

Reducción del Inventario de Au/Ag en el Pad de Lixiviación 1A de la Mina Shahuindo a través de la Inyección de Cianuro a presión

Miguel Angel Gonzalez Olivares¹, Richard Corsino Guerrero², Javier Casas Montes³, Miguel Baylon de la Cruz⁴

¹Gerente de Procesos, Pan American Silver – Mina Shahuindo, Cajamarca-Perú, miguel.gonzalez@pe.panamericansilver.com

²Superintendente de Procesos, Pan American Silver – Mina Shahuindo, Cajamarca-Perú, richard.corsino@pe.panamericansilver.com

³Metalurgista y Director de Tecnología, Jex Technologies Corporation-Reno, NV-EE.UU., jcasas@jextechnologies.com

⁴Metalurgista y Gerente del Proyectos, Jex Technologies Corporation-Reno, NV-EE.UU., mbaylon@jextechnologies.com

RESUMEN

La mina Shahuindo es una mina de oro y plata del corporativo canadiense Pan American Silver, siendo una de las minas en el Perú que tiene buen desempeño en seguridad, medio ambiente y producción.

El procesamiento de la mina Shahuindo consiste en las etapas: de lixiviación en pads (ROM), proceso ADR (Adsorción-Desorción-Regeneración) y refinación, en donde actualmente se procesan 36,000 tpd habiendo tenido en los últimos tres años una producción anual promedio de 146 Koz Au y 218 Koz Ag.

Desde febrero del 2019 en donde Pan American Silver adquirió la mina Shahuindo, a la fecha se han realizado diversos trabajos en los pads de lixiviación que se tienen (1A, 2A y 2C), esto con la finalidad de poder mejorar la operación e incrementar su recuperación.

Los inicios de la operación del primer pad de Shahuindo “pad 1A” fue en el mes de noviembre 2015 apilando mineral hasta abril 2017, en donde luego de dejar de apilar mineral fresco se continuó regando, realizando trabajos de re-lixiviación con la finalidad de extraer el inventario remanente finalizando esto el mes de julio 2018, para luego tener una segunda etapa de re-lixiviación desde diciembre 2020 hasta junio 2021.

Debido a que luego de las 2 etapas de re lixiviación no salían ya valores económicos de oro, para finales del 2021 minera Shahuindo contacto a la empresa Jex Technologies Corporation (JTC) para que inicie una prueba piloto realizando la inyección de cianuro a

presión, esto con los objetivos de recuperar el inventario latente de Au y Ag en una tercera parte del pad 1A, de incrementar la estabilidad del pad a través del retiro de soluciones atrapadas en el pad, así como finalmente de ir preparando el pad para su cierre final.

El presente trabajo consistirá en presentar la metodología realizada para la inyección de cianuro a presión en el pad 1A, la cual contempla la realización de estudios de las condiciones del pad, barrenación de los pozos de inyección y de monitoreo, realización de pruebas metalúrgicas, inyección de cianuro a presión, monitoreo geotécnico en la inyección, y finalmente los enjuagues realizados.

Finalmente se presentarán los resultados obtenidos de las onzas de oro y plata recuperadas de esta prueba piloto y los planes futuros que se tienen acerca de estos trabajos.

INTRODUCCION

La mina Shahuindo está ubicada en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca en el Perú (Figura 1)



Figura 1. Ubicación de la mina Shahuindo, en la provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca en el Perú.

La mina Shahuindo está situada aproximadamente a 130 kilómetros de Cajamarca vía una carretera pavimentada de asfalto y camino de grava y tierra. La planta está ubicada a una altitud de 2,900 msnm.

Shahuindo es una mina de tajo abierto en donde los depósitos de mineral contienen alteraciones del tipo Silicificado y Argílico, teniendo el mineral diversas litologías tales como Arenisca, Limolita, Intrusivo, Brecha y Cuaternario influyendo estas en la capacidad de percolación del pad, principalmente debido a la presencia de sedimentos finos y gruesos.

Estudios de mineralogía realizados en EEUU utilizando la técnica de Difracción de Rayos X “DRX” y utilizando el Analizador de Mineral Integrado TESCAN “TIMA” (Microscopio Electrónico de Barrido analítico totalmente automatizado y de alto rendimiento), mostraron que el mineral de Shahuindo contiene principalmente Cuarzo (SiO_2), Muscovita ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), Illita ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$), Goetita ($\text{FeO}(\text{OH})$), Jarosita ($\text{K}_{0.95}(\text{H}_3\text{O})0.05\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2$), Hematita (Fe_2O_3), Rutilo (TiO_2) y Butlerita (FeSO_4H_3), así mismo el Oro se encuentra de forma nativa en formas demasiado pequeñas (< 5 micras), mientras que la mineralogía de la Plata es muy variada conteniéndose comúnmente en Acantita (Ag_2S) y en minerales Haluros, tales como la Clorargirita (AgCl), Bromargirita (AgBr), Iodargirita (AgI) y Perroudita $\text{Ag}_4\text{Hg}_5\text{S}_5(\text{I},\text{Br})_2\text{Cl}_2$. Respecto a las arcillas la de mayor proporción en el mineral es la Illita, siguiéndole luego la Goetita, Jarosita y Caolinita no encontrándose en el mineral alguna significativa arcilla expandible.

Shahuindo empezó sus operaciones en el mes de noviembre del año 2015, con un nivel de procesamiento de 5,000 a 10,000 tpd, luego en el año 2017 de acuerdo con el plan de minado se realizó una ampliación a 16,000 tpd, para que finalmente a inicios

del año 2019 se vaya incrementando hasta obtener 36,000 tpd que actualmente se procesa.

Shahuindo cuenta principalmente con tres pads de lixiviación (1A, 2A y 2C), dos pozas de solución rica (PLS1 y PLS2), una poza de mayores eventos de 300,000 m³ (PME), una planta ADR y diversas pozas de sedimentación y de subdrenes para el manejo de aguas (Figura 2).

Acerca de los pads de lixiviación, como se mencionó previamente en el pad 1A se dejó de depositar mineral fresco en abril 2017, mientras que en el pad 2A se dejó de depositar mineral en agosto del 2019, ambos por haber cumplido ya su diseño de capacidad, debido a esto actualmente se viene depositando mineral solo en el pad 2C.

Acerca del riego, el pad 1A que es el pad más antiguo se dejó de regar por agotamiento en el mes de junio 2021, mientras que en el pad 2A se viene regando actualmente pocas áreas con un bajo flujo y una baja concentración de cianuro, y finalmente el pad 2C se viene regando por completo.



Figura 2. Vista panorámica de la mina Shahuindo mostrando sus 3 pads de Lixiviación.

La planta ADR (Figura 3) consiste en 5 circuitos de adsorción, el cual cada circuito tiene 6 columnas de carbón. Los primeros dos circuitos son de columnas de capacidad 4 toneladas de carbón cada uno; mientras que del tercer al quinto circuito tienen columnas de 5 toneladas de carbón cada una. Así mismo se encuentran instalados 2 circuitos de desorción, el primero tiene 2 reactores de 4 toneladas correspondientes a la fase I y el segundo un reactor de 10 toneladas correspondiente a la fase II. En la etapa de pre-operación se llegó a obtener la primera barra de Dore siendo esto a finales del mes de diciembre del 2015.



Figura 3. Vista panorámica de la planta de ADR- Shahuindo.

depositadas, habiendo sido todo este mineral lixiviado.



Figura 4. Vista aérea del pad de lixiviación 1A.

Pad de Lixiviación 1A

El pad de Lixiviación 1A (Figura 4) fue el primer pad de la mina Shahuindo. La instalación del pad 1A fue diseñada teniendo un área total de 18.15 hectáreas y un área de almacenamiento de solución rica de capacidad de 28,000 m³ (PLS1). El sistema de revestimiento del pad 1A consistió en colocar una capa de suelo de baja permeabilidad (soil liner) de 300 mm como mínimo de espesor colocando sobre esta capa la geomembrana de polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) de 1.5 mm de espesor, siendo esta texturada por un solo lado. El sistema de colección de solución fue instalado dentro del pad para evacuar rápidamente la solución lixiviada y el agua proveniente de las lluvias.

