

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Departamento Federal de Economía,
Formación e Investigación DEFI
Secretaría de Estado para Asuntos Económicos SECO

SBGA
SWISS
BETTERGOLD
ASSOCIATION

MANUAL DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA EL SECTOR AURÍFERO


Ministerio de Minería
y Metalurgia


BGI Bolivia
Oro Responsable



El precio internacional del oro ha subido fuertemente en los últimos 20 años. En los años 90 el precio fluctuaba entre US\$ 220 y US\$ 400 por onza troy (31,1 gramos). Hoy en día el precio está alrededor de US\$ 1.500, por onza troy. Como consecuencia las actividades de la minería artesanal y de la minería pequeña para producir el metal precioso han subido fuertemente, no solamente en Bolivia sino en muchos países en vías de desarrollo en América Latina, África y Asia. En Bolivia existen actualmente 1400 cooperativas mineras auríferas. Lamentablemente este nuevo auge de la minería aurífera no ha llevado un desarrollo positivo a las zonas mineras, sino muchas veces hoy en día siguen existiendo los problemas ya conocidos, entre otros medio-ambientales, sociales, de seguridad ocupacional, laboral.

Desde hace más de 25 años la Cooperación Suiza viene apoyando al sector de la pequeña minería en Bolivia. Inicialmente con el “Programa Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería” conocido como MEDMIN; actualmente con la “Iniciativa Oro Responsable – BGI”. Con el Programa MEDMIN se ha trabajado intensamente en la protección ambiental, hoy en día con el Programa BGI el trabajo está enfocado en toda la cadena desde la mina hasta el mercado ofreciendo incentivos comerciales para los mineros cuando producen su oro responsablemente. El apoyo de la Cooperación Suiza siempre estuvo encaminado al trabajo con las Cooperativas Mineras Auríferas y sus Federaciones.

El Programa MEDMIN ha generado mucha experiencia en la asistencia técnica en relación al procesamiento/beneficio de los minerales y ha publicado en su época guías técnicas. La mayoría de estas guías tenían el objetivo de apoyar a los mineros en la aplicación de técnicas sencillas para reducir las emisiones de mercurio. Bolivia ha firmado y ratificado el Convenio de Minamata para el control del mercurio. Sin embargo, hoy en día el uso del mercurio en la minería aurífera boliviana sigue siendo un problema agudo que requiere soluciones urgentes y pragmáticas. Con estas guías técnicas actualizadas queremos dar un impulso a las cooperativas mineras auríferas para que puedan mejorar su eficiencia en la producción, al mismo tiempo reducir las emisiones de mercurio y contribuir a la mejora de la realidad ambiental, de salud de los mineros y las comunidades aledañas.

Thomas Hentschel
Director Iniciativa Oro Responsable – BGI
Octubre 2019

El Proyecto Better Gold Initiative BGI y la Fundación MEDMIN, en cumplimiento de sus objetivos, ponen a disposición del sector de la pequeña minería aurífera del país el presente manual técnico, que contiene aspectos básicos de temas relacionados con el uso de equipo y maquinaria apta para la explotación de oro, el cuidado del medio ambiente y la salud del trabajador minero.

Está claro que sin una asistencia técnica adecuada, los mineros no pueden cumplir con la norma más precisa tal como lo concibe el Convenio de Minamata y a falta de la mencionada asistencia tampoco se puede argumentar y demostrar in situ que una minería más eficiente puede ser también más rentable y menos contaminante. Los métodos de procesamiento aplicados actualmente en el país, están catalogados por el Convenio entre las "peores prácticas"; nos referimos específicamente a la molienda y amalgamación simultánea de materia prima (amalgamación de mineral entero) en circuito abierto. Lo que se requiere de manera urgente y pragmática es retomar y aplicar el concepto de las denominadas tecnologías limpias o tecnologías de reducción de mercurio que demuestren prácticamente el aumento de los ingresos y las ganancias por la mejora en los procesos de beneficio, paralelamente a la reducción del impacto ambiental.

Los actuales sistemas de beneficio de minerales auríferos, pueden ajustar sus actividades tanto técnica como ambientalmente en las diferentes etapas del proceso, mediante la implementación de los equipos y maquinaria adecuada, sin costosas inversiones, ni grandes modificaciones en la línea de producción. Con este propósito, el manual está dividido en una serie de guías técnicas con un carácter esencialmente práctico, de modo que el distinguido lector pueda encontrar la información de su interés de manera rápida, clara y concreta.

Para una mejor comprensión de los conceptos, se presentan ilustraciones gráficas, las mismas que en la mayoría de los casos reflejan el trabajo cotidiano de las personas dedicadas al beneficio de minerales auríferos en las distintas regiones geográficas que conforman el país.

Todo proyecto minero-metalúrgico, sea cual fuere su envergadura, debe necesariamente atravesar por diferentes etapas antes de llegar a constituirse en una actividad técnicamente eficiente, económicamente rentable, ambientalmente adecuada y ser socialmente aceptada.

