

# PROCESOS DE CIANURACIÓN

Por Francisco Lara Monge<sup>1</sup>

## INTRODUCCION

La tecnología de cianuración de minerales auríferos es muy conocida y tiene la ventaja que en muchos casos permite evitar uso del mercurio, además esta técnica deja aprovechar mejor los recursos porque permite recuperar oro aun de minerales marginales. Los montos de inversión son relativamente bajos si se les compara con la inversión en plantas de cianuración por agitación. Los costos de operación son mucho más bajos, y el control de la operación en si es además muy sencilla.

El deber del estado consiste en capacitar a los agentes involucrados para que, con el debido asesoramiento usen la cianuración adecuadamente y responsablemente, dado que esta es una alternativa viable y practica, a mejor medida de los pequeños mineros.

Sin embargo para hacer una adecuada aplicación de este tipo de tecnologías se hace necesario convertir a los mineros a la formalidad de manera tal que las futuras actividades se hagan dentro del marco legal, es decir dentro de las regulaciones ambientales adecuadas.

Durante años las personas vinculadas a este sector, mayoritariamente informales, han desarrollado actividades extractivas aprovechando, principalmente, la fácil metalurgia extractiva de la amalgamación, obviamente mediante el uso del mercurio metálico. Sin embargo doquiera que los mineros hayan estado han hecho un uso indiscriminado e irresponsable del aludido elemento. Por esta razón decenas y probablemente cientos de TM Hg han sido lanzadas al ambiente, ya sea en estado liquido en los relaves o como vapor de mercurio en el momento de la separación del oro – mercurio (Rehogado) mediante uso de sopletes. Sabido es de la alta toxicidad de este metal así como de su difícil degradación cuando esta formando compuestos orgánicos, típicamente como metil-mercurio.

Frente a ello, una alternativa para evitar, o disminuir dicha contaminación, es la sustitución de las prácticas actuales de la antiquísima técnica de amalgamación por la ya muy conocida y difundida técnica de lixiviación de oro mediante el uso adecuado de soluciones diluidas de cianuro de sodio o de potasio. Para el caso de la pequeña minería o la llamada artesanal la alternativa especifica mas adecuada es la de lixiviación en Vat Leaching, que no es otra cosa que el tratamiento de la mena aurífera de hecho muchas pequeñas empresas mineras, pero sobre todo las grandes, vienen usando esta tecnología. No se descartar tampoco la lixiviación en montones o Heap Leaching, pero la selección del método mas convenientes dependerá de varios factores tales como la docilidad de los minerales, accesibilidad, volumen de mineral, disposición de agua para el proceso.

---

<sup>1</sup> **DERECHOS DE AUTOR:** El uso del presente material esta supeditado a lo establecido en las leyes de derecho de autor, por lo cual quienes usen parcial o totalmente esta obra deberán indicar obligatoriamente el nombre del autor

En la actualidad algunos grupos de mineros ya están usando técnicas de cianuración en diversos lugares.

## **DESCRIPCIÓN**

Las operaciones mediante el uso de cianuros alcalinos se viene aplicando desde así casi un siglo, y de hecho la mayor parte de plantas de tratamiento obtienen el oro mediante esta tecnología. Aunque en el pasado se decía que las operaciones de cianuración estáticas no tenía altas recuperaciones los hecho demuestran que cuando el oro es liberado recuperaciones metalúrgicas aceptables son obtenidas. Así aunque en operaciones de cianuración por agitación se alcanzan recuperaciones de mas de 90%, también se alcanzan cotidianamente en plantas de cianuración Vat Leaching recuperaciones similares, aunque los tiempos de tratamiento debe ser mucho mas prolongados.

Desde hace casi una década viene operando con mucho éxito una pequeña planta, de 20 TM/Día, de lixiviación Vat Leaching y adsorción por carbón activado en columnas. Pese a ser una pequeña planta compite en condiciones normales de mercado con empresa mucho mas grandes en la compra e minerales y relaves de la zona.

En general, desde el punto de vista operativo, se podrían clasificar las operaciones de cianuración en dinámicas y estáticas, dependiendo si el material sólido es sometido a movimiento o no.

En casi todos los casos la extracción de los metales disueltos suele hacerse mediante la precipitación por reducción iónica, esto es por reemplazo del oro por otro metal como el zinc. Así desde hace mucho tiempo se le extrae por el uso de polvo de zinc (el método llamado Cerril Crowe) que requiere de la condición básica de desoxigenación mediante el uso de una torre de vacío. No se recomienda usar viruta de zinc por ser un método obsoleto y sumamente deficiente.