Acerca de la instrumentación geotécnica instalada en el pad 1A fueron colocados cuatro piezómetros de cuerda vibrante para medir las variaciones del nivel de solución dentro del pad, un piezómetro hidráulico de tubo abierto colocado al costado de la PLS1 para monitorear una posible fuga de solución de la poza, y finalmente un inclinómetro vertical en el cuerpo de la plataforma del pad, esto para monitorear los desplazamientos horizontales, en donde toda esta instrumentación fue colocada para prevenir cualquier problema durante la operación.

El mineral (ROM) fue stockeado sobre el pad de lixiviación 1A en bancos de 8 metros de altura con taludes intermedios de 1.4H:1V y anchos de banquetas de 8.8 metros, definiendo un talud global de 2.5H:1V, efectuando su apilamiento hasta una altura máxima de 34 metros.

Desde el año 2015 hasta abril 2017 se han depositado en el pad 1A un total de 3.90 millones de toneladas de mineral a una ley promedio de oro de 0.863 gpt, conteniendo un total de 108,256 oz de Au

El pad de lixiviación 1A debido a diversos problemas operativos en sus inicios como el tener un bajo PH de riego y una fuerza de cianuro menor de lo necesario, además de que el mineral apilado tuvo una cierta cantidad de arcillas, se obtuvo a finales de Nov 2021 una recuperación total de oro del 77.30% siendo esto algo menor comparado con el historial de pruebas de lixiviación en columnas anteriormente realizadas (recuperación objetivo del pad≈ 80% Au) dando un indicio de que aún hay un inventario por retirar de este pad, para ello se buscara que a través de la inyección de cianuro a presión se pueda recuperar lo restante o incluso algo más. A continuación, se presenta la Tabla 1 con el historial de las etapas de operación del pad 1A.

Etapas de Operación del Pad 1A	Fecha Inicio	Fecha Final
Lixiviación (periodo de apilamiento mineral)	Nov-15	Abr-17
Lixiviación (riego remanente y re-lixiviación)	May-17	Jul-18
Pad sin riego	Ago-18	Nov-20
Re-lixiviación (2da etapa)	Dic-20	Jun-21
Pad sin riego	Jul-21	Nov-21

Tabla 1. Historial de operación del pad 1A mina Shahuindo.

OBJETIVOS

1. Recuperar el inventario remanente de Au y Ag en el pad 1A
2. Incrementar la estabilidad del pad 1A, a través del retiro de las soluciones atrapadas en el pad.
3. Ir preparando el pad 1A para su cierre final.

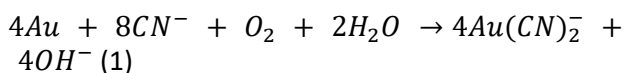
FUNDAMENTO CONCEPTUAL

La lixiviación en pad de metales preciosos se desarrolló ampliamente en la década de los 80's, utilizado como un método eficiente de tratamiento para minerales de oro y plata oxidados. Esto ha sido probado a ser una forma eficiente para la extracción

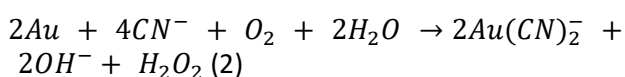
de oro y plata en depósitos pequeños y poco profundos, así también como una forma atractiva para tratar depósitos diseminados, grandes y de baja ley. Lixiviación en pads tiene varias ventajas competitivas comparada con la molienda convencional (por ejemplo, trituración, molienda y lixiviación dinámica). En general estas ventajas incluyen su simplicidad, bajos costos de capital, bajos costos de operación, tiempos cortos en puestas en marcha y preocupaciones regulatorias ambientales menos intensas. Una posible desventaja en los pads de lixiviación existentes es que generalmente adquieren un % menor de extracción de metales que si fuera el caso comparado con una molienda convencional.

Química básica y características del mineral requeridas para lixiviación en Pads

El principio básico del proceso de cianuración es que los iones de cianuro forman complejos muy estables con el oro, plata, y otros metales. Soluciones cianuradas débilmente alcalinas tienen una acción de disolución preferencial sobre el oro y la plata contenido en un mineral. La reacción iónica (referida a la ecuación de Elsner) la cual ha sido tradicionalmente aceptada como el principal camino para la disolución del oro con cianuro, es la siguiente:



Investigaciones más recientes sobre el mecanismo de disolución indica que la reacción (2) es producto de dos etapas (Adamson, 1972), en donde la mayor parte del oro se disuelve por la siguiente reacción:



Con una pequeña, pero significativa porción de la disolución del oro vía la reacción (1) (ecuación de Elsner). La velocidad de disolución del oro es dependiente sobre la concentración de cianuro de sodio (NaCN) y la alcalinidad de la solución, siendo el óptimo pH de 10.50.

Para una eficiente lixiviación (para que las reacciones definidas antes ocurran eficiente y rápidamente), el oro debe de ocurrir como libre, estar en tamaño fino, estar en partículas limpias en un mineral que no contiene cianicidas o impurezas que puedan destruir el cianuro o de otro modo inhibir la reacción de disolución. Un adecuado suministro de oxígeno disuelto debe de estar presente en la solución

cianurada durante todo el periodo de la reacción, es donde la solución debe de estar saturada con 8 ppm de oxígeno disuelto. Solo ciertos tipos de mineral tienen las características generales requeridas.

Los principales tipos de mineral adecuados para la cianuración en pads son: 1) minerales oxidados diseminados; 2) Minerales sulfuros donde los metales preciosos no están íntimamente asociados con los minerales sulfuros, y 3) Ciertos materiales de vetas o placeres el cual contienen partículas finas de oro o partículas con una alta proporción de área superficial a peso.

Más características específicas requeridas de los minerales si van a ser aptos para la cianuración por lixiviación en pads incluyen:

- Mineral con contenido de metales preciosos siendo estos lixiviables con cianuro.
- Mineral con partículas de oro extremadamente pequeñas o aplanadas.
- Mineral ocurriendo en rocas permeables o porosas (metales preciosos en minerales de baja porosidad pueden ser liberados por fracturamiento y trituración)
- Minerales libres de material carbonáceos o "preg-robbing", los cuales causan una adsorción prematura o precipitación de valores disueltos.
- Minerales relativamente libres de "cianicidas", los cuales consumen cianuro o interfieren con la reacción de disolución, y
- Minerales relativamente libres de finos o de arcillas los cuales impiden una percolación uniforme de la solución (pretratamiento de aglomeración es requerido si son excesivos los finos o arcillas contenidos en el mineral)

La lixiviación en pads (Figura 5) consiste en enviar mineral directo de mina (ROM), mineral triturado o mineral aglomerado y colocarlo sobre un relleno inclinado, el cual este hecho impermeable con una capa de plástico (liner). El relleno normalmente tiene una inclinación de 3 a 7 grados, para que el drenado fluya hasta la pila. El mineral ya sea ROM, triturado o aglomerado se apila a una altura normalmente entre 3 a 9 metros. La parte superior esta hecho a nivel. Después el mineral se rocía con solución cianurada, y la solución rica que contiene los valores se drena fuera del pad hacia una poza.

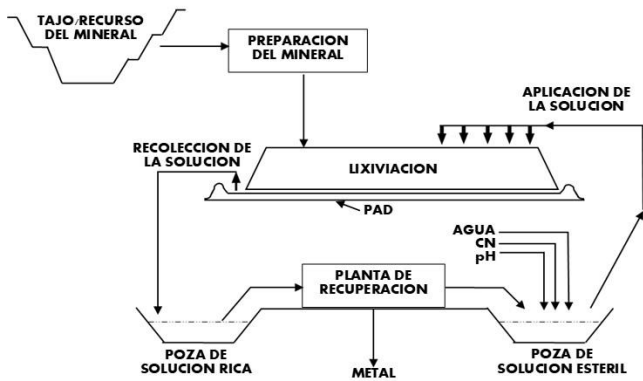


Figura 5. Esquema del proceso de lixiviación en pads.

