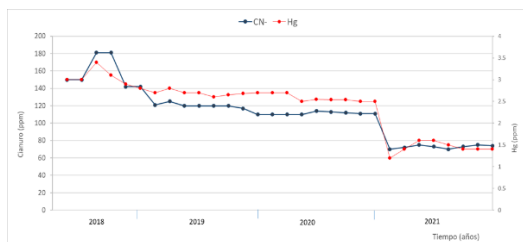
| Año | CN- | Ley Au | % Au |
|------|-----|--------|--------|
| 2018 | 154 | 0.455 | 85.85% |
| 2019 | 107 | 0.409 | 85.74% |
| 2020 | 90 | 0.374 | 85.84% |
| 2021 | 75 | 0.364 | 86.01% |

Gráfica 1. Cianuro en riego y Extracción del Au últimos años

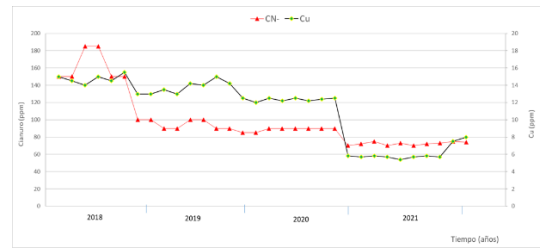


Esto ha favorecido la reducción de elementos no deseados como el Cu y Hg en la solución rica.

Gráfica 2. Variación del Hg en función del CN-, últimos años

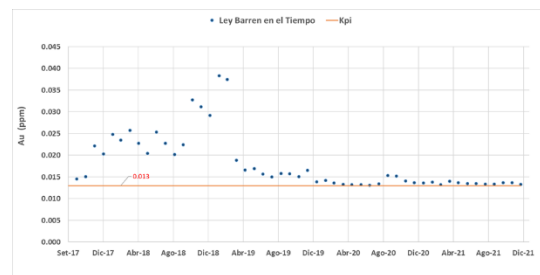


Gráfica 3. Variación del Cu en función del CN-, últimos años



Además, se ha mejorado en el tiempo la eficiencia en los circuitos de adsorción reflejándose en una ley de Au en barren más estable.

Gráfica 4. Comportamiento del Au en Barren



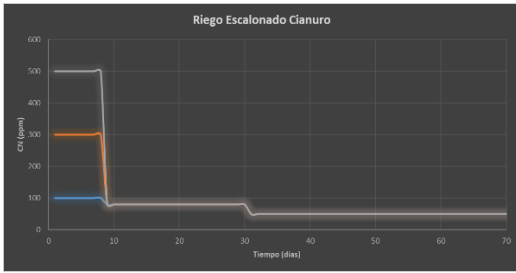
Sin embargo, se venía aplicando la misma concentración de cianuro durante todo el ciclo de lixiviación, lo cual aún generaba un alto costo en el consumo de este reactivo.

4. Pruebas Metalúrgicas

Se realizaron pruebas metalúrgicas preliminares, considerando un riego escalonado de concentración de cianuro para verificar si hubo algún cambio en la recuperación durante el ciclo completo de lixiviación.

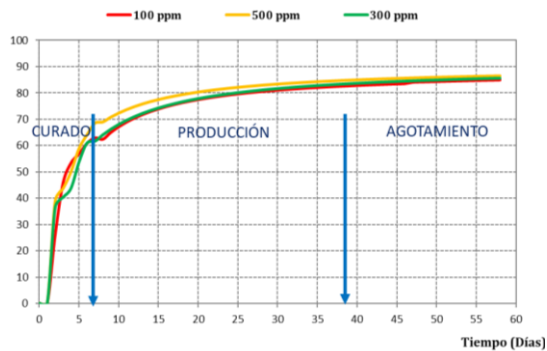
Bajo el concepto de curado se realizaron pruebas con concentraciones de cianuro de 100, 300 y 500 ppm de cianuro libre, durante la primera semana, para luego disminuir la concentración en el riego a 70 ppm hasta el día 30° y finalmente bajarlo a 40 ppm en la etapa de agotamiento.

Gráfica 5.-Riego escalonado de cianuro



Los resultados nos dan un indicio que al final del ciclo de riego, se tiene similares recuperaciones esperadas.