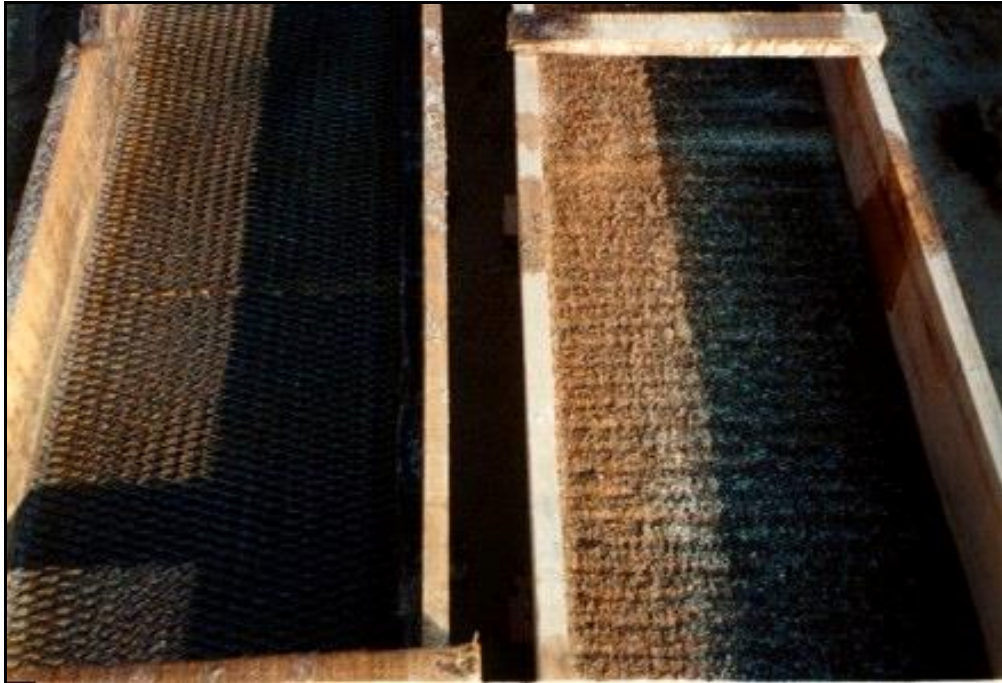
Plantas o ingenios que no utilizan mercurio en circuito abierto son técnicamente posibles, económicamente viables y ambientalmente sostenibles; lo único que se requiere es mejorar sobre todo los circuitos de molienda, concentración gravimétrica y optimizar la amalgamación en circuito cerrado. Operadores mineros con ganas de cambiar y mejorar sus procesos existen, más que todo

por beneficio económico que les reportaría, así como mejorar la imagen de sus operaciones productivas y la aceptación de la sociedad.

Desde esa perspectiva, este manual pretende ser una contribución más a la solución de los problemas técnicos y ambientales generados por el sector de la minería aurífera de pequeña escala, permitiendo la correcta aplicación de la normativa y la legislación vigente, así como el cumplimiento de los acuerdos internacionales por parte del país, en el tema de uso y manejo del mercurio.

Félix Carrillo C.
Asesor Técnico
Proyecto BGI

LA CANALETA



La canaleta es el instrumento más antiguo para concentrar oro. Existen muchas formas y tipos de canaletas, tanto para trabajar oro primario (en vetas) como oro aluvial (en veneros).

VENTAJAS

- Bajo costo
- Alta capacidad
- No necesita energía.
- Buena recuperación (en caso de un buen diseño y manejo).
- Fácil operación.
- Alto grado de concentración.

COMO FUNCIONA UNA CANALETA

Una canaleta es un canal por el cual pasa la pulpa (agua con sólidos). Los sólidos pesados bajan al piso (se hunden) y quedan atrapados en diversas trampas, mientras que a los sólidos livianos se los lleva la corriente de agua hacia fuera.

El funcionamiento de la canaleta está determinado por los siguientes factores:

- Diseño ancho
 largo
 tipo de piso (trampas)
- Operación cantidad de carga/hora
 caudal de agua
 inclinación
 frecuencia de lavado de alfombras
- Carga granulometría (tamaño de grano alimentado)
 cantidad de minerales pesados acompañantes
 contenido de lodos (lamas)

Existen dos tipos básicos de pisos, que influyen en la recuperación del oro.

1) Trampas gruesas, que pueden ser rejillas metálicas o piedras, a veces colocados encima de alfombras.

De esta manera, la pulpa tiene mucha turbulencia. Las rejillas se prestan para recuperar principalmente oro grueso, pero pierden generalmente la mayor parte del oro fino. Además, se recupera mucho volumen de preconcentrado, que dificulta y aumenta el trabajo de limpieza para obtener el producto final.

2) Piso con alfombras (bayetas, frazadas, diferentes tipos de alfombras, etc.)

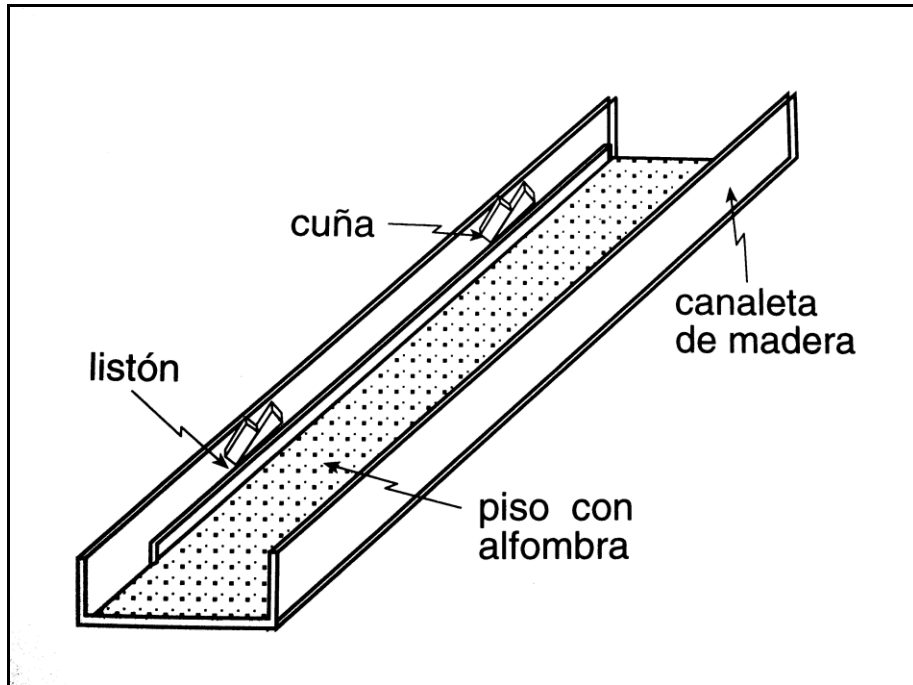
De esta forma, la pulpa tiene poca turbulencia. Se recupera muy bien el oro fino, en un volumen reducido de preconcentrado. Según el tipo de carga (con poco o mucho contenido de otros minerales pesados), correspondientemente puede requerirse de un lavado poco o muy frecuente de alfombras.