En la actualidad existen varios procesos para lixiviar en pads. Estas variaciones se encuentran principalmente en las técnicas de recuperación del metal. Por lo que en la lixiviación de pads, la operación es directa y la solución de cianuro es percolada a través de un montón de mineral nivelado, usando técnicas de aspersión o goteo. La solución química disuelve los metales y los colecta sobre un relleno impermeable por debajo del montón. El relleno está inclinado para forzar a la solución rica a fluir dentro de canales y de esta se almacena a una pila. La solución rica se bombea a un sistema de recuperación de metal (por ejemplo, CIC, Merrill Crowe) y después es transferida a una poza de solución estéril para regenerarla y utilizarla.

Así mismo muchas operaciones de Lixiviación en pads son muy grandes, cubriendo muchas hectáreas de contención y conteniendo millones de toneladas de mineral de baja ley. Los operadores estiman la recuperación de pruebas en columnas sobre muestras de mineral y típicamente producen valores de metal algo más bajo que lo que indican las pruebas de lixiviación en columnas con un inventario resultante en los pads.

Después que el material mineral es depositado, ripeado y colocado mangueras en la celda, la única técnica operacional para mejorar la recuperación evoluciona alrededor del manejo de solución y de reactivos. La clave para reducir los valores de metal en el inventario de un pad es promover el contacto del lixiviante hacia el mineral con valor y enjuagar el metal disuelto de un material mineral hacia un sistema de recuperación. Esto es normalmente logrado por adición de solución hacia la superficie de un pad de lixiviación en unas dos dimensiones (2D) vía goteros y espiado.

Inventario en Pad

El inventario de valores de metal recuperables en una operación de lixiviación en pads se rastrea contabilizando los valores depositados por recuperar menos los valores recuperados y vendidos.

Normalmente en las operaciones de lixiviación en pads se rastrea cada polígono minado y depositado sobre los pads de lixiviación. Estos polígonos proveen la cantidad total de oro soluble por cianuro ($AuCN$) contenido en el pad vía ensayos de barrenos. Los metalurgistas analizan las pruebas representativas de lixiviación en columnas y la distribución de tamaños del mineral depositado para determinar el oro recuperable depositado como una reserva de mineral o inventario.

Como el ciclo de vida del mineral del mineral depositado culmina en un pad maduro de máxima altura, los ciclos de lixiviación son extendidos para enjuagar y retirar valores del inventario residual, y para ajustar la química y el volumen de la solución al cierre. Recuperación adicional de valores de metal en este punto frecuentemente refleja producción libre de costos de minado y producción. Los valores de metal no recuperados encontrados como inventario en un pad son encontrados en "zonas no lixiviadas, zonas bajo lixiviación o bolsas de soluciones atrapadas en el interior de un pad", en su mayoría no disponible para manejo de solución de superficie standard en técnicas de lixiviación y enjuagues. Resistividad Geofísica sobre pads de lixiviación maduros y barrenación de estos pads muestran estas zonas. Estas zonas son normalmente el resultado de compactación, asentamiento de pad, migración de finos, zonas de arcillas, ripeado inadecuado de bancos después de la colocación del mineral y precipitación química.

Las propiedades físicas del mineral, tales como tamaño, porosidad, cantidad de arcillas y composición química impacta la permeabilidad y el patrón de solución de lixiviación. El método de apilamiento para la colocación del mineral sobre el pad también determina la permeabilidad del pad y afecta la recuperación. La descarga de mineral por camiones sobre un pad de lixiviación promueve la compactación y afecta la permeabilidad e inventario del metal valioso. El inventario del metal valioso puede ser clasificado como:

1. Inventario Activo- mineral depositado y bajo lixiviación
2. Inventario Pasivo- Mineral no lixiviado
3. Inventario en Pozas- valores de metal lixiviado listo para recuperar
4. Mineral sin lixiviación- mineral previo a lixiviar

técnica en nuestro caso es para determinar las zonas húmedas y secas en el pad.

En el estudio realizado en Shahuindo se utilizó el arreglo polo-dipolo (P-D), el cual utiliza dos electrodos de corriente y dos electrodos de potencial, un electrodo de corriente se ubica alejado de la línea (remoto) y el otro electrodo de corriente junto a los dos electrodos de potencial se ubican dentro del arreglo lineal. Estos 3 electrodos (1 corriente y 2 de potencial) se mueven en serie a lo largo de la línea de estudio con la finalidad de observar las variaciones de resistividad eléctrica en profundidad.

Para el desarrollo de los trabajos, se planificó una visita técnica por parte de personal de Anddes, esto para conocer el área de estudio y para que en conjunto con la información previamente enviada por Shahuindo realizar el plan para la ejecución de los ensayos de tomografía de resistividad eléctrica 2D en el pad 1A, lo cual luego de un análisis se contempló la realización de 35 líneas de tomografía eléctrica teniendo una longitud total de 8.29 Km

Para la ejecución de los ensayos de tomografía eléctrica y la adquisición de datos de la resistividad se utilizó un resistivímetro GDD de 10 canales, un computador portátil con software para la conexión y procesamiento de datos, electrodos de corriente y potencial de acero inoxidable, motor generador de 2,000 W, cables multidipolo y radios portátiles para la comunicación en el pad.

Las líneas geofísicas tuvieron un espaciamiento entre electrodos de 10 metros y para el tendido de las líneas se alcanzó una longitud máxima de 490 metros. En los ensayos de tomografía eléctrica, la profundidad de investigación fue estimada por el arreglo polo-dipolo (P-D), alcanzando una profundidad máxima de investigación de 33 metros en el pad 1A.

Resultados: Del estudio realizado se encontraron varias áreas de oportunidad, tal como se menciona abajo:

- Del estudio realizado se interpretó que las zonas con valores de resistividad entre 100 Ω .m y 1,000 Ω .m corresponden a mineral lixiviado húmedo a seco, siendo zonas de oportunidad para realizar una lixiviación secundaria.
- Las zonas con resistividades bajas (< 40 Ω .m), corresponden a minerales finos/arcillosos húmedos o acumulación de lixiviados. Estas zonas identificadas probablemente se deban a la

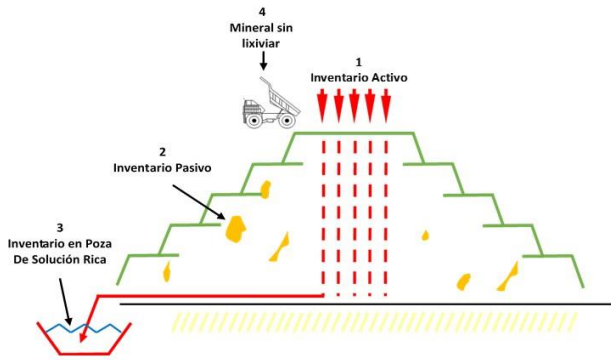


Figura 6. Esquema del Inventario que existe en un pad de lixiviación.

La Figura 6 muestra una representación de la clasificación del inventario en un pad de lixiviación.

La contabilidad y seguimiento de cada uno de estos tipos de inventario son importantes en determinar la recuperación de metal valioso en una operación de lixiviación en pads.

METODOLOGIA DEL TRABAJO, DESARROLLO Y COLECCIÓN DE DATOS

Debido a que a finales del 2020 al estar realizando la 2da etapa de re-lixiviación en el pad 1A las onzas de oro comenzaron a reducirse hasta llegar a tener niveles muy bajos, y como la recuperación total de oro era aún menor a la esperada (Dic 2020: 75.7%Au Vs \approx 80% Au esperada), se vio la opción de realizar un estudio geofísico de tomografía eléctrica para ver si existían áreas secas, además de ver si había indicios de bolsas de solución atrapadas adentro del pad.