Gráfica 6. Curvas de Extracción de Au a diferentes concentraciones de cianuro



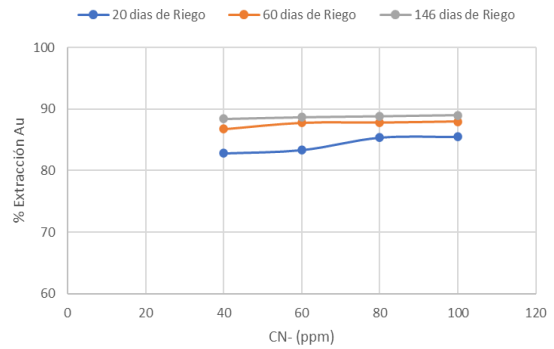
En las curvas de extracción, es notorio en los primeros días de riego, que el material regado con mayor concentración de cianuro percola con leyes de Au mas altas, este efecto acelera la cinética de lixiviación; sin embargo, en el tiempo todas las curvas tienden a igualarse.

Se realizó otra batería de pruebas a diferentes concentraciones de cianuro variando el tiempo

Tabla 2. Lixiviación a Distintas Concentraciones CN- en función del Tiempo

| Días Lix. | [] | Ext. Au (%) | Ext. Ag (%) | Ext. Cu (%) | Consumo NaCN (kg/t) | Consumo Cal (kg/t) |
|-----------|-----|-------------|-------------|-------------|---------------------|--------------------|
| 20 | 40 | 82.78 | 4.11 | 1.75 | 0.01 | 0.60 |
| | 60 | 83.33 | 3.66 | 1.91 | 0.02 | 0.62 |
| | 80 | 85.38 | 5.68 | 2.08 | 0.03 | 0.62 |
| | 100 | 85.49 | 6.42 | 2.28 | 0.03 | 0.62 |
| 60 | 40 | 86.77 | 7.31 | 2.46 | 0.03 | 0.64 |
| | 60 | 87.76 | 7.92 | 2.77 | 0.06 | 0.66 |
| | 80 | 87.80 | 7.98 | 2.83 | 0.06 | 0.66 |
| | 100 | 87.98 | 8.98 | 3.03 | 0.07 | 0.66 |
| 146 | 40 | 88.38 | 8.00 | 2.72 | 0.09 | 0.73 |
| | 60 | 88.66 | 8.15 | 3.08 | 0.16 | 0.75 |
| | 80 | 88.81 | 8.64 | 3.13 | 0.19 | 0.74 |
| | 100 | 88.99 | 8.99 | 3.25 | 0.25 | 0.75 |

Gráfica 7. Extracción de Au a diferentes concentraciones de CN en función del tiempo

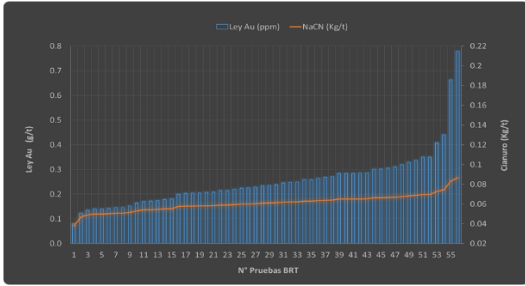


Se vuelve a constatar que concentraciones altas de cianuro aceleran la cinética, sin embargo, en el tiempo las extracciones tienden a equipararse

También se evaluó el efecto de la ley de Au respecto al consumo de cianuro; a continuación, los resultados:

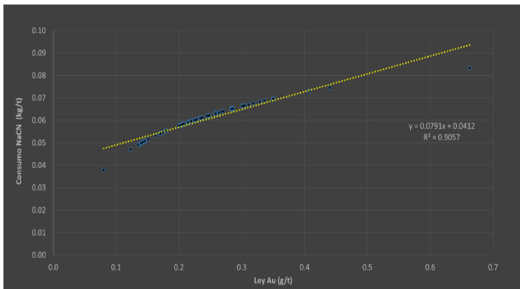
Las pruebas iniciales refuerzan el hecho que leyes bajas de Au requieren menor consumo de cianuro para su disolución, este efecto se observó en un conjunto de pruebas BRT's que se realizaron para corroborar dicha información.