Otra alternativa, muy generalizada en los últimos tiempos es el uso de carbón activado para recuperar los metales disueltos por adsorción. Esto es posible por el contacto de la solución con el carbón en columnas (proceso CIC, por sus siglas en ingles). Otra posibilidad es que el Carbo sea agregado a la pulpa en agitación (proceso CIP, por sus siglas en ingles) y al mismo tiempo que ocurre la lixiviación ocurre la adsorción, este es un proceso ventajoso porque no es necesario realizar separación sólido liquido ya que el carbón actúa sin mayores inconvenientes.

## **OPERACIONES DE CIANURACION DINAMICAS**

En este tipo de operaciones la pulpa, o sea la mezcla de liquido (solución lixivante) y sólido (mineral o relave) se mantiene en movimiento, llamado también agitación. El objetivo de este tipo de operación, es decir mantener la pulpa en agitación, obedece a la intención de acelerar el proceso de disolución y exposición de las partículas metálicas a la acción del agente disolvente, algo así

como la agitación que se le suele dar al azúcar en una taza de agua que el fin de que esta se disuelva.

Frecuentemente este tipo de operaciones pueden ser continuas, o sea que en simultaneo puede irse alimentando el material al proceso y al mismo tiempo puede ocurrir la descarga del material ya procesado.

En general este tipo de plantas suelen ser continuas, es decir que la pulpa es alimentada des un primer tanque y a lo largo del proceso va fluyendo hasta un ultimo tanque donde, ya se le ha extraído el oro al mineral.

En este tipo de operación el proceso suele requerir de un tiempo de proceso (tiempo de residencia) de 18 horas en el caso de los minerales oxidados del Batolito de la Costa. Aunque eventualmente puede haber materiales que requieran un mayor tiempo si la intención es alcanzar mayores recuperaciones, sin embargo se debe evaluar concienzudamente el costo beneficio, porque no siempre el alcanzar altas recuperaciones resulta siendo los mas rentable habida cuenta de que un proceso mas largo implica incurrir en mayores gastos operativos.

Los tanques puede ser de diversa capacidades, sin embargo se recomiendan un mínimo de tres tanques, en caso sea una planta continua, ya que de esta forma se obtiene un buen remezclado, es decir que la probabilidad de que algunas partículas circulen sin permanecer el tiempo promedio predeterminado.

### **A.- Tanques Agitadores Mecánicos**

En este tipo de operación se usan plantas en las que la pulpa circula en tanques de metal, usualmente cilíndricos, en los que el material sólido es mantenido en suspensión agitada mediante el uso de impulsores metálicos. El impulsor recibe la fuerza motriz mediante un eje, el mismo que a su vez recibe movimiento mediante fajas y poleas.

### **B.- Tanques Agitadores Neumáticos**

Es una operación similar a la anterior, es decir que también se tratan de tanques metálicos para agitar la pulpa pero con la diferencia que la suspensión de la pulpa se efectúa mediante el bombeo de aire en la base del tanque (llamados Pachucas), muchos expertos consideran que además de esta forma se puede acelerar las reacciones de formación debido a la gran cantidad de aire que se introduce en la pulpa

## **OPERACIONES DE CIANURACION ESTATICAS**

Se podrían definir como aquellas en las que el material sólido que se procesa no es sometido a movimiento, es decir que durante el proceso el mineral o relave se mantiene quieta. En este tipo de proceso el costo operativo suele ser bajo dado que no has gasto de energía, además son los típicos procesos de bajos costo de capital, o sea inversión relativamente baja en función del tamaño de planta según el tonelaje.

## **A.- Heap Leaching**

Son operaciones de lixiviación en montón, en la que en la mayoría de casos el mineral puede ser procesado tal como sale de la explotación minera. El tamaño de partícula de mineral puede ser obtenido, según el tamaño deseado por la planta, mediante la fragmentación por la voladura, esto es ajustando la malla de perforación. En ocasiones el mineral debe ser sometido a operaciones de chancado antes de ser transportado a las plataformas de lixiviación.

Antes de iniciar una operación de esta naturaleza, una plataforma con ligera inclinación debe ser preparada impermeabilizando un gran área donde se depositara el mineral. Como quiera que no pueden haber riesgos de fugas en plataformas de semejante tamaño se suele instalar unos sistemas de materiales impermeabilizantes, los cuales suelen ser materiales sintéticos o polímeros de diversa naturaleza, textura y resistencia. Estos materiales reciben nombre comerciales tales como geomembranas o geosintéticos, entre dichos materiales podemos mencionar el Hypalon, Polietileno de alta densidad, Polietileno de baja densidad, PVC; dependiendo de la instalación se pueden usar geonets, geotextiles, y como ya se dijo eventualmente pueden ser una combinación de varios materiales. Las plataformas previamente deben ser aplanadas y compactadas, muchas veces es necesario poner una capa de arcillas o hasta de asfalto.

