

UNIDAD IV: BENEFICIO DE MINERALES AURIFEROS

INTRODUCCION

La cianuración es muy exitosa en la extracción de partículas de oro libre y electrum finos. Las partículas de oro grueso, superiores a 50 micrones, no se disuelven eficientemente en los tiempos de contacto usuales. Por lo tanto, este oro grueso se debe extraer con otro proceso. Minerales huéspedes tales como calcopirita, minerales secundarios de cobre, calcosina, covelina, pirrotina y otros óxidos, originan problemas porque se combinan con el cianuro y generan alto consumo. Estos minerales no solo crean el problema del consumo, las soluciones, además, tienen una alta concentración de cobre.

Cuando el oro se presenta en finas inclusiones en los minerales huéspedes, este puede ser recuperado por cianuración, siempre que exista una superficie expuesta que permita el contacto con la solución.

BENEFICIO DE MINERALES DE ORO

Los minerales de oro son los más buscados y explotados. La mayor parte de los desarrollos tecnológicos en minería están relacionados a la extracción del oro. Dadas sus propiedades físicas tan particulares, se aplican casi todos los procesos de concentración conocidos, ya sea solos como combinados.

CONCENTRACION GRAVITACIONAL

Es el método más adecuado por la gran diferencia entre los pesos específicos del oro (19,3), los minerales de ganga (2,7) y los posibles acompañantes (entre 4,5 y 7,5), sobre todos si el oro está en gran parte, como partículas libres y en tamaño grueso. Las partículas superiores a 200 micrones se recuperan con mucha eficiencia. La limitante de este proceso es el consumo de agua, lo que lo hace inaplicable a zonas áridas.

Los yacimientos que mejor se prestan para el proceso gravitacional son los aluviones. Estos depósitos están formados por gravas gruesas y finas, arenas y minerales pesados. El proceso consiste en desagregar los elementos gruesos y

finos, eliminar los cantos rodados, y tratar las arenas para recuperar los pesados y extraer el oro.

Para que la operación sea eficiente y económica, el minado se hace con una draga. Los equipos se montan sobre una balsa que se desplaza en la medida que avanza la explotación, y el material estéril, que es el mayoritario, se va depositando nuevamente. El tratamiento de las arenas se puede hacer en jigs, mesas o concentradores centrifugos. Los minerales pesados que se reportan en el concentrado, junto con el oro, son arenas oscuras, generalmente oxidados, que pueden eliminarse por separación magnética.

CONCENTRADORES CENTRIFUGOS

Los concentradores centrifugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica de oro. Todos los concentradores centrifugos operan con el mismo principio, básicamente, un recipiente que al rotar efectúa la separación gravitacional de la carga en un campo centrifugo.

Como promedio, el tamaño de las partículas aptas para este proceso varía entre 30 micrones y 1 mm. La recuperación de oro libre es satisfactoria bajo las siguientes condiciones:

- Alimentación clasificada en rangos de tamaño bien delimitados.
- Presencia de pocos minerales pesados acompañantes y de tamaño grueso.

Una desventaja de los equipos actuales es que el equipo por lo general no trabaja verdaderamente de manera continua, es decir, la operación debe ser periódicamente interrumpida para descargar el concentrado retenido en el lecho del cono del concentrador.