Gráfica 8. Consumo de Cianuro a distintas leyes de Au en Mineral



Los resultados de lixiviar mineral a distintas leyes de Au, permitió realizar una curva de tendencia en función del consumo de cianuro:

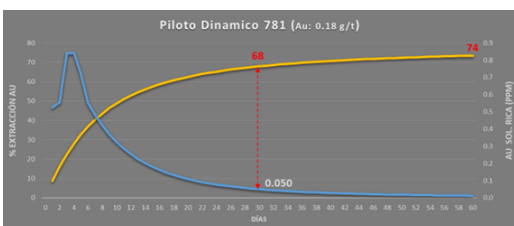
Gráfica 9. Tendencia del consumo de Cianuro en función de la Ley de Au



A nivel industrial se realizaron 02 pads para evaluar la extracción del Au en función de la ley de Au.

En las pruebas se ratificó la famosa ley de las colas: “Leyes bajas tienen extracciones bajas” y también esta información va de la mano con el consumo de cianuro, es decir leyes bajas de Au requieren menos cianuro para su lixiviación (para minerales limpios, bajos en Cu, Fe, S, Etc).

Gráfica 10. Pad Piloto con ley Au baja



Pad Piloto con ley de Au en mineral de 0.18 g/t, a los 30 días de lixiviación llegó a una extracción de 68% y una ley rica percolada de 0.05 ppm (ley cercana al barren); al culminar su ciclo 74 % Ext Au.

Gráfica 11. Pad Piloto con ley Au alta



Pad Piloto con ley de Au en mineral de 0.61 g/t, a los 30 días de lixiviación llegó a una extracción de 79.19 % y al culminar su ciclo 85.57 % Ext Au.

Tabla 3. Resultados Pads Pilotos (30d)

| Ley Au mineral (g/t) | % Extracción (Riego: 30 días) | Au percolado (ppm) | Ley Au Remanente en mineral (g/t) |
|----------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 0.18 | 68 | 0.05 | 0.058 |
| 0.61 | 79.19 | 0.112 | 0.127 |

En base a los resultados de las pruebas industriales, se evidenció que, en la primera mitad del ciclo de lixiviación del mineral, gran parte del Au recuperable se tiene extraído, quedando un porcentaje mínimo de alrededor de 6% por disolver en los 30 días restantes.

Esta información reforzó el hecho que se puede reducir el consumo de cianuro a partir de la segunda mitad del ciclo de lixiviación.

Tabla 4. Resultados del ciclo total de riego de Los Pad's

1° Ciclo de riego

| CELDA | TMS | Au (g/t) | CN (ppm) | Cianuro (kg/t) | % Ext Au |
|-------|--------|----------|----------|----------------|----------|
| 781 | 223721 | 0.18 | 100 | 0.046 | 68 |
| 789 | 160008 | 0.61 | 100 | 0.055 | 79.2 |

2° Ciclo de riego

| CELDA | TMS | Au (g/t) | CN (ppm) | Cianuro (kg/t) | % Ext Au |
|-------|--------|----------|----------|----------------|----------|
| 781 | 223721 | 0.07 | 40 | 0.015 | 6 |
| 789 | 160008 | 0.12 | 40 | 0.018 | 6.4 |

Consumo Total de Cianuro

| CELDA | Au (g/t) | % Ext Au | Cianuro (kg/t) |
|-------|----------|----------|----------------|
| 781 | 0.18 | 74 | 0.061 |
| 789 | 0.61 | 85.6 | 0.073 |

Nota: 2° ciclo se refiere al regado luego de los primeros 30 días.

5. Plan de Acción para la Implementación de sistema de riego diferenciado

Para optimizar el consumo de cianuro sin disminuir la extracción esperada del mineral, se diseñó el proyecto de riego diferenciado en el Pad.

Gráfica 12. Plano de ubicación del Proyecto



Primeramente, se diseñó la ingeniería que consiste en la inyección de solución cianurada desde la planta ADR hacia la zona de rebombéo y de este punto ramificar hacia las celdas de lixiviación.