Sobre la plataforma de lixiviación se instala un sistema de tuberías las que servirán para la colección de la solución, la misma que es recibida en la base del pad y es llevada a tanques de solución. En la parte superior, y una vez que el material ha sido colocado se instala un sistema de riego por goteo mediante tuberías, la solución es descargada según un flujo determinado. Dicha solución contiene los reactivos necesarios, es decir el cianuro de sodio, aunque la cal para alcalinizar el material se suele colocar junto con el mineral. Este tipo de plantas permiten el tránsito de camiones que descargan el material

Las operaciones de lixiviación en monto suelen ser de alto tonelaje y de bajos, es por esta razón que permite procesar mineral es de leyes muy bajas. Tales el caso de la minera Yanacocha, que se ubica en Cajamarca lo que le permite se la mina de oro mas grande de Latinoamérica procesando leyes de cabeza debajo de un gramo por tonelada métrica

## **B. Vat Leaching**

Por ser esta una operación adecuada a la minería de pequeña escala se le describirá detalladamente

### **LA OPERACIÓN**

La siguiente es una descripción de una típica operación metalúrgica en Vat Leaching, Aunque algunas diferencias operativas mínimas existen, en general estas operaciones tienen patrones típicos.

### **Chancado**

El mineral llegado de la mina es chancado con el uso de chancadoras de quijadas o manualmente hasta conseguir un tamaño adecuado, de aproximadamente – 3/4". Como también es posible procesar relaves de amalgamación, es ese caso el chancado es innecesario.

### **Molienda**

El mineral chancado es introducido en molinos de bolas, una vez cargado es cerrado y se realiza la molienda durante una hora y media aproximadamente. Concluida la molienda el molino es descargado y el mineral pulverizado (polvado) es dispuesto en la zona de aglomeración.

Una molienda adecuada de cualquier mineral sería aquella en la que se haga la operación en forma continua (con entrada y salida del mineral en forma simultánea) mediante el uso de agua, porque además se tendría una granulometría ideal (tamaño de partículas medido en mallas tyler), por ejemplo para cianuración suele ser 80% de las partículas de mineral a malla 200. Pero esta calidad de molienda no solo se obtiene por el uso de agua para arrastrar las partículas finas sino porque un sistema de molienda continuo cuenta con equipos de clasificación, de manera tal que las partículas que no alcanzaron el tamaño adecuado (las más grandes) regresen al molino para ser remolidas. Uno de los sistemas más apropiados de clasificación es aquel que usa Hidrociclones (que funcionan con agua)

También es posible la molienda en seco en forma continua mediante la aplicación de aire, este tipo de molienda es típica de la molienda de minerales no metálicos en los que no se puede usar agua. En este caso la clasificación se hace mediante el uso de Ciclones (que funcionan con aire)

### **Aglomeración**

El mineral o relave seco es mezclado con cemento y cal (para dar alcalinidad protectora), en general el consumo de cemento oscila alrededor de 12 kilogramos por TM de mineral o relave, la cal dependiendo de la acidez del mineral, en alrededor de un kilogramo por TM de mineral o relave. Una vez efectuada una primera mezcla, que en general se hace manualmente, se procede a humedecer la mezcla con una solución de cianuro concentrada que suele ser de alrededor del 80% de todo el cianuro a usarse en el tratamiento; el otro 20% se suele terminar de agregar durante los siguientes días de la operación. En esta etapa de aglomeración es posible hacerla manualmente o usando un aglomerador cilíndrico por cuyo interior se adiciona la solución concentrada de cianuro. El material aglomerado es depositado en la poza de lixiviación, siempre teniendo cierto cuidado de no dañar demasiado los "pellets" de material a ser procesado.

### **Curado**

No es otra cosa que un reposo de la pulpa, es decir el material con los reactivos y ya aglomerado, en esta etapa lo que se hace es dejar el material en reposo para que ocurra la reacción de disolución del oro, y que se dan en un ambiente muy aeróbico (con mucho oxígeno del ambiente), pero también para que el cemento y la cal actúen con las arcillas y los "pellets" tomen consistencia. Generalmente el tiempo de reposo no es más de 24 horas desde que se concluyó el llenado de la

poza, y es en esta etapa donde se disolverá alrededor del 90% de todo el oro que se ha de disolver durante toda la operación. Solo un diez por ciento se disolverá en el resto del tiempo de la operación. Tomar en cuenta que no se trata del oro total contenido en el material, sino de solo aquel que se ha de disolver.