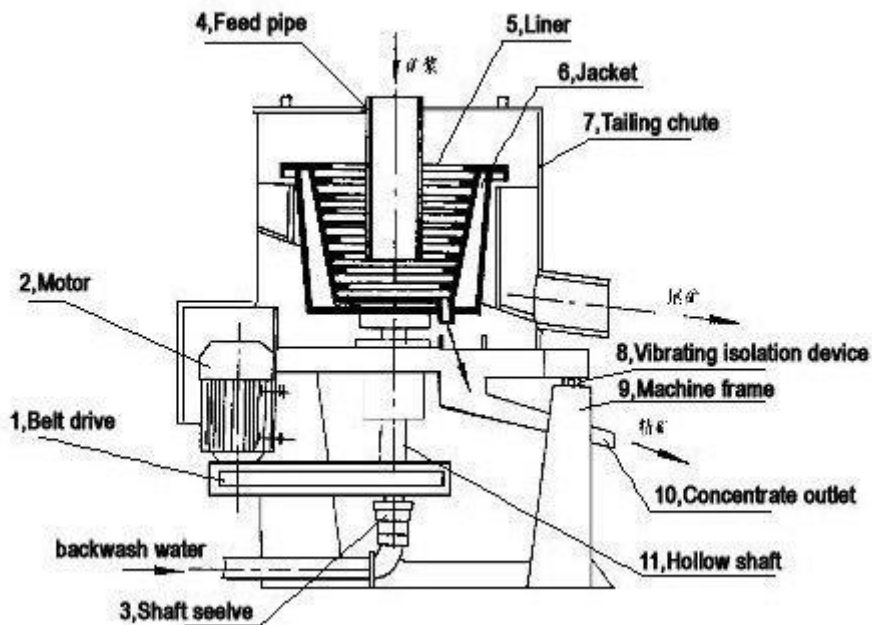
Recientemente han sido desarrollados los concentradores centrífugos de efusión semi-continua o continua (equipos Falcon y Knelson).

Ventajas:

- Buena recuperación (en ciertas condiciones).
- Alta capacidad.
- Equipo compacto.
- Alto factor de enriquecimiento.
- Alta seguridad contra robo.

Concentrador centrífugo Knelson

Consiste de un cono perforado con anillos internos y que gira a alta velocidad. La alimentación, que en general debe ser inferior a 1/4", es introducida como pulpa (20-40% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillos, los cuales retienen las partículas más pesadas, mientras que, las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas por arriba de los anillos para el área de descarga de relaves en la parte superior del cono.



Hay una variación del campo centrífugo con la altura del cono. Así, en los anillos inferiores, hay una tendencia a recuperar las partículas mayores del mineral de mayor densidad, en cuanto a los anillos superiores, donde el radio del cono es mayor (es decir, mayor fuerza centrífuga), allí los minerales más finos aún pueden ser recuperados.

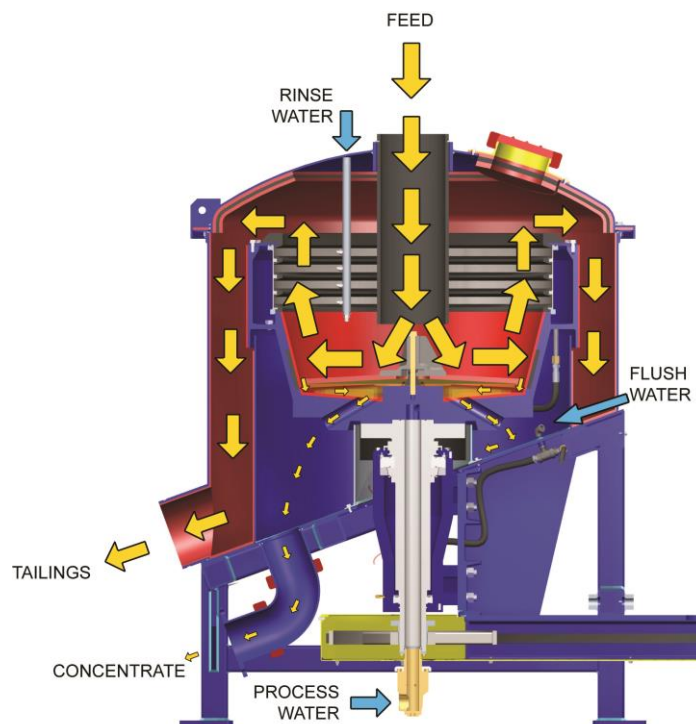
La compactación del material del lecho se evita por la inyección de agua a través de los orificios en los anillos.

Al final de un periodo de operación (en torno de 8-10 horas) el concentrado que queda en los anillos es colectado y se retira por el fondo del cono.

Concentradores centrífugos Falcon

Este equipo presenta diferencias en relación al Knelson, principalmente en lo que se refiere a la velocidad de rotación. En el concentrador Falcon, el campo centrífugo es cerca de 5 veces mayor que el del concentrador Knelson.