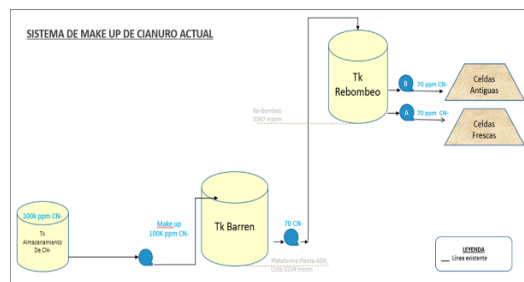
Gráfica 13. Línea de cianuro concentrado



Basados en pruebas de laboratorio; El criterio es regar celdas frescas con una alta concentración de cianuro en su etapa de humectación y producción e ir disminuyendo la concentración a medida que pasa a la etapa de agotamiento.

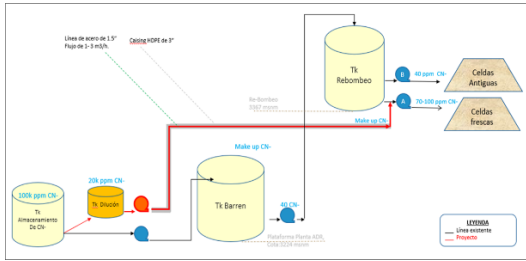
Esto le permitirá a la operación reducir la concentración de cianuro en la solución de riego a valores de 40 ppm para el caso de celdas agotadas y que las celdas con mineral fresco reciban la concentración incrementada de cianuro a valores de 70 a 100 ppm, según criterio de la operación.

Gráfica 14. Condiciones Iniciales del Make Up de Cianuro en Planta



Inicialmente todo el make up de cianuro se realizaba en Planta; a todo el flujo, a una concentración entre 70-75 ppm CN-

Gráfica 15. Diseño del Proyecto



El proyecto consiste en hacer un make up general en Planta solo hasta 40 ppm CN-, luego en el Sistema de Rebombado ubicado en el Pad, adicionar una concentración extra a los flujos que llegan a mineral fresco, hasta alcanzar entre 70 y 100 ppm de CN-. Las celdas que están con mineral en agotamiento continuaran regando con 40 ppm de CN-.

Consideraciones del Proyecto Riego Diferenciado

- Diseño hidráulico del sistema de bombeo para el envío de solución de cianuro concentrado de Planta al Pad.
- Definir los flujos de adición de cianuro concentrado que permita la dosificación adecuada en los puntos de succión de bombas barren en Rebombado.
- Implementar un sistema de control que regule las dosificaciones y de manera proporcional en las líneas de riego de celdas.
- Garantizar la seguridad del personal involucrado en la operación, a través de medidas de control físico y mediante programación, en el sistema de bombeo diseñado.
- Asegurar que, ante la ocurrencia de imprevistos operativos, el sistema evite un riesgo de contaminación del ambiente en donde se desarrolla la operación.

Tabla 4: Análisis Económico del Proyecto

| AÑO | Opex (\$) | Benefio (\$) | Flujo caja (\$) |
|-----------|-----------|--------------|-----------------|
| Inversión | | | -250,000 |
| 2022 | 6,800 | 1,179,549 | 1,172,749 |
| 2023 | 12,400 | 1,572,732 | 1,560,332 |
| 2024 | 12,400 | 1,572,732 | 1,560,332 |
| 2025 | 6,400 | 917,427 | 911,027 |

| | |
|--------------|-----------|
| Tasa (Anual) | 10% |
| VAN (\$) | 3,900,209 |
| TIR | 493.7% |

6. Resultados

Fotografía 1. Inyección de CN Concentrado

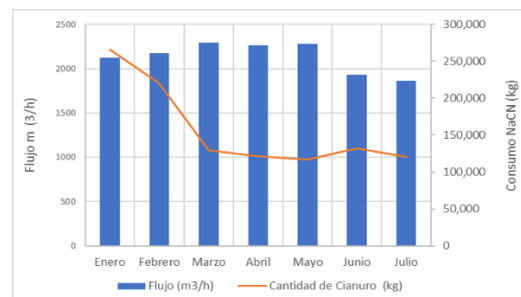


En marzo del 2022 entro en operación el proyecto de riego Diferenciado, inyectándose cianuro concentrado a las líneas del Sistema de Rebombado.