En el caso de tener una carga con oro fino y grueso simultáneamente, se recomienda tamizar la carga y tratar cada tamaño en canaletas separadas y apropiadas.

OPERACIÓN DE LA CANALETA

Por la variedad de cargas que pueden ser tratadas, no se puede dar recomendaciones específicas sobre la aplicación de canaletas. En general se deben seguir las siguientes reglas:

- a) En minería aluvial, eliminar antes las piedras estériles gruesas. El grano más grande de la alimentación no debe superar con mucho al tamaño más grande del oro presente.
- b) La carga debe ser tratada según el tamaño de oro, utilizando diferentes tipos de trampas:
 - Oro grueso, similar y mayor al tamaño de un grano de arroz.
 - Rejillas metálicas hechas con fierro angular de 1" x 1" o metal expandido, asentadas sobre alfombra del tipo "Nomad".
 - Oro mediano, comprendido entre el tamaño de grano de arroz y grano de azúcar, u oro laminado:
 - Alfombra tipo "Nomad" o "Multiouro acanalado", sin el uso de rejillas.
 - Oro fino, polvo como la harina:
 - Alfombra tipo "Multiouro liso", bayeta de lana o frazada doméstica.
- c) La inclinación de la canaleta debe ser tal que la carga no se sedimente (empleye) sobre el piso, generalmente entre 10 y 20 % (10 a 20 cm de caída por cada metro de canaleta). En general, la inclinación se determina experimentalmente.
- d) La frecuencia del lavado de alfombras depende del tonelaje tratado y del contenido de minerales pesados acompañantes. Generalmente en la minería aluvial se realiza un alza por día, en cambio en la minería primaria hay que lavar las alfombras a veces cada hora, especialmente si hay mucha presencia de pirita o arsenopirita. Intervalos de tiempo mayores entre lavado y lavado ocasionan pérdidas significantes del material valioso.
- e) La consistencia de la pulpa (relación carga: agua) debe ser de 1:4; vale decir, por cada tonelada de material sólido alimentado a la canaleta, se debería usar cuatro toneladas o metros cúbicos de agua.



Nota: ¡Nunca utilizar mercurio dentro de la canaleta..! Esto ocasionaría altas pérdidas de oro fino en forma de flóculos de amalgama y de mercurio en forma de harina que contamina el medio ambiente.



LA ESPIRAL



La espiral es un aparato para separar minerales pesados de la ganga liviana. Puede ser utilizado por ejemplo para separar oro y pirritas del cuarzo. En Bolivia se lo utiliza en la minería aurífera primaria (de vetas), y también en la minería del estaño.

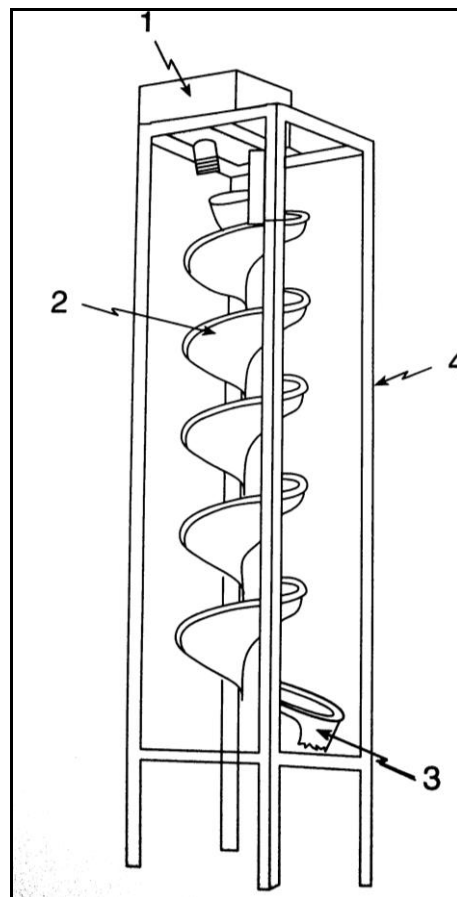
VENTAJAS

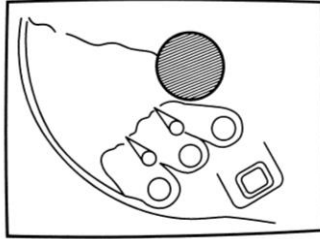
- Manejo simple
- Buena recuperación.
- No requiere energía.
- Alta capacidad (hasta 50 toneladas por día para una espiral simple).
- Precio moderado.

DESCRIPCIÓN

La espiral consiste de las siguientes partes:

1. Cajón de alimentación.
2. Espiral de separación.
3. Salidas de productos:
 - a. concentrado
 - b. mixtos
 - c. colas
 - d. agua
4. Estructura metálica.





Cortadores de productos

Nota. *Algunos tipos más antiguos tienen cortadores-colectores de concentrado en cada vuelta de la espiral.*

COMO TRABAJA LA ESPIRAL

Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea (chúa), donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran hacia el centro. La espiral puede considerarse como un conjunto de chúas superpuestas y conectadas en serie.