El concentrador Falcon consiste de un bolo cilíndrico-cónico que gira a alta velocidad en el interior de una camisa fija cuya función es colectar el relave. La pulpa se alimenta en el fondo del cono, es acelerada y se va estratificando a medida que asciende en el rotor.



CIANURACION



Los procedimientos mecánicos siempre fueron muy limitados, por lo que el hombre ha buscado disolventes para aumentar su producción, encontrándose al cloro y posteriormente al cianuro de potasio o sodio, como disolventes para recuperar oro de baja ley, pero que se encuentra en grandes yacimientos como el oro disseminado, y los grandes placeres.

Soluciones diluidas de cianuro disuelven el oro y la plata en forma preferencial a otros minerales. El procedimiento consiste en disolver el oro con el auxilio del

oxígeno, bien en cianuro de potasio o también en cianuro de sodio, siendo este último más barato, para transformar el oro en sales.

En la práctica la concentración se expresa en kg o gramos por m³ de solución, concentraciones de 250 g a 1.5 kg/m³ son el rango de trabajo.

Algunos constituyentes de la mena reaccionan con el cianuro perjudicando la disolución, estos se conocen como minerales o sustancias cianicidas. Entre los principales tenemos el cobre, el hierro y el arsénico.

Para evitar las pérdidas de cianuro por hidrólisis y contrarrestar el efecto de los cianicidas, se trabaja a pH alcalino, normalmente superior a 10. El consumo depende del mineral, el rango en este caso es de 1 a 5 kg/t.

En la cianuración es de fundamental la participación del oxígeno.

En cuanto a la temperatura, un aumento moderado de calor aumenta la solubilidad del oro.

PRACTICA DE CIANURACION

La aplicación industrial de la cianuración se puede dividir en dos tipos de operación, la cianuración por agitación y la cianuración por percolación.

La primera es más costosa pero asegura una mayor extracción de oro, del orden de 90% y superiores al 5 g/t. Consiste en la molienda en molinos de bolas en presencia de cianuro. En este tipo de operaciones la pulpa, sea la mezcla de líquido (solución lixivante) y sólido (mineral) 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. Frecuentemente este tipo de operaciones pueden ser continuas, o sea que en simultáneo 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 desde un primer tanque y a lo largo del proceso va fluyendo hasta un último tanque, donde ya se le ha extraído el oro al mineral, este tipo de operación el proceso suele requerir de un tiempo de proceso de entre 12 a 48 horas de agitación. Aunque eventualmente puede haber materiales que requieran un mayor tiempo si la intención es alcanzar mayores recuperaciones, sin embargo, el alcanzar altas recuperaciones resulta

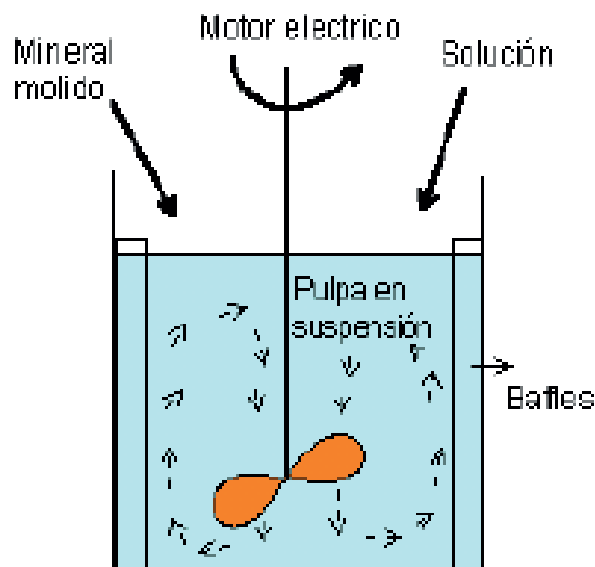
siendo lo menos rentable. Los tanques pueden ser de diversas capacidades, sin embargo, se recomiendan un mínimo de tres tanques, en caso sea una planta continua, ya que de esta forma se obtiene un buen remezclado.

Tanques agitadores mecánicos.