### **Riegos o lavados**

Esta etapa consiste en lavados sucesivos para extraer el oro disuelto (y disolver alrededor del 10 % del total soluble), los lavados son necesarios para disminuir la concentración del oro de la solución, solución que es retenida en el mineral aglomerado como humedad, esta humedad del material es alrededor de 18%. Lo que se ha de buscar con los sucesivo lavados es llevar la concentración del oro en solución a menos de 1.0 mg/l, o hasta donde sea disminuirla rentablemente. Se suelen hacer entre 12 y 15 riegos o lavados con la solución que recircula en circuito cerrado.

### **Adsorción**

La solución que recircula a contracorriente lo hace a través de columnas de carbón activado en lecho fluidizado, generalmente el carbón necesario se distribuye en 4 o 5 columnas de fierro o PVC. Se usa carbón activado granulado de una malla adecuada con capacidades de adsorción operativa de alrededor de 5 ó 6 gr. Au / Kg. de carbón. Lo adecuado es cosechar las 3 ó 4 primeras columnas ya que la ultima concentra muy poco metal por lo que es conveniente usarla en el siguiente proceso.

### **Desorción**

Es el proceso inverso y consiste en la reextracción de los metales concentrados en el carbón mediante el uso de una solución de cianuro alcalino y caliente. En este proceso las soluciones conteniendo el oro están altamente concentradas y se somete dicha solución a la acción de la corriente continua de bajo voltaje y se obtiene de este modo un precipitado (cemento) que luego es refinado o purificado y fundido en barras de buena aceptación comercial

### **Comercialización**

El oro obtenido es comercializado en óptimas condiciones dado que los márgenes de maquiladores desaparecen y los mineros obtiene todos los beneficios. Eventualmente los comerciantes están dispuestos a financiar este tipo de operaciones por que les garantizan una producción constante y no de lotes erráticos. Adicionalmente es posible efectuar fijaciones de precios de los lotes en proceso a efectos de estar protegidos de la volatilidad de los precios.

Como puede observarse, este tipo de operación es muy sencilla y por esa razón algunos grupos de mineros la viene aplicando, en particular en la zona de Pataz, en la sierra norte del país, en plantas portátiles Vat Leaching de geomembranas (Vinimantas) en las que solo es necesario el uso de una motobomba siendo la aglomeración de manera manual. También en Nazca ya algunos mineros ha instalado pequeñas operaciones similares.

El relave residual puede ser almacenado en botadero impermeabilizados a efecto de evitar cualquier eventual contaminación por soluciones de cianuro, adicionalmente estos botaderos, o canchas de relave, permiten tener ingresos por

recuperaciones marginales de oro dado que la reacción de disolución continúan aun después de haber concluido la operación.

En las operaciones de amalgamación, mayoritariamente en quimbalete, se tiene altos consumos de mercurio, alrededor de 100 gr. por cada tonelada procesada y otro 100 gr. como vapor de mercurio de la amalgama resultante, ambos en promedio.

Si se tiene una mejoría de los ingresos por mejoramiento de los márgenes en el procesamiento metalúrgico, dado que este proceso es muy económico, entonces será posibles extraer de manera económica reservas minerales que actualmente no son aprovechadas.

### **REQUERIMIENTOS DE INVERSIÓN PARA UNA OPERACIÓN DE 30 TM DE CAPACIDAD**

#### **a) Activos**

Nombre	Cantidad	US\$
Moto Bomba	1 Un.	250,00
Poza de Cianuración	1 Un.	600,00
Poza de Solución	1 Un.	250,00
Columnas	2 Un.	150,00
Carbón Activado	100 kg	400,00
Otros		350,00
<b>Total</b>		<b>2000,00</b>

#### **b) Materiales y reactivos (Para una campaña)**

Nombre	Cantidad	US\$
Cianuro	45 kg.	90,00
Cal	60 kg.	20,00
Cemento	8 Bolsas	80,00
Otros		100,00
<b>Total</b>		<b>290,00</b>

#### **c) Servicios**

Nombre	Cantidad	US\$	US\$
Desorción	100 kg	1,00	100,00
Análisis	3 Un.	20,00	60,00
Movilidad			70,00
Mano de Obra			100,00
Otros			100,00
<b>Total</b>			<b>430,00</b>

**Costo Unitario aprox. = US\$ 24,00/TM**

**CONDICIONES DE OPERACIÓN TÍPICAS**

pH	:	10.5
Tiempo	:	10 días
Cianuro	:	0.05%
Ley Sol. Cola	:	1.0 gAu/m <sup>3</sup> (menos de)