Al final de la espiral, están las salidas de los productos (concentrado, mixtos, colas y agua). El agua generalmente contiene los lodos. Mediante los cortadores se puede definir el ancho de la ceja del concentrado y de los mixtos.

Según la posición de los cortadores, se pueden obtener los siguientes productos:

a) concentrado: piritas y oro (alta ley en oro)

mixtos: piritas (baja ley en oro)

colas: cuarzo

ó

b) concentrado: piritas y oro (baja ley en oro)

mixtos: piritas entrecrecidas (para remolienda)

colas: cuarzo

Las espirales que tienen cortadores-colectores de concentrado en cada vuelta, no producen mixtos.

La capacidad de una espiral simple está entre 20 y 50 toneladas/día. Se debe evitar la alimentación de material grueso mayor a 2 mm, debido a que puede obstruir la espiral. La densidad de pulpa óptima está entre 30 y 40 % en peso de sólidos, vale decir entre 2.5 a 1.5 toneladas de agua (ó m³) por una tonelada de sólidos. Para obtener esta relación líquido/sólido, a veces se necesita de un espesador antes de la espiral para eliminar el exceso de agua.

USO DE LA ESPIRAL EN LA MINERÍA AURÍFERA

La espiral se utiliza principalmente con las colas de los ingenios primarios (de vetas), para recuperar el oro y las piritas auríferas todavía existentes en estas. Así se pueden recuperar al máximo estos, evitando además la contaminación del medio ambiente con piritas. Por lo demás se obtienen colas deslamadas, que pueden retenerse en pozos de decantación; y las aguas lodosas en estanques de sedimentación para evitar la contaminación de los ríos. En caso de escasez de agua, se puede recircular la misma al proceso.

En un ingenio, existe la posibilidad de utilizar la espiral como concentrador primario, inmediatamente después del molino.



EL JIG



El jig es un equipo de preconcentración o concentración gravimétrico, muy utilizado en la minería tradicional y aurífera, que permite separar minerales de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación producida por diferentes medios. En la minería aurífera filoniana, los pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros (o por arenas negras en la minería aluvial); en tanto que los livianos están constituidos por el cuarzo, y diferentes tipos de rocas.

Existen diferentes tipos de jigs de acuerdo al principio de funcionamiento; se hará referencia específicamente a dos tipos de los de cedazo fijo, por ser los más difundidos en la minería boliviana: el jig hidráulico (Baltar) y el mecánico-hidráulico (Denver). La versión más rústica lo constituye el maritate, constituido por un cedazo móvil accionado manualmente sobre un cajón con agua.

En general todos los jigs están constituidos por las siguientes partes:

1. Mecanismo o dispositivo de pulsación.
2. Válvula de admisión de agua.

3. Canaleta de alimentación.
4. Celda de separación y cedazo (los hay de una o dos celdas).
5. Cama de separación (constituida por perdigones metálicos o guijarros de algún mineral pesado).
6. Tolva para la recepción de preconcentrados o concentrados.
7. Válvula de descarga de preconcentrados o concentrados.

1. JIG HIDRÁULICO

Se llama así porque la pulsación es producida hidráulicamente (presión de agua).

VENTAJAS

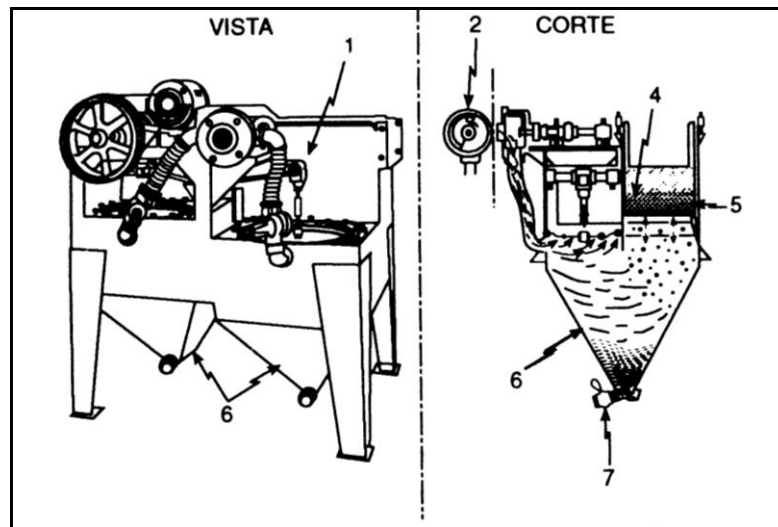
- De construcción simple.
- No requiere energía.
- Bajo costo de inversión y mantenimiento.

DESVENTAJAS

- Dificil ajuste.
- Requerimiento alto de agua.
- Requiere supervisión permanente.

2. JIG MECÁNICO

La pulsación requerida es producida mecánicamente por una biela y diafragma accionadas por un motor.



VENTAJAS

- Versátil, se puede adecuar a todo tipo de materiales.
- Ajustadas sus variables no requiere de mayor atención.
- Bajo requerimiento de agua.

DESVENTAJAS

- Requiere energía eléctrica para el motor.