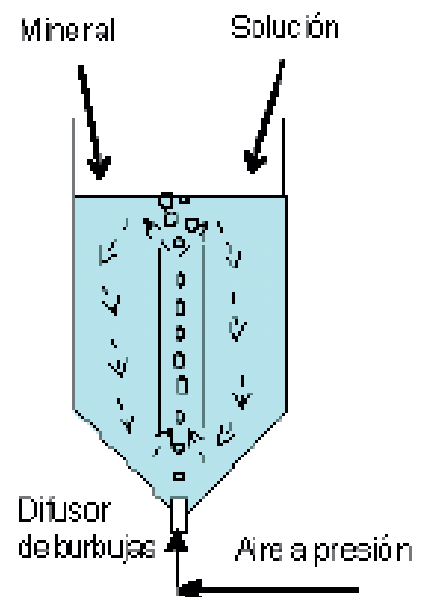
En este tipo de operación se usan en plantas en las que la pulpa circula en tanques de metal, usualmente cilindricos, en los que el material solido es mantenido en suspensión agitada mediante el uso de impulsores metálicos.

Tanques agitadores neumáticos.

Es una operación similar a la anterior, es decir que también se trata 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, 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.



(a) Agitación mecánica

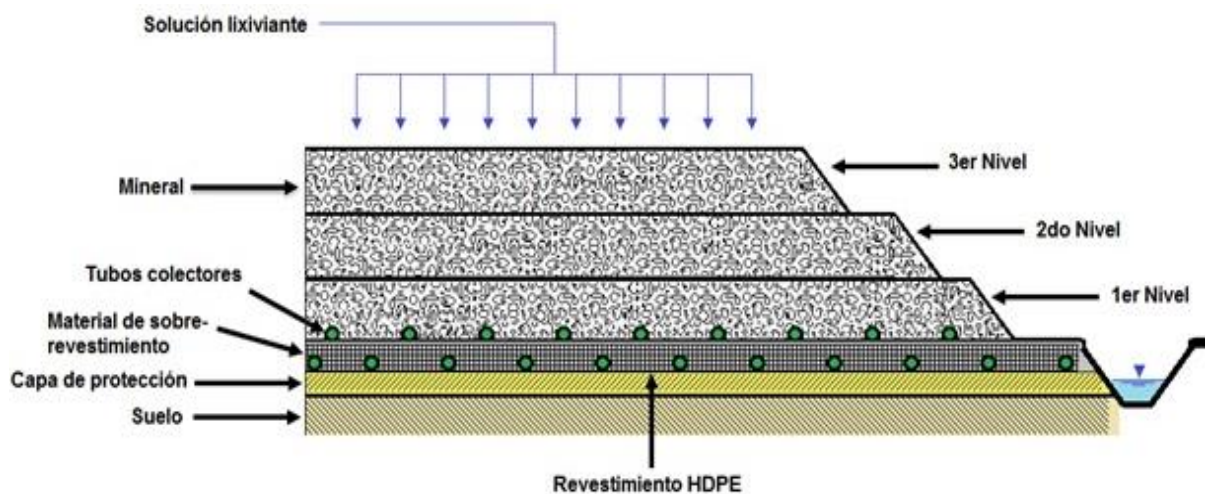


(b) Agitación neumática

Percolación

En la percolación, la carga de mineral permanece estática y la solución percola a través de ella. En la mayoría de los casos el mineral puede ser procesado tal como sale de la explotación. El tamaño de partícula de mineral puede ser obtenido, según el tamaño deseado por la planta, mediante la fragmentación por la voladura,

esto se realiza ajustando la malla de perforación. En ocasiones el mineral debe ser sometido a operaciones de trituración antes de ser transportado a las pilas 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. Para evitar riesgos de fugas en plataformas de semejante tamña se suelen instalar unos sistemas de materiales impermeabilizantes, los cuales suelen ser materiales sintéticos o polímeros de diversa naturaleza, textura y resistencia. 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 y es llevada a tanques o piletas 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 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. Las operaciones de lixiviación en pilas suelen ser de alto tonelaje, es por esta razón que permite procesar minerales de leyes muy bajas.