Estudio Geofísico de Tomografía Eléctrica en el pad 1A

Para el desarrollo del estudio geofísico de tomografía eléctrica se encargó a la empresa Anddes para realizar este estudio, esto con la finalidad de identificar las zonas húmedas o secas que tenía el pad 1A a diferentes profundidades, teniendo la idea de luego de esto realizar perforaciones en las áreas secas y así ver oportunidades para realizar una relixiviación.

Los ensayos de tomografía de resistividad eléctrica es un método de corriente continua cuya finalidad es determinar la variación de la resistividad eléctrica del subsuelo en función de la profundidad a lo largo de un perfil., es decir en dos dimensiones (2D) y tres dimensiones (3D). En cuanto a las metodologías las más conocidas son los arreglos dipolo-dipolo (D-D) y polo-dipolo (P-D) en donde la aplicación de esta

disminución de la porosidad por el peso del mineral subyacente.

- Se observaron también zonas con valores de resistividad menores a 100 $\Omega.m$, cuya interpretación es de un mineral apilado semisaturado.
- También se observaron que por debajo de la geomembrana se presentan valores de resistividad mayores a 1,000 $\Omega.m$ lo cual indica que no habría fugas.

A continuación, se presenta la Figura 7 que muestran los resultados de 2 líneas de resistividad eléctrica mostrándose las áreas de oportunidad que se tenían en el pad 1A (Zonas de resistividad bajas, mineral lixiviado seco)

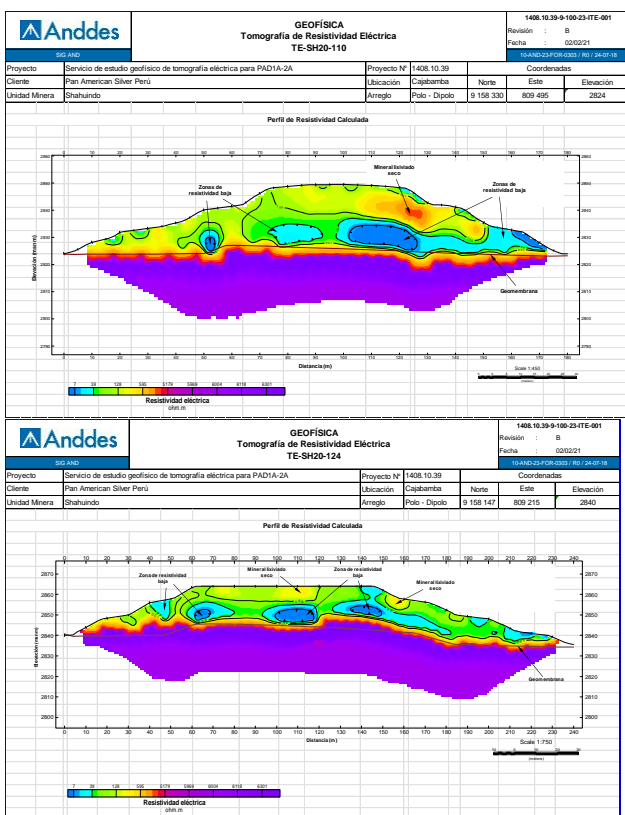


Figura 7. Se muestran resultados de 2 líneas de resistividad eléctrica de las 35 realizadas en el pad 1A (TE-SH20-110 y TE-SH20-124 mostrados en vistas de lado perfil.

Inyección Presurizada en el Pad 1A

Con la idea de poder recuperar el oro de las zonas secas, lixiviadas secas y de retirar las acumulaciones de lixiviados dentro del pad 1A, Shahuindo contrató a la empresa Jex Technologies Corporation (JTC) para que realice la inyección de cianuro a presión a través de una prueba piloto, esto con los objetivos de recuperar el inventario latente de Au y Ag en el pad, de incrementar la estabilidad del pad a través del retiro de las soluciones atrapadas en el pad, así como

finalmente de ir preparando el pad para su cierre final.

La técnica de la inyección de cianuro a presión consiste en promover el contacto directo de la solución pobre hacia ubicaciones específicas dentro del pad, para ello la inyección a presión empujara horizontalmente la solución profundamente dentro de un pad desde un pozo centralizado a través de zonas perforadas dirigidas al fondo de un pozo. El proceso geo mecánicamente cambia la estructura del pad por bombeo de la solución a presiones mayores que la presión litostática, por lo tanto, fluidizara el material alrededor de la zona de inyección. La Figura 8 muestra una Ilustración de la inyección a presión en un pad de lixiviación.

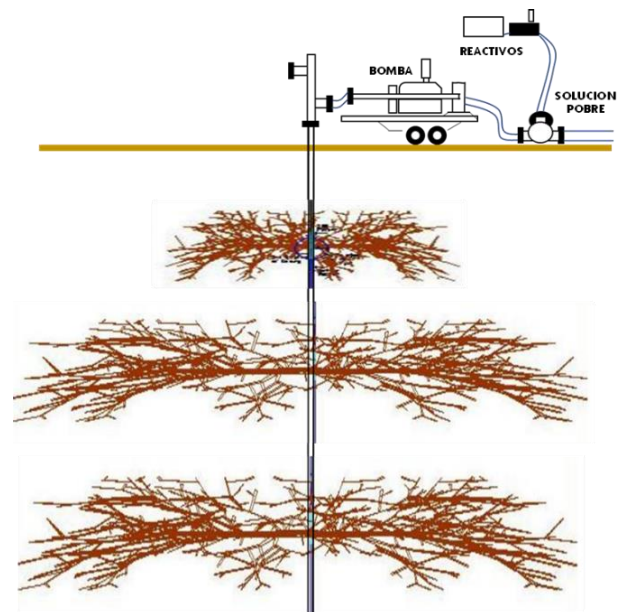


Figura 8. Esquema representativo de la inyección a presión en diversas zonas del pad utilizando un sistema de bombeo.

Esta tecnología consiste básicamente en 4 etapas

1. **Diseño y dibujo de los pozos de inyección:** Para el diseño de los pozos, información de la construcción del pad son analizados (planos as built), así también como la estabilidad actual de los taludes, integrando toda esta información con la data del estudio geofísico de tomografía eléctrica previamente realizada, resultando en el diseño de los pozos para su implementación.
2. **Perforación y muestreo:** El pad es perforado y muestreado para cuantificar el inventario y conocer la química actual que se tiene (conocer la necesidad de cianuro y de cal u otros reactivos).
3. **Estimulación y Monitoreo geotécnico en la inyección:** La estimulación es mediante el bombeo de la solución barren (conteniendo

cierta fuerza de cianuro con adición de lechada de cal) siendo este realizado a una alta presión facilitando la adición de los reactivos necesarios hacia las zonas de interés de un material mineral bajo lixiviación o no lixiviado. Así mismo en paralelo se monitorea geotécnicamente en la etapa más crítica del proceso que es en la inyección.

4. **Re-lixivación y enjuagues:** Luego de la inyección, la solución barren con cianuro y lechada de cal es adicionada periódicamente hacia las zonas que fueron estimuladas, esto para relxiviar y enjuagar los valores de metal disueltos y luego ser recuperados y además mejorar los cambios químicos como el PH de la zona.

Diseño y dibujo de los pozos de inyección: Un trabajo de ingeniería preliminar fue realizado utilizando diversa información del pad 1A, información tales como los Planos de construcción, Topografía actualizada del pad, inventario estimado aun por sacar, estabilidad de taludes, fueron revisados siendo estos analizados e integrando con la data de los estudios de resistividad eléctrica, dando como resultado el diseño de los pozos.