3. OPERACIÓN DEL JIG

Las variables de operación son similares en todos los tipos de jigs:

- abertura de cedazo
- material para la cama

- agua de inyección,
- amplitud de golpe
- frecuencia de golpe
- régimen de alimentación

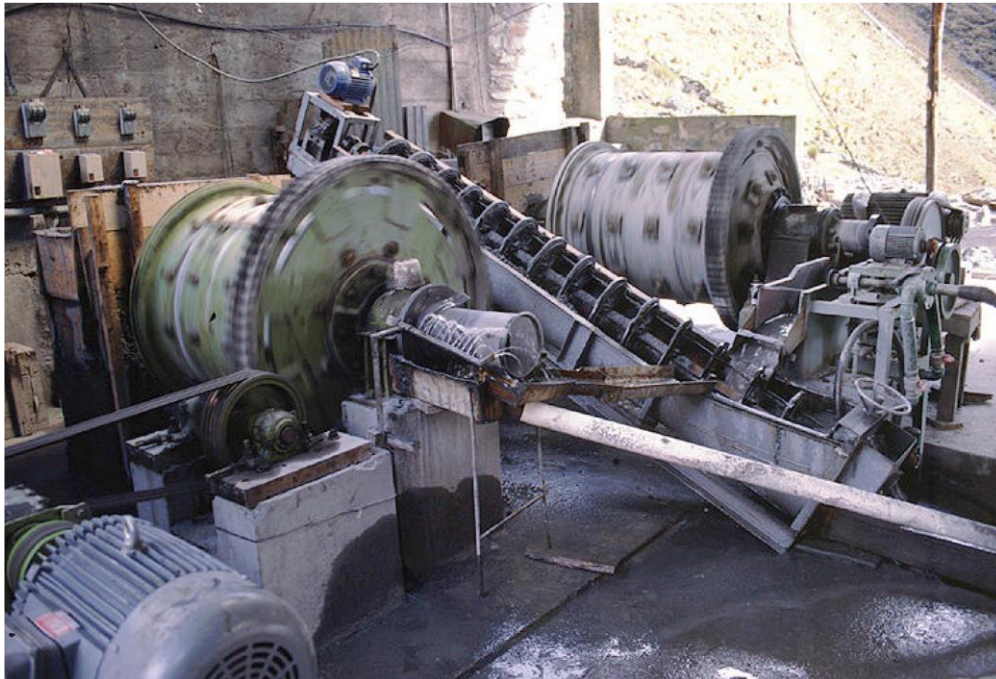
- a) granulometría de la alimentación
- b) Para todos los tipos de jig, elegir la abertura del cedazo en función del tamaño de partícula más grande del mineral valioso en la alimentación. Normalmente, el material valioso (pesado) pasa por el cedazo; partículas pesadas más grandes se quedan encima como sobrecama.
- c) El tamaño de las partículas pesadas que formarán la cama (mejor si son perdigones) deben ser ligeramente mayores a la abertura del cedazo. El espesor de la cama debe determinarse en función de la recuperación y la calidad de concentrado que se pretenda lograr. Para mejorar los resultados a veces se requiere de una sobrecama de un material de peso específico intermedio; dependiendo de la mineralogía de la alimentación, si es que no hubiera presencia de otros materiales pesados, deberá agregarse alguno artificialmente. Por el contrario, cuando la alimentación contiene otros minerales pesados, es necesario realizar purgas periódicas del exceso de sobrecama para evitar la fuga de oro fino.
- d) En el jig hidráulico la amplitud de golpe queda determinada por la tensión del diafragma.
- e) La frecuencia de pulsación de un jig hidráulico está determinada por la tensión del diagrama y la presión del agua inyectada. Por el contrario, en el jig mecánico la frecuencia queda determinada por la velocidad del motor.
- f) La inyección de agua permite realizar ajustes de acuerdo a los índices que uno desee obtener (ley y recuperación). Generalmente con el uso de más agua se obtienen concentrados más limpios, pero una mejor recuperación.
- g) Garantizar la alimentación de material a régimen constante.
- h) La descarga del preconcentrado o concentrado puede realizarse continua o discontinuamente, dependiendo de la riqueza del material y del contenido de acompañantes pesados que pasarán al preconcentrado o concentrado.

Nota: *Para ambos tipos de jigs, debe disponerse de agua a presión constante, esto se logra con un estanque de cabeza ubicado a una altura determinada (mínimo 6 metros). La tubería del estanque al jig debe ser exclusiva, evitando conexiones para otros usos.*

4. APLICACIÓN DEL JIG

Las posibilidades de uso del jig en la minería son amplias. Particularmente en la minería aurífera donde puede ser utilizada tanto en la filoniana como en la aluvial. La experiencia ha demostrado que especialmente en la recuperación de oro laminar o esponjoso es muy eficiente, difícilmente igualado por otros equipos gravimétricos.

En la minería filoniana puede instalarse inmediatamente después del molino primario, para recuperar el oro grueso, el oro laminar o esponjoso y los sulfuros gruesos liberados, para impedir su retorno innecesario al molino en un circuito cerrado, evitando una mayor laminación del oro y la sobremolienda de los sulfuros que son contaminantes potenciales.