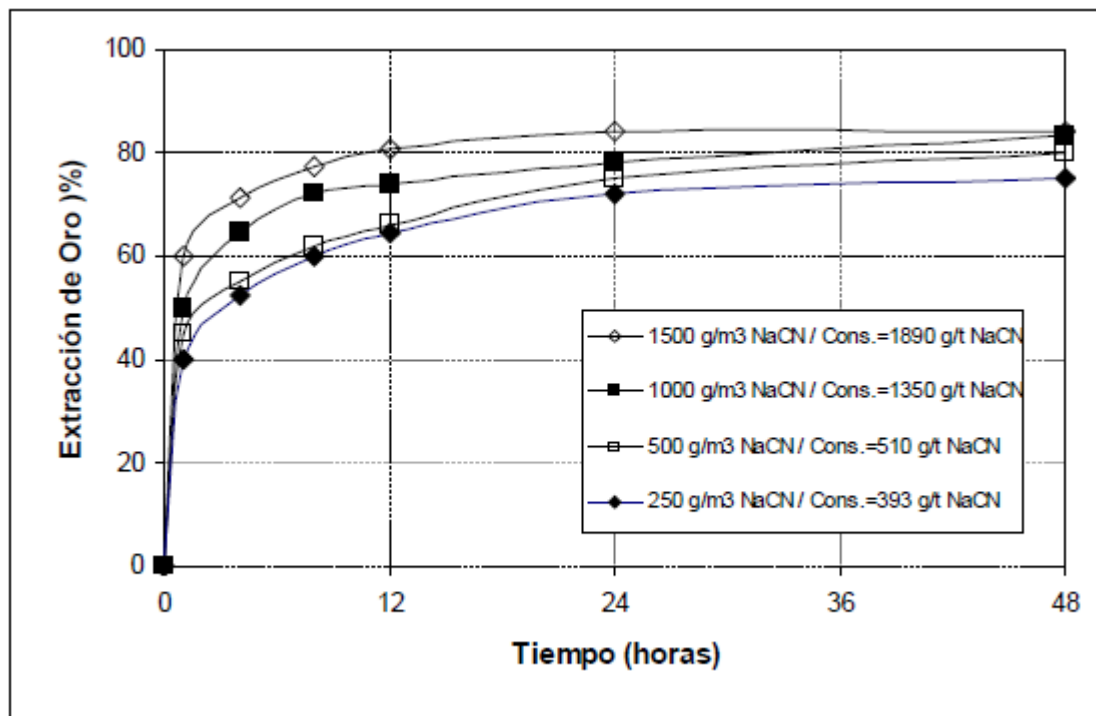


Factores que influyen en la lixiviación.

1. Concentración de cianuro.

La concentración de cianuro en la solución se expresa en gramos por m³ de solución ($\text{g/m}^3 = \text{mg/l} = \text{ppm}$). La concentración más usual es de 500 g/m³, pero varía de 300 a 1700 g/m³. La extracción de oro aumenta con la concentración de cianuro, hasta un cierto límite, pero de la misma forma también aumenta el consumo de cianuro. El consumo de cianuro se expresa en kg por tonelada de mineral. El consumo depende de la concentración de

cianuro en la solución, de la composición mineralógica y de las condiciones de operación. Los consumos usuales varían entre 0,2 y 3 kg/t
Por ej. en ensayos de lixiviación por agitación de un mineral de 4.4 g/t Au, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura, cuando se emplearon soluciones de 250, 500, 1000 y 1500 g/m³ de NaCN. Además, se ha informado el consumo de NaCN obtenido en cada caso. Obsérvese que al emplear soluciones de mayor concentración de oro, se obtienen mayores extracciones de oro, pero también mayores consumos de este reactivo.



2. pH

El uso de la cal en solución para mantener un pH de 10,5 a 11 (alcalinidad protectora) cumple las funciones de:

- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis:



- Prevenir o evitar las pérdidas de cianuro por acción de dióxido de carbono del aire:



- Neutraliza los componentes ácidos resultantes de la descomposición de los diferentes minerales de la mina en la solución de cianuro.

- Neutraliza los componentes ácidos tales como sales ferrosas, férricas y el sulfato de magnesio contenidos en el agua antes de adicionar al circuito de cianuración.
- Facilita el asentamiento de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica y clara de la mena cianurada.