Con los resultados y análisis de la data, se evidencio lo siguiente:

Disminución en el consumo de cianuro en promedio de 7 a 4 toneladas por día.

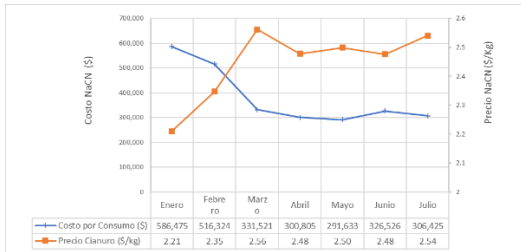
Gráfica 17. consumo de Cianuro - 2022



| Descripción | Unidad | Ene-22 | Feb-22 | Mar-22 | Abr-22 | May-22 | Jun-22 | Jul-22 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fuerza Cianuro | ppm | 96.5 | 83.7 | 49.9 | 47 | 46.6 | 50.9 | 55.9 |

Se puede notar claramente una considerable disminución del consumo de cianuro desde que empezó el proyecto.

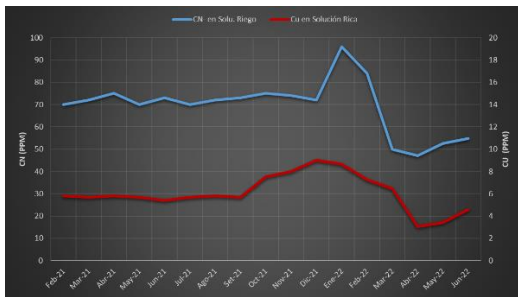
Gráfica 18. Reducción de Costos en consumo de NaCN



Inicios del 2022, fue una temporada muy lluviosa, lo que originó manejar mayores volúmenes de solución en el Pad para mantener el balance hídrico del sistema, sin embargo, el consumo de cianuro a partir de marzo fue mucho menor por la implementación del riego diferenciado.

Así mismo, se puede apreciar una considerable disminución de leyes de cobre y Hg al aplicar el riego diferenciado según la data mostrada.

Gráfica 19.. Reducción del Cu en la solución rica



En la gráfica, es notoria la reducción del cobre disuelto en la solución rica que percola del Pad.

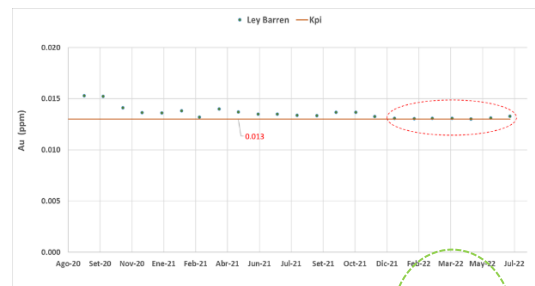
Gráfica 20. Reducción del Hg en la solución rica



Estos resultados no solo generaron una disminución del consumo de cianuro, sino que ocasionó una disminución en la producción de Hg y cobre; que se tradujo en un proceso de adsorción más estable en las columnas de adsorción y en la fundición de precipitados, con barras de dore mucho más limpias.

En la siguiente gráfica también se muestra la estabilidad del Au en la ley Barren

Gráfica 21. Comportamiento del Barren



A continuación, se muestra el beneficio actual del proyecto:

Tabla 5: Beneficio Actual del Proyecto

| Parámetros | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Flujo (m³/h) | 2119 | 2172 | 2,293 | 2,265 | 2,279 | 2,265 | 2,279 |
| Precio (\$/kg) | 2.21 | 2.35 | 2.56 | 2.48 | 2.50 | 2.48 | 2.54 |
| Riego Diferenciado | | | | | | | |
| CN- (ppm) | 96.5 | 83.7 | 49.9 | 47 | 46.6 | 50.9 | 55.9 |
| Consumo NaCN (kg) | 265,630 | 220,000 | 129,400 | 121,400 | 116,700 | 131,900 | 120,615 |
| Costo (\$) | 586,475 | 516,324 | 331,521 | 300,805 | 291,633 | 326,526 | 306,425 |
| Sin Riego Diferenciado | | | | | | | |
| CN- (ppm) | 96.5 | 83.7 | 70 | 70 | 70 | 70 | 80 |
| Consumo NaCN (kg) | 265,630 | 220,000 | 192,510 | 183,900 | 191,270 | 156,828 | 176,333 |
| Costo (\$) | 586,475 | 516,324 | 493,208 | 455,667 | 477,984 | 388,237 | 447,979 |
| Beneficio mensual (\$) | 0 | 0 | 161,687 | 154,863 | 186,350 | 61,711 | 141,554 |
| Beneficio Ac. Actual (\$) | | | | 706,165 | | | |