LA MESA CONCENTRADORA



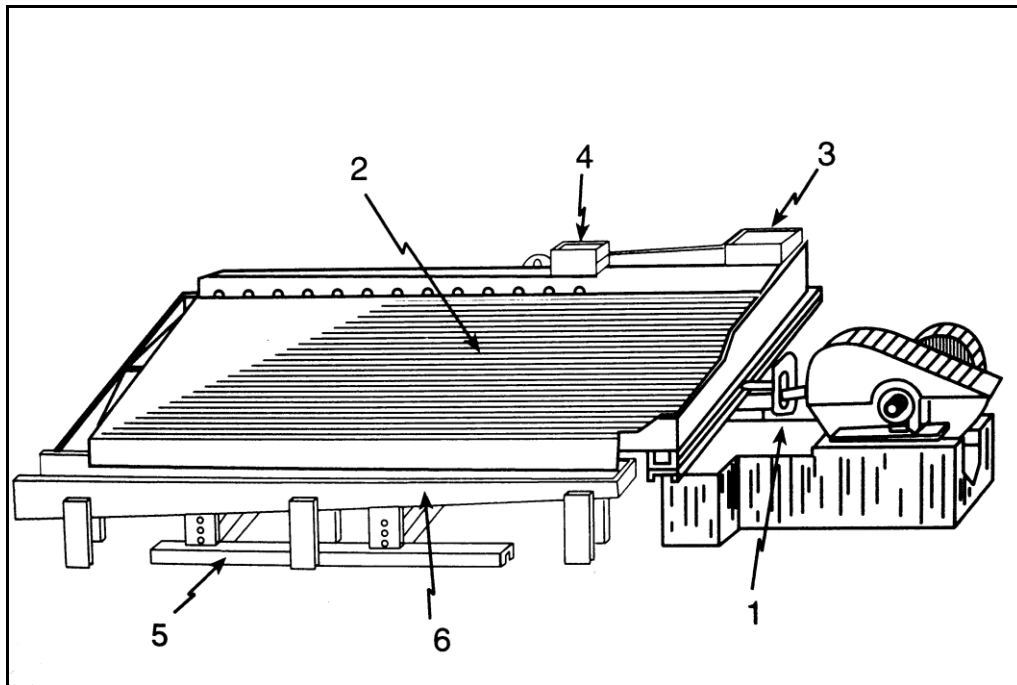
Las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica en flujo laminar, sobre cuya superficie inclinada por la acción del flujo laminar de agua, del movimiento longitudinal y del enriflado, las partículas de mineral se diferencian formando bandas en abanico (cejas), según su peso específico (y la granulometría), conformando un verdadero mosaico de bandas sobre el tablero.

En Bolivia, su empleo está muy difundido principalmente en la minería del estaño, wolfram y recientemente en la del oro. Existen mesas de diferentes tipos y marcas de importación, los talleres artesanales bolivianos también las fabrican especialmente de los tipos Wilfley y Deister. Las diferencias entre unas y otras son mínimas, principalmente en el mecanismo del cabezal, la geometría del tablero y el tipo de enriflado, aspectos que tienen poca incidencia para la recuperación del oro.

DESCRIPCIÓN

Una mesa concentradora de cualquier tipo consta de las siguientes partes:

1. Cabezal accionado por un motor.
2. Tablero enriflado.
3. Canaleta de alimentación.
4. Canaleta de distribución de agua de lavado.
5. Chasis que soporta todo el sistema.
6. Canaletas colectoras para: concentrados, mixtos y colas.



VENTAJAS

- Fácil operación.
- Descarga continua de productos.
- Eficiente para la recuperación de oro fino.
- Permite obtener una gama de productos (concentrados, mixtos, colas).

- Comportamiento visible del material sobre el tablero.
- Bajo requerimiento energético.
- Costo relativamente bajo (dependiendo de la fuente).

VARIABLES DE OPERACIÓN

Entre las más importantes se mencionan:

- granulometría de la alimentación
- longitud de golpe
- frecuencia de golpe
- inclinación de la mesa
- cantidad de agua de lavado
- posición de los cortadores de productos

OPERACIÓN

En lo posible, la carga a alimentarse debe estar clasificada en ciertos rangos de tamaño (arenas, finos y lamas), para obtener mejor eficiencia en la separación del oro. Para la clasificación se recomienda el empleo de un clasificador hidráulico.

1. Para cada rango de tamaño de grano ajustar la longitud de golpe. Mayor longitud de golpe para alimentación gruesa y menor golpe para alimentación fina.
2. La frecuencia o velocidad de sacudida está relacionada con la longitud de golpe; a mayor golpe menor velocidad y a menor golpe mayor velocidad.
3. La inclinación de la mesa debe ajustarse en función de la definición de las bandas o cejas de productos. La ceja del concentrado debe salir del tablero por la parte central del borde frontal.
4. La cantidad de agua debe ser tal, que sobre el área de lavado donde se forman las cejas, se produzca un flujo laminar que contribuya a la definición de las bandas de productos.

5. La posición de los cortadores de los diferentes productos (cejas), deben definirse en función a la ley y recuperación (de los diferentes productos) que deseen lograr.
6. Finalmente, es importante que la densidad de pulpa y el régimen de alimentación sean lo más constantes posible, para no generar turbulencias sobre el tablero de separación.

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN

Principalmente en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino y muchas veces para la recuperación de piritas auríferas como subproducto comerciable. Este último constituye además un contaminante cuando se descarta en las colas a los ríos y lagunas, su separación o recuperación significa una valiosa contribución a los propósitos de mitigación de este impacto ambiental y un ingreso económico adicional.



EL AMALGAMADOR



El amalgamador es un equipo que facilita la amalgamación para la recuperación de oro fino mediante el uso de mercurio y azogue, en un ambiente cerrado. Existe una variedad de tipos de amalgamadores, la presente guía sólo se referirá al más difundido como es el del tipo tambor rotatorio. Uno de los aspectos críticos en esta etapa complementaria del proceso productivo, sin duda es la generación de polvo o harina de mercurio por diferentes razones, entre las principales figura el exceso de velocidad del tambor y/o la presencia de algunos contaminantes del mercurio o mercuricidas. La producción de polvo de mercurio no solo significa perder mercurio contaminante, sino que las microbolitas también tienen atrapadas partículas de oro finísimo que igualmente se pierden en las colas.