Para el proyecto piloto que realizó Shahuindo en el Pad 1A fueron diseñados 31 pozos de inyección (SHJ1-01, SHJ1-02,...,SHJ1-31) teniendo un total de 53 zonas de inyección a presión y 31 zonas superficiales los cuales trataron 1,113,000 toneladas métricas. Los pozos diseñados tuvieron una separación entre pozos colindantes aproximadamente de 25 metros, teniendo una profundidad diversa que varío en el rango de 23.25 metros y 11.25 metros, en donde cada pozo tuvo de una a tres zonas de inyección dependiendo de la profundidad de cada barreno. Para este plan piloto todos los 31 barrenos tuvieron un margen de seguridad de 10 metros por encima de la geomembrana del pad (esto para no dañarla por la perforación en diferentes puntos). Por otro lado, con la finalidad de controlar los niveles de solución a la hora de inyectar la solución cianurada se diseñaron 9 piezómetros de monitoreo, estos ubicados entre los 31 pozos de inyección. Estos piezómetros tuvieron una profundidad entre 12 y 24 metros. A continuación, se presenta la Tabla 2 con los datos de diseño que se tuvo en la inyección piloto.

banquetas)	
Metraje total de perforación en los pozos de inyección (m)	487
Zonas totales por inyectar (zonas profundas)	53
Nº de piezómetros de monitoreo	9
Metraje total de barrenación en piezómetros (m)	171
inyección en Zonas	31
DM Casing (En taludes)	6
Etapas de Enjuagues	mínimo 6
Tiempo Estimado del proyecto	10 meses

Tabla 2. Datos de diseño de pozos de inyección y pozos de monitoreo

Finalmente, una vez obtenido el diseño final (Figura 9) por parte de Jex Technology, el departamento de topografía de Shahuindo ubico en el pad 1A todos los puntos a barrenar, en donde más adelante se colocarían los 31 pozos de inyección y los 9 piezómetros.

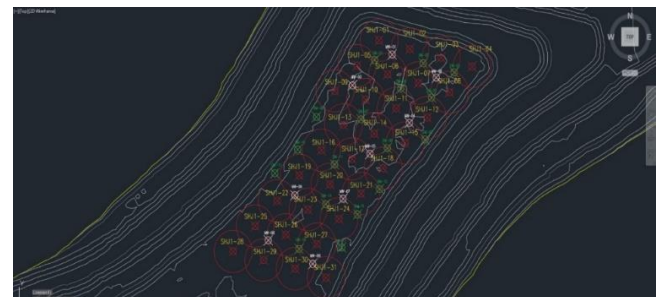


Figura 9. Diseño en la fase piloto con los 31 pozos de inyección. Los 9 círculos blancos son los piezómetros.

Perforación y muestreo: Una vez que el diseño se obtuvo (planos con la data de ubicación, diámetro, profundidad de las zonas de inyección y de monitoreo) se iniciaron los trabajos de perforación e instalación de los pozos para la inyección y de los piezómetros para el monitoreo, así mismo en la etapa de perforación realizar la obtención de muestras cada dos metros de profundidad, las cuales servirán para realizar el logueo de muestras y para la realización de pruebas metalúrgicas.

Para poder realizar estos trabajos de perforación, previamente se niveló con un tractor/excavadora diversas áreas de la plataforma principal, así como de los accesos a diferentes niveles del pad 1A donde se iba barrenar también.

Para la etapa de perforación se utilizó la máquina perforadora de circulación inversa Schramm T-130 (Figura 10) junto con un camión grúa con los accesorios de perforación y equipos auxiliares. Los materiales utilizados para los pozos de inyección fueron: tubos de acero al carbono SCH40 esto para el casing, zapatas para tubos de acero al carbono SCH40

Inyección de CN a presión pad 1A	Prueba Piloto Fase I
Tonelaje estimado a inyectar (ton)	1'130,000
Pozos de inyección	SHJ1-01 a SHJ1-31
Nº Pozos de inyección (plataforma,	31

de 6" y una herramienta cortadora de casing. Para los piezómetros de monitoreo se utilizó tubería ranurada y lisa de PVC de 2"x 3 metros de longitud, punta lápiz de 2" y tapas de PVC de 2" además de grava canto rodado.

Para cada piezómetro de monitoreo, se ubicó inicialmente la perforadora en el punto indicado previamente por topografía, para de ahí comenzar con la barrenación mediante el sistema de aire reverso hasta la profundidad establecida en el plano de cada pozo. En el momento de la barrenación cada 2 metros se tomó muestra. Culminada la barrenación, se procedió a bajar el tubo de PVC de 2" de diámetro, siguiendo el plano de construcción de los piezómetros se bajan tuberías de PVC ranurada o lisa según corresponda, en donde la tubería de PVC deberá de quedar 0.30 metros por sobre la superficie. Posteriormente se procede a instalar la grava por el espacio anular formando entre el perímetro del tubo PVC y el terreno perforado, esta misma sirve como protector del PVC y del filtro.

Finalmente se procedió a bajar una cámara por el interior de los piezómetros instalados verificando las profundidades y su diseño de construcción siendo igual a los planos iniciales.

Así mismo para cada Pozo de inyección, se ubicó el equipo de perforación en el punto indicado por topografía, se instaló la maquina e inicio la perforación mediante el sistema de aire reverso, esto hasta la profundidad establecida en el plano de cada pozo. De igual forma en el momento de la barrenación cada dos metros se tomaron muestras.

Finalizada la perforación, se retiró las barras de perforación quedando el casing de acero al carbono SCH40 de 6" de diámetro junto con la zapata de acero al carbono SCH40 de 6" perdida dentro del pozo (como casing), según el diseño el tubo debe de quedar 0.75 metros por encima de la superficie. Se reemplaza el martillo de perforación por la herramienta HOLTE y se procedió a calcular la profundidad de los rangos de líneas agujeros (cortes) a realizar.

Los tubos de "casing" están puestos y ranurados para efectuar la operación de las inyecciones.



Figura 10. Se muestra la perforadora SCHRAAM T-130 trabajando en el pad 1A.

Logueo de las muestras y Realización de pruebas metalúrgicas

Las muestras provenientes de la perforación al realizar los piezómetros de monitoreo y los puntos de inyección fueron adquiridas en intervalos de cada 2 metros siendo estas colocadas en bolsas con sus descripciones (Código y rango de profundidad de la muestra). Todas las muestras provenientes de los 9 piezómetros de monitoreo fueron trasladadas al departamento de Geología para realizar su descripción y características geológicas respectivas identificando su Litología (tipo de roca), Alteración, y grado de alteración de cada muestra (Logueo). Los resultados del logueo realizado fueron los siguientes:

Se identificaron que en 4 barrenos (MW-1, MW-2, MW-3 y MW-6) de los 9 en total, predominó el tipo de roca Limolita Argílica siendo la roca de color marrón a marrón rojizo siendo Limo arcilloso y plástica con clastos de Limolita Silicificada. y Arenisca, no siendo este mineral lo idóneo en calidad para un pad. Así mismo en los otros 5 barrenos (MW-4, MW-5, MW-7, MW-8 y MW-9) predominó el tipo de roca Arenisca Silicificada siendo un material de color marrón a marrón rojizo principalmente con clastos de Arenisca y Limolita Silicificada, siendo este material de buena calidad.

Estos resultados de logueo validan el estudio Geofísico en donde se mostró que el pad tiene algunas áreas con bajas resistividades eléctricas, pudiendo ser áreas de minerales finos/arcillosos húmedos o acumulación de lixiviados.

Por otro lado, las muestras provenientes de los 31 barrenos de inyección previamente etiquetadas con su número de pozo y su localización fueron llevadas al departamento de Metalurgia en Shahuindo para realizar las pruebas metalúrgicas. Pruebas que se

realizaron fueron la determinación del % de humedad y pruebas de botella a diferentes concentraciones de cianuro, esto último para determinar el oro que se pudiera recuperar solamente con la lixiviación a ciertas condiciones de cianuro. Para la determinación del % de humedad y las pruebas de botella se realizaron varios compositos para cada pozo perforado, un composito comprendía de la muestra obtenida desde la profundidad barrenada de 4 metros hasta 12 metros, otro composito desde 12 metros hasta 16 metros y finalmente un tercer composito de 18 metros hasta 24 metros, de ser el caso.