El proyecto empezó en marzo del 2022 y a la fecha se viene cumpliendo con las expectativas de ahorro proyectadas.

7. Conclusiones

Se tiene un importante ahorro en consumo de cianuro. En cinco meses de operación del proyecto, se tiene un ahorro de \$ 706,165. (30.6 % de Ahorro).

Se obtuvo una disminución en leyes de mercurio y cobre en la solución rica, lo cual repercute en mantener una solución barren estable y precipitados de mejor calidad para la fundición.

Se tiene menores concentraciones de CN- en la solución percolada, antes los valores estaban en 12 ppm. Con la implementación del proyecto las percolaciones presentan 5 ppm de CN., estos valores ayudan a tener un mejor control en la detoxificación del cianuro en temporadas de lluvias.

8. Recomendaciones

El aporte de las investigaciones metalúrgicas son claves para la optimización de los procesos, por ello se debe continuar con los estudios de caracterización de los minerales del yacimiento, adecuando la dosificación de reactivos según su litología y/o alteración.

Autor: Pitter Huapaya Chumpitaz

Empresa: Panamerican Silver – Mina La Arena

Cargo: Gerente de Procesos

Dirección: Av. La Floresta 497, of. 301 San Borja, Lima - Perú

Correo corporativo:

pitter.huapaya@pe.panamericansilver.com

Correo personal: pphuapaya@hotmail.com

Celular: 986-635809

Perfil profesional

Ingeniero Metalurgista, con amplia experiencia en investigaciones metalúrgicas, procesamiento de minerales auríferos y procesos de concentración de roca fosfórica desempeñando y liderando Plantas de Chancado, Lixiviación, Merrill Crowe, Procesos ADR, Laboratorio químico y metalúrgico, entre otros. Ha laborado en empresas como: Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas C.H. Plenge & CIA, Minera Barrick Misquichilca, Compañía Minera Misky Mayo S.R.L y Panamerican Silver.

Coautor: César Espejo Rodriguez

Empresa: Panamerican Silver – Mina La Arena

Cargo: Superintendente de Planta

Dirección: Av. La Floresta 497, of. 301 San Borja, Lima - Perú

Correo corporativo:

cespejo@pe.panamericansilver.com

Correo personal:

cesar_espejo_rodriguez@hotmail.com

Celular: 993395061

Perfil profesional

Ingeniero Metalurgista con sólida formación en la Metalurgia extractiva del Oro, Durante los últimos 20 años ha desempeñado diversas funciones dentro de Plantas de Chancado, Lixiviación, Merrill Crowe, ADR, Refinería y Laboratorio Químico Metalúrgico. Ha laborado en diversas empresas como Minera Barrick Misquichilca, Minsur, Summa Gold, Sierra Sun Group y Panamerican Silver.

Coautor: Pedro Gonzales Andia

Empresa: Panamerican Silver – Mina La
Arena

Cargo: Jefe de Lixiviación

Dirección: Av. La Floresta 497, of. 301 San
Borja, Lima - Perú

Correo corporativo:

pedro.gonzales@pe.panamericansilver.com

Correo personal: pg_andia@hotmail.com

Celular: 989118461

Perfil profesional

Ingeniero industrial con sólida formación, principalmente en el campo extractiva del Oro, durante estos últimos 20 años ha desempeñado diversas funciones operativas en las Plantas de Chancado, Lixiviación, Merrill Crowe y ADR. Así mismo funciones de gestión en mejora continua y proyectos. Ha laborado en las empresas, Minera Barrick Misquichilca en sus unidades de Pierina y Lagunas Norte, actualmente en Panamerican Silver.