VENTAJAS

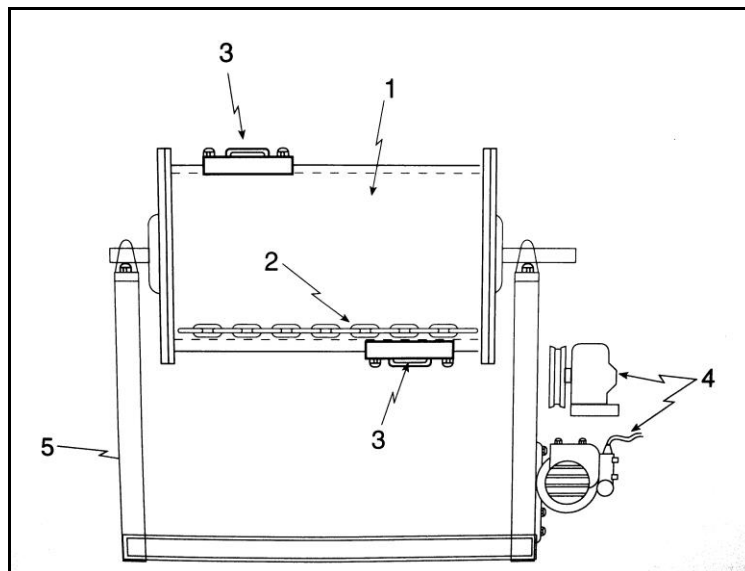
- Fácil manejo.
- Evita el contacto directo y prolongado de la persona con el mercurio.

- Uso del mercurio en circuito cerrado y controlado.
- Requerimiento mínimo de energía.
- Bajo precio y disponibilidad en el mercado nacional.
- Buena recuperación.

DESCRIPCION

Básicamente, el amalgamador está constituido de las siguientes partes:

1. Tambor o recipiente giratorio (algunas veces revestido interiormente con goma).
2. Objetos de frotamiento (cadena de acero, piedras redondeadas, no se recomienda el uso de bolas de molino).
3. Ventanas de carga y descarga.
4. Sistema motriz que puede incluir un reductor de velocidad.
5. Base o soporte del tambor y del motor en algunos casos.



Nota: *El tipo y las dosis de cal, azúcar, sal, lavandina, detergente, mercurio, etc., así como los tiempos de las etapas de limpieza y amalgamación, deberán determinarse experimentalmente*

OPERACIÓN DEL AMALGAMADOR

Generalmente el oro tiene una pátina o recubrimiento de alguna sustancia, que dificulta la amalgamación. Si este fuera el caso y dependiendo de la naturaleza del recubrimiento, es necesaria una etapa previa de eliminación de éste, ya sea por medios físicos (abrasión) o químicos (disolución mediante la adición de reactivos) y generalmente una combinación de ambos.

Cuando el concentrado contiene oro grueso (partículas mayores a medio milímetro) no se requiere amalgamación, puesto que se lo puede separar antes por medios mecánicos y gravimétricos (tamizado, bateado, etc.). Sólo debe amalgamarse el oro menudo.

Por lo anterior, la operación completa comprenderá los siguientes pasos:

1. Tamizar el concentrado para separar el oro grueso.
2. Primera etapa de limpieza, para lo cual el tambor o recipiente se carga con el concentrado; agua suficiente y diferentes sustancias (cal, detergente, nitrato, etc.) lo que facilita la eliminación del recubrimiento que puede impedir la amalgamación. Una vez cerrado herméticamente el tambor, someterlo a rotación por una media hora (algunas veces puede requerir más tiempo). Parar el equipo, dejar decantar por un instante y eliminar cuidadosamente el agua de lavado.
3. Agregar agua fresca, la necesaria para lograr una pulpa densa (espesa).
4. Añadir el mercurio, en la cantidad mínima necesaria. Cualquier exceso sólo contribuirá a su atomización y consecuente pérdida como harina a de mercurio. Si fuera necesario también añadir algún coadyuvante (sal, azúcar, cal, etc.).
5. Cerrar herméticamente el tambor y ponerlo en funcionamiento. Con material piritoso (de vetas), se requiere normalmente alrededor de una hora. Algunas veces dependiendo del material, se requiere mayor tiempo. A veces con material aluvial (de veneros) limpio, al cabo de 10 minutos, todo el oro ya está amalgamado.
6. Parar el equipo, dejar decantar brevemente, proceder a la descarga del material amalgamado lavando meticulosamente el interior del tambor.
7. Proceder con la siguiente etapa de separación de amalgama y mercurio libre de las colas de amalgamación utilizando el separador hidráulico.

APLICACIÓN DEL AMALGAMADOR

El amalgamador sólo se debe utilizar para la recuperación de oro fino de los concentrados auríferos que sea difícil de recuperar mecánicamente. Se puede utilizar tanto en la minería primaria (vetas), como en la minería aluvial (veneros).

UTILIZACION DE REACTIVOS EN LA AMALGAMACION

En el proceso de amalgamación normalmente no se trabaja con reactivos, porque se desconocen los efectos de los mismos y por el precio relativamente alto y las dificultades logísticas de conseguir reactivos más sofisticados. La única excepción es la utilización frecuente de jabón en polvo, lejía o lavandina, cal y carburo cuando se trabaja material con alto contenido de sulfuros.

Para limpiar el mercurio, antes de la amalgamación, los mineros generalmente utilizan detergente en polvo, que además se usa para limpiar la amalgama producida con el objetivo de conseguir en la quema un oro con mejor apariencia. No obstante, de la experiencia propia así como de la práctica colectiva de la minería artesanal en otros países, figura una amplia lista de reactivos que pueden mejorar el rendimiento de la amalgamación y ayudar en reducir las pérdidas de mercurio.