Se puede emplear cal viva (CaO) o cal apagada (hidróxido de calcio). El consumo de cal depende de la mineralogía del yacimiento. Los valores usuales pueden variar entre 0,5 y 5 kg. de cal viva por tonelada de mineral (0,5-5 kg/t). La cal puede adicionarse en la molienda o se mezcla, en polvo, con el mineral triturado al construir la pila. Otra forma de agregar la cal es en forma de lechada

3. Temperatura

El suministro de calor a la solución de cianuro en contacto con oro metálico, produce fenómenos que afectan la velocidad de disolución. El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por consiguiente la velocidad de disolución del oro, al mismo tiempo, la cantidad de oxígeno en la solución disminuye porque la solubilidad de los gases decrece con el aumento de la temperatura. En la práctica el uso de soluciones calientes para la extracción del oro, resulta desventajosa por el elevado costo, por lo que usualmente, se lixivia a temperatura ambiente.

4. Granulometría

El tamaño de la partícula de mineral tiene influencia sobre la extracción de oro, dado que influye directamente sobre la liberación de este metal. En general se obtienen mejores extracciones de oro al disminuir el tamaño de la partícula del mineral, pero también juega un rol importante la mineralogía. Al emplear muestras de menor granulometría, se obtienen mayores extracciones de oro, pero también mayores consumos de cianuro. Esto se debe a que al aumentar el grado de molienda, no solo se mejora la liberación del oro sino también la de otras especies que consumen cianuro (especies cianicidas).

5. Otros

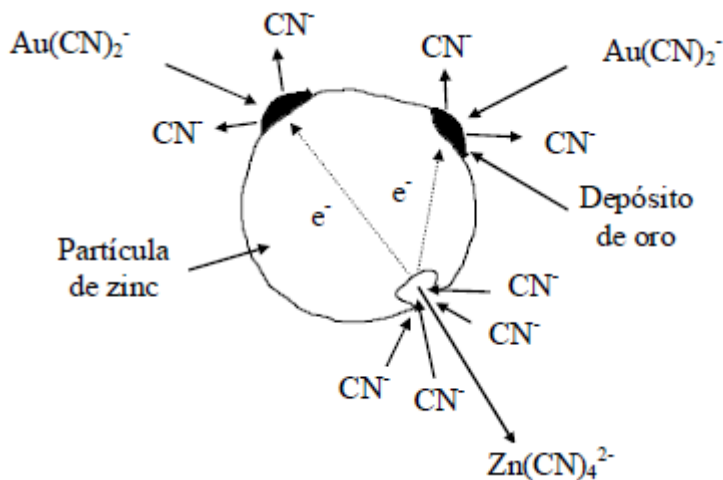
El tiempo de lixiviación es una variable a tener en cuenta. Si se emplea lixiviación en pila o en valle, este puede variar de 30 a 90 días, ya que el mineral está triturado. En el caso de lixiviación por agitación que el mineral está molido, el tiempo requerido puede ser de 20 a 60 horas. La presencia de minerales cianicidas también afecta la cianuración. Estos minerales reaccionan con el cianuro produciendo un consumo mayor.

RECUPERACION DEL ORO DE LAS SOLUCIONES

Precipitación con zinc

Para una efectiva recuperación de Au y Ag la solución debe estar absolutamente clara, y libre de materia coloidal. Este objetivo se logra con clarificadores o filtro y la solución se almacena en tanques para manejar con flexibilidad la precipitación.

La precipitación con zinc se efectúa por depositación del oro sobre la superficie de partículas de zinc.



Adsorción en carbón activado

La precipitación con zinc tiene 2 inconvenientes, la solución debe estar perfectamente clarificada y además no es adecuado para tratar soluciones con baja concentración de Au. Estos problemas no se presentan en la adsorción del carbón activado.

El carbón activo posee la capacidad de adsorber metales preciosos, debido a su gran área superficial de 500 - 1500 m^2/gr y por su gran porosidad debido a su

estructura carbonosa que pone a disposición del sistema una superficie enorme para adsorber diversas especies. En condiciones normales un carbón carga con 5 a 10 kg de oro / tonelada de carbon