En base a esto de todos los 31 barrenos un total de 53 compositos fueron obtenidos pudiendo con esto realizar un total de 318 pruebas de botella a concentraciones de cianuro de 0 ppm, 350 ppm (concentración de riego en el pad 2C) y con 1,000 ppm, realizando todas las pruebas por duplicado además de ensayar sus cabezas por Au, Ag y Cu de cada composito.

Las pruebas de botella fueron realizadas teniendo un peso cada composito de 1Kg a una granulometría de 90%-M10 y con un 50% de sólidos. En donde el tiempo de lixiviación total duro 24 horas tomando muestras para sus análisis a las 2,4,8,12 y 24 horas respectivamente.

A continuación, la Tabla 3 presenta las condiciones de las pruebas de lixiviación en botella, así como los resultados globales obtenidos en sus recuperaciones de Au, Ag y Cu. y los consumos de los reactivos que se tuvieron.

Data	BRT I	BRT II	BRT III
Peso del mineral (g):	1,000	1,000	1,000
Solución (c.c):	1,000	1,000	1,000
Relación L/S:	1.0	1.0	1.0
% Sólidos:	50	50	50
Granulometría:	90%-10M	90%-10M	90%-10M
CN (ppm):	0	1,000	368
Tiempo (h):	24	24	24
Alicuota (cc)	5	5	5
% Pureza NaCN:	0	94	94

Tabla 3. Condiciones de las pruebas de botella realizado con las muestras de los pozos de inyección.

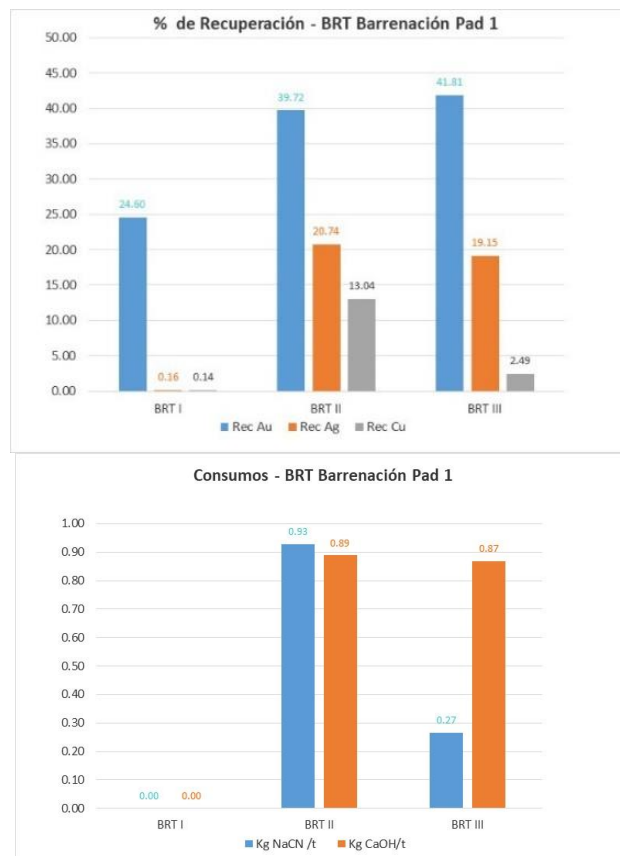


Figura 11. Resultados de las recuperaciones promedio de las pruebas de botella de los rípios del pad 1A, lixiviando durante 24 horas con 0, 1,000 y 368 ppm de cianuro respectivamente. Al lado derecho se muestran los resultados promedios de los consumos de NaCN/Ca(OH)₂ en las pruebas.

Resultados de las recuperaciones promedio que se obtuvieron de las 318 pruebas de lixiviación en botella se muestran en la Figura 11, en donde los resultados hallados fueron:

- La ley de cabeza ensayada promedio de todos los 53 compositos nos arrojó un promedio de 0.18 gpt de Au.
- De los resultados obtenidos de las pruebas de botella, lixiviando los rípios a 350 ppm nos da una mayor extracción en oro que fue de 41.81%, esto comparado lixiviando a 0 ppm y a 1,000 ppm, así mismo muestra un menos consumo de cianuro comparado con la de 1,000 ppm sin embargo en el consumo de la cal es muy parecido.
- Por otro lado, el lixiviar a 1,000 ppm se activa el Cobre recuperando como 13% mientras que a 350 ppm su recuperación de Cobre es mínima como del 2.49%.
- Finalmente, de todos los resultados obtenidos se hayo que lixiviando a 350 ppm se obtendrán los mejores resultados y menor consumo de reactivos, en donde tomando en cuenta la recuperación, ley de cabeza y toneladas del plan piloto se estiman que de 2,200 a 2,500 oz Au deberán de ser recuperadas.

Estimulación y Monitoreo geotécnico en la inyección

Una vez que los 31 barrenos fueron realizados en el pad 1A, antes de iniciar con la inyección a presión de la solución cianurada, para evitar tener algún problema geotécnico en el pad, Shahuindo solicitó el soporte geotécnico a la empresa Anddes, esto durante las inyecciones en el pad 1A, la cual consistió en la supervisión en el campo de un ingeniero geotécnico durante el periodo más crítico de este proyecto, (es decir en las inyecciones de los pozos SHJ1-01 al SHJ01-31 enfocándose más en los pozos más cercanos a los taludes), monitoreo e inspección permanente del apilamiento a fin de detectar alguna grietas o indicios de movimientos, así como el monitoreo del incremento de nivel de solución en los piezómetros verificando que se encuentren por debajo de los niveles de alerta, finalmente verificar que se realice el monitoreo de los puntos de control topográfico existentes o adicionales a ser instalados en la zona de trabajo del pad 1A en donde la frecuencia de lectura será diaria.

Dado que el pad 1A tiene una Instrumentación básica desde la construcción del proyecto (4 piezómetros de cuerda vibrante), además de los 9 piezómetros de tubo abierto instalados en la plataforma del pad provenientes del diseño de Jex T., se evaluó para instalar más puntos de control, estos fueron 5 piezómetros de tubo abierto y 10 puntos de control topográficos los cuales fueron instalados antes de realizar la estimulación (Figura 12).

Para la instalación de los 5 piezómetros de monitoreo se trajo una máquina de perforación diamantina Atlas Copco CS-14 (Figura 13), un camión grúa con accesorios de perforación y equipos auxiliares, como materiales tuberías ranuradas de PVC de 2" x 3 metros, punta lápiz de 2", tapas punta cónicas de PVC de 2", tapas protectoras de piezómetros de 4 ½" y grava canto rodado de 2-4mm. El procedimiento para la perforación e instalación de cada piezómetro fue de forma similar a lo realizado anteriormente.

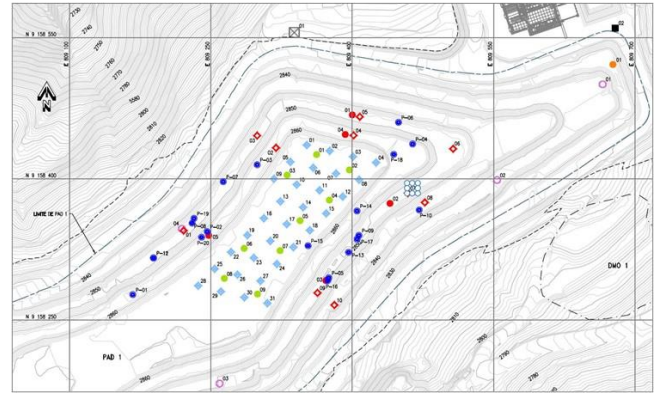


Figura 12. Se muestra la Ubicación de la Instrumentación de monitoreo existente y adicional además de los 31 pozos de inyección (color celeste) además de los piezómetros de tubo abierto (verde) realizados.



Figura 13. Construcción de un piezómetro de monitoreo adicional utilizando la máquina de perforación diamantina CS-14.

Una vez que la instrumentación adicional fue instalada, el equipo de inyección fue ubicado cerca del primer pozo para iniciar actividades. El equipo de inyección previamente fue conectado a una línea de HDPE llevando esta línea solución barren conteniendo la fuerza de cianuro apropiada de 350 ppm y lechada de cal para mantener el PH a 10.50. Al inicio antes de inyectar se humectó el pozo teniendo un flujo suave durante un promedio de 40 minutos con una presión mínima. Luego de esta humectación se procedió a inyectar por zonas, iniciando por la más inferior esto a través de una bomba en donde se incrementa la presión descargando la línea hacia cada zona a inyectar. El equipo de Jex (Figura 14) contiene una bomba de alta presión y dentro de los casing de cada pozo en el fondo se ubican unos empaques los cuales son inflados por abajo y arriba de cada zona perforada y a inyectar los 360 grados.

Este sistema constantemente monitorea la velocidad de la bomba, la presión de ingreso de la solución y el

flujo de ingreso. En la etapa de inyección por zonas se ingresó un flujo promedio apropiado por la profundidad de la zona durante 4.5 horas con una presión apropiada, en donde el total de flujo inyectado por zona fue de 1,100 m³. Así mismo durante toda la etapa de inyección un monitoreo geotécnico fue realizado tanto de día y de noche observando los taludes de las áreas cercas a la inyección, inspeccionando los niveles de los piezómetros. De todos los 31 pozos que se inyectaron solo hubo unos 3 pozos (#19, #20 y #22) que salió solución por el talud colindante parando la inyección inmediatamente, los cuales más adelante fueron inyectados, pero a baja presión no teniendo ya este problema 2 de ellos.

Así mismo para las 31 zonas superficiales cerca al tope del pad se realizó una inyección con baja presión durante casi 10 horas inyectando un flujo un flujo similar por esas zonas.

Para el control de la estimación de las onzas retiradas del pad, como toda la descarga del pad 1A se dirige a un cajón de acero que sirve de desarenador, previamente se instaló un flujómetro para la contabilización de la solución drenada, muestreando a la vez por turno diariamente para la estimación de leyes.



Figura 14. Máquina de inyección en el pad 1A al costado del pozo donde se inyectará a presión la solución cianurada con la lechada de cal.

En la Tabla 4. se presentan los parámetros de operación del equipo de inyección con que la solución cianurada ingreso conteniendo 350 ppm con un pH de 10.50.

Data	Humectación	Inyección en Zonas	Inyección Zona 0	Enjuagues
Inyección	Sin presión	Con presión	Sin presión	Sin presión
# Zonas totales		53	31	84
CN en riego (ppm)	350	350	350	350
pH en riego	10.50	10.50	10.50	10.50
Tiempo de	0.67	4.5	9.72	11.5

inyección (prom) h				
Volumen total (promedio) m3	110	1,100	1,156	1,150-1,320
Presión de empaques (PSI)	0	300	0	0
# Dias empleados	19			14

Tabla 4. Etapas de la prueba piloto de inyección de CN a presión.

Finalmente de los resultados hallados en la etapa de inyección, se inyectó a presión un volumen total promedio de 1,100 m³ en cada una de las 53 zonas dando un total de 58,300 m³ de solución inyectada, mientras que se recuperó del pad 1A en todo ese periodo un total de 84,140 m³ en la pileta de solución rica, por lo tanto, se deduce que había una solución considerada de solución atrapada dentro del pad, aunque debido a la precipitación en el área es difícil definir qué parte del exceso de solución se debió a la lluvia y cuanto se debió a la solución atrapada.

Re-lixiviación y Enjuagues

Luego de la inyección una serie de etapas de enjuagues fue realizado para poder re lixiviar y enjuagar los valores de metal disueltos y luego ser recuperados y además mejorar los cambios químicos como el pH de la zona. Para la etapa de enjuague fue ingresado un flujo más suave por mucho tiempo realizando los enjuagues sin presión, ingresando un volumen total de 1,150 m³ por cada enjuague en cada zona. Una vez finalizado los enjuagues de acuerdo con la ley drenada se ve hasta qué # de etapa de enjuague se finalizará, en donde para Shahuindo se ha establecido un grado de solución de corte de 0.035 ppm Au para interrumpir el proceso de enjuague y comenzar al cierre del pad, por lo que se continuara con el enjuague hasta alcanzar ese grado de corte. A continuación, se presentan la Tabla 5 mostrando los aportes de Au y Ag desde el inicio de la inyección a presión a la fecha.

Aporte de Oz de Au/Ag debido a la inyección de CN a presión en el pad 1A				
Mes	Etapas	Ley (prom). Drenaje Pad (ppm)	Oz Au	Oz Ag
Dic-2021	Inyección a presión	0.126	559	2,520
Ene-2022	1 etapa enjuague	0.058	344	2,031
Feb-2022	2 da etapa enjuague	0.094	239	1,084
Mar-	2 da etapa	0.095	373	1,673

2022	enjuague/ Zonas "0"			
Abr-2022	3era etapa enjuague	0.095	303	1,460
May-2022	4 ta etapa enjuague	0.139	223	1,126
Jun-2022	5ta etapa enjuague	0.117	68	347
Total			2,110	10,241

Tabla 5. Aportes mensuales de onzas de Au/Ag desde el inicio de la inyección

De la Tabla 4 se puede apreciar que durante 6 meses se han producido 2,110 oz Au y 10,241 oz Ag las cuales han sido recuperadas desde el inicio de la inyección en el mes de diciembre 2021 hasta a la fecha que se está realizando el 5to enjuague. Se ha establecido un grado de solución de corte de 0.035 ppm Au para interrumpir el proceso de enjuague y comenzar al cierre del pad, por lo que se continuara con el enjuague hasta alcanzar ese grado de corte.

A continuación, se presenta la Figura 15 con los aportes de producción desde el inicio de la inyección a presión a la fecha en donde se tiene actualmente la 5ta etapa de enjuague.

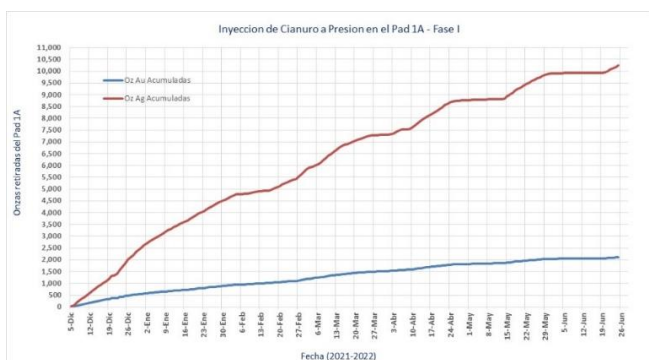


Figura 15. Onzas recuperadas del pad 1A mediante la inyección de cianuro a presión.

Finalmente, una estimación del costo de producción por onza de Au se ha realizado dando 600 usd/oz Au lo cual incluyen todos los costos realizados (barrenación, inyección, insumos, mano de obra, energía, etc.)

CONCLUSIONES

- Una prueba piloto de inyección a presión fue aplicada en casi una tercera parte del tonelaje ubicado en el pad de lixiviación 1A de la mina Shahuindo, esto con el objetivo de reducir el inventario de oro del pad, en donde un total de 31 pozos de inyección y 09 pozos de monitoreo

fueron utilizados en esta prueba, teniendo como producción obtenida a la fecha actual (quinto enjuague) 2,110 oz Au y 10,241 oz Ag, esto en base a los flujos y análisis de solución rica drenada del pad 1A, realizado en todo este periodo de prueba.

- Debido a la reducción de inventario, la recuperación total de oro del pad 1A incremento desde 77.3% a 79.20% a la fecha.
- El haber instalado en el proyecto de inyección 9 pozos de monitoreo además de instrumentación adicional en el pad 1A (piezómetros, puntos de control topográficos) realizando en la etapa más crítica (inyección) su monitoreo geotécnico nos ayudó a garantizar que la estabilidad del pad no fuera afectada.
- Los pozos de inyección donde se encontraron al inicio bolsas de solución atrapadas luego de la inyección fueron reducidos dando mayor estabilidad al pad, sin embargo, se estarán realizando más pruebas para eliminar un remanente que permanece aún.
- Finalmente debido a los resultados positivos de esta prueba piloto realizado en el pad 1A ya se está realizando la Fase II en donde se realizará la inyección a todo lo restante del pad 1A esperando producir 2,500 oz Au a 3,100 oz Au en esta nueva etapa.

RECOMENDACIONES

- En base a la experiencia antes de realizar la inyección a presión en un pad es importante tener y revisar información base, tales como la estabilidad de sus taludes, estudios geofísicos del pad, descripción del historial del material depositado en el pad, recuperación acumulada a la fecha, instrumentación ubicada y disponible, esto para ver las necesidades que se requieren antes de realizar la inyección.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a toda mi familia por su gran apoyo en todo este tiempo que dedique para realizar este trabajo técnico, también el agradecimiento especial a todo el equipo de

Shahuindo que está involucrado en todo este proyecto, a los Ingenieros Edmundo Roca Pinto (Gerente de Operaciones de mina Shahuindo), Manuel Deza Vargas (Director de Pan American Silver-Perú), e Itamar Machado (Country Manager de Pan American Silver-Perú) por su gran apoyo y la autorización para poder presentar este trabajo técnico en Perumin.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Van Zyl, D., Hutchison, I.P.G. and Kiel. (1988). Introduction to evaluation, design and operation of precious metal heap leaching projects. Society of Mining Engineers (SME).
- Seal, T., Jung, S. (2005). Reduction of gold inventory in cyanide heap leaching. SME Annual Meeting, Preprint No 05-22, Salt Lake City, Utah, USA.
- Seal, T. (2007). Hydro-Jex: heap leach pad stimulation technology; ready for world wide industrial adoption?. SME Annual Meeting, Preprint No 07-123, Denver, Colorado, USA.
- Seal, T., Fink, J.B. (2008). Integrating hydro-fracturing technology and geophysics into 3D mapping and extraction of metals in heap leaching: Hydro- Jex and high resolution resistivity. SME Annual Meeting, Preprint 08-001, Salt Lake City, Utah, USA.
- Rucker, D., Schindler, A., Levitt, M.T.& Glaser, D.R. (2009). Three-dimentional electrical resistivity imaging of a gold heap. Hydrometallurgy 98, 267-275.
- Rucker, D. (2010). Moisture estimation within a mine heap: An application of cokriging with assay data and electrical resistivity. Geophysics Vol 75, B11-B23.
- Seal, T., Winterton, J., Rucker, D. (2011). Hydro-Jex operations at AngloGold Ashanti's Cripple Creek & Victor gold mine. SME Annual Meeting, Preprint No 11-093, Denver, Colorado, USA.
- Seal, T., Rucker, D., Winterton, J. (2012). Enhancing gold recovery using Hydro-Jex at Cripple Creek & Victor gold mine Co. Denver, Colorado, USA.
- Winterton, J., Rucker, D. (2013). Optimal strategies for Leach pad injection operations. Society of Mining Metallurgical and Exploration (SME) Annual Meeting, Pheonix, AZ.
- Winterton, J. (2013). Estimating the residual inventory of a large gold heap leach pad. SME Annual Meeting, Preprint 13-046, Denver, Colorado, USA.
- Keller, J., Milczarec, M., Olsen, S. Amponsah, I. (2014). Characterization of gold inventory and impediments to recovery at an active heap Leach facility. Proceedings of Heap Leach Solutions, 2014.
- Huallanca, W., Landa, R., Chung, A. (2016). Geotechnical-metallurgical characterization of crushed agglomerated ore in Shahuindo heap Leach. Proceedings of Heap Leach Solutions.
- Basi, J., Rucker, D., Seal, T. (2017). Testing inventory drawdown through pressure injection in the leach pad at Los Filos mine. COM 2017 The Conference of Metallurgists, Vancouver, BC, Canada.
- Abbasi, B., Azarfar, B., Ahmadvant, S., Seal, T., Ulrich, B. (2020). The effect of Hydro-Jex operation on the stability of heap leach pads: A case study of a heap leach operation in central Mexico. Mining, Metallurgy & Exploration.
- Gonzalez, M. (2020). Lixiviación en Pads en Mina Shahuindo. II Congreso Internacional de Procesamiento de Minerales 2020. PROCESSMIN.
- Quispe, F., Quispe, S. and Huallanca, W. (2021). Estudio geofísico de tomografía eléctrica para el pad 1y 2A- unidad minera Shahuindo. febrero 2021, Anddes Asociados SAC. Cajamarca, Perú.
- Farias, E., Solis, M. (2021). Informe de Perforación de sondajes de Circulación Inversa- barrenación Pad 1A en Mina Shahuindo. agosto 2021, Remicsa Drilling S.A (REDRILSA). Cajamarca, Perú.
- Huayhua, L., Melendez, J. (2022). Soporte geotécnico durante inyecciones en el pad 1. Shahuindo SAC., Anddes Asociados SAC. Cajamarca, Perú.

RESEÑAS PROFESIONALES

Miguel Angel Gonzalez Olivares: Es miembro profesional de la SME con más de 18 años de experiencia en procesamiento de minerales, habiendo trabajado en diversas minas, tales como Minsur y Ares en Perú, así como El Sauzal (Goldcorp), Álamo Dorado (Pan American Silver-México), San Francisco (Alió Gold) y Mina Magistral (McEwen Mining) todas estas en México. Actualmente trabaja en la mina Shahuindo de Pan American Silver-Perú como Gerente de Procesos en donde en diversas minas de México ha desempeñado cargos gerenciales similares.

Es Ingeniero Metalurgista titulado de la Universidad Nacional de Ingeniería (Perú), además también cuenta con una Maestría en Ingeniería de Minerales del Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (México). Además de haber realizado un Diplomado en Formación Gerencial en el

Tecnológico de Monterrey (México). Autor de 3 publicaciones Internacionales publicadas en las revistas: Journal of Colloid and Interface Science (2005), Journal of Dispersion Science and Technology (2008) y en Chemical Physics (2019).

Ha participado como conferencista en diversos eventos de prestigio como en la 29 Convención Minera Perumin. En México en la XXXI Convención Internacional de Minería en Acapulco, así como en el Primer Congreso “Tendencias de la Actividad Minera en Durango- México” y últimamente en el II Congreso Internacional de Procesamiento de Minerales (PROCESSMIN) realizado en Perú.

Richard Corsino Guerrero: Superintendente de Procesos en la Unidad Minera Shahuindo de Pan American Silver Perú; con aproximadamente 20 años de experiencia en puesta en marcha y operación de plantas Hidrometalúrgicas, habiendo trabajado en diversas minas como Pucamarca (Minsur), Corihuarmi (Mineral IRL S.A.) y Minera Aurífera Santa Rosa (COMARSA). Es Ingeniero Metalurgista titulado de la Universidad Nacional de Ingeniería (Perú), además también cuenta con una Maestría en Gestión Minera en la Universidad Nacional de Ingeniería. Además de haber realizado un Diplomado en Gestión Estratégica Minera.

Javier Casas Montes: Ingeniero químico metalurgista titulado de la Universidad de Sonora en Hermosillo-México. Actualmente trabaja en Jex Technologies como director de Tecnología encargado de las operaciones y diseño del sistema Hidro-Jex, habiendo trabajado en varios proyectos de Inyección de Cianuro a presión tales como en la Mina Telfer (Newcrest-Australia), mina Gualcamayo (Minas Argentinas-Argentina), mina La Trinidad (Mako Mining Corp-México), mina Los Filos (Goldcorp-México) y actualmente mina Shahuindo (Perú).

Miguel Baylon de la Cruz: Ingeniero Químico especializado en Metalurgia del Instituto Tecnológico del Parral en México. Actualmente trabaja en Jex Technologies como metalurgista y gerente del proyecto de Inyección de cianuro a presión en Shahuindo, en donde previamente a realizado proyectos similares como en la mina Los Filos-México.