La literatura especializada presenta las siguientes indicaciones para el uso de reactivos en la amalgamación. Sin embargo, el uso de muchos de estos insumos tiene su origen en ensayos de prueba y error:

- Hidróxido de sodio (soda cáustica). Además de ser usada como agente neutralizante, elimina las grasas que existen en la pulpa.
- Nitrato de potasio (salitre de potasio): Limpia las superficies mohosas del oro.
- Plumbado de sodio: Evita la alteración del mercurio logrando su estabilidad.
- Dicromato de potasio: Se adiciona con la cal para limpiar la superficie del oro manchadas con óxidos de hierro hidratado (limonitas).
- Cianuro de sodio: Para neutralizar las sales producidas por la descomposición de los sulfuros y limpiar las superficies del oro y del mercurio
- Cal viva. Para neutralizar la acidez en el medio acuoso: El mercurio en medio ácido (menos de 7) se oxida fácilmente, perdiendo sus propiedades amalgamadoras, además es coadyuvante con otros reactivos.

- Amalgama de sodio: Para activar el mercurio y mejorar la coalescencia del mismo.
- Litargirio (Óxido de plomo): Previene la generación del ión sulfuroso en la pulpa porque el ión de plomo tiende a precipitarse en cualquiera superficie sólida donde estaba el ión sulfuroso disponible de tal manera que está superficie esté cubierta por el ión de plomo, reduciendo la emisión de otros iones sulfurosos.
- Azúcar: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, además es coadyuvante con otros reactivos (probado en Ecuador)
- Jugo de sisal y de otras plantas: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, coadyuvante de la aglomeración y sedimentación de sólidos en suspensión.
- Detergente en polvo (p. e. Ace): Limpieza del mercurio y del oro mohoso, mejora de la apariencia del oro.
- Sal de la mesa: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, coadyuvante. Utilizado ya en la época de los españoles como coadyuvante en la amalgamación.
- Carbuo: Probablemente efecto como la cal.
- Lavandina (lejía o hipoclorito de sodio): Limpieza de las partículas de oro, remueve los óxidos de hierro.



EL HIDROSEPARADOR



Luego de la amalgamación del concentrado (en circuito cerrado), la amalgama y el mercurio deben ser separados de las colas de la amalgamación. En este paso del proceso pueden ocurrir grandes pérdidas de amalgama y mercurio. Para minimizar las pérdidas de oro y también las pérdidas de mercurio en las colas se debe manejar estos con mucho cuidado y utilizar el equipo apropiado.

El hidroseparador (o elutriador) es un aparato que permite separar la amalgama de arenas negras y piritas después de la amalgamación de oro.

VENTAJAS

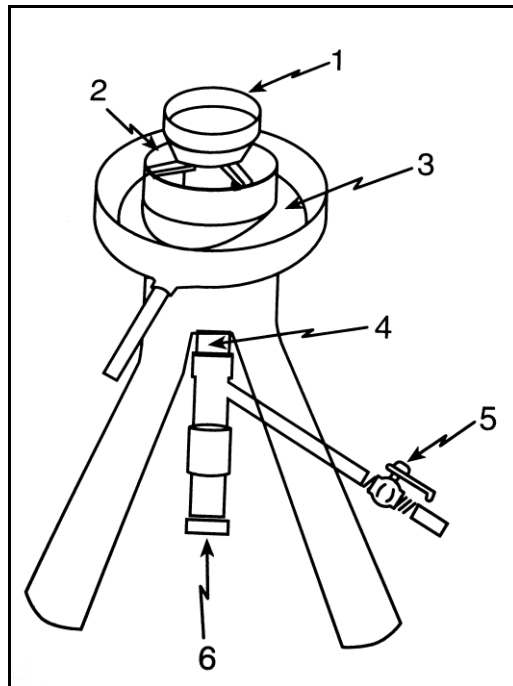
- Proceso rápido y seguro.
- Buena recuperación.
- Manejo simple.

- No necesita energía eléctrica.
- Bajo costo.

DESCRIPCION

Básicamente el hidroseparador consta de las siguientes partes:

1. Embudo de alimentación.
2. Embudo de rebalse (agua y partículas livianas)
3. Colector circular de recepción y descarga de colas.
4. Tubo de separación.
5. Válvula de entrada de agua en contracorriente.
6. Recipiente para partículas pesadas (amalgama, mercurio libre, oro).



COMO FUNCIONA EL HIDROSEPARADOR

El hidroseparador separa partículas según su peso específico, en una columna de agua de flujo ascendente, con presión suficiente para permitir el hundimiento o descenso de la partícula pesada y elevar la partícula liviana para descargarla. Este principio se usa en la separación de la amalgama y mercurio (azogue), de las colas de amalgamación (arenas negras, piritas y otros minerales más livianos que la amalgama y el mercurio).

Las arenas negras, piritas y otros minerales más livianos, son elevados por la columna ascendente de agua; expulsados por el borde del embudo de rebalse y vaciados en el colector circular y luego descargados a un recipiente exterior.

La amalgama, el mercurio y eventualmente el oro libre, descienden (se hunden) por su alto peso específico hasta llegar al recipiente colector de pesados, que se puede retirar fácilmente del tubo de separación, después de terminar el proceso.

Es necesario regular la fuerza ascendente de la corriente de agua, abriendo o cerrando la válvula de ingreso de la misma, para tener una separación más efectiva.

Válvula más abierta produce:

- mayor flujo de agua ascendente
- separación más rápida
- salida de partículas más gruesas
- posible pérdida de partículas finas de amalgama y mercurio
- amalgama recuperada más limpia.

COMO OPERAR EL HIDROSEPARADOR

Es necesario tamizar la carga (clasificar), para evitar la entrada de materiales con tamaño mayor a 2 mm., difíciles de suspender y eliminar con un flujo suave de agua. El grano grueso debe tratarse separadamente utilizando una batea. Si no se eliminan las partículas gruesas, estas descienden junto con la amalgama al fondo del recipiente colector de pesados.

Es necesario alimentar el separador hidráulico a una velocidad y un régimen constante.

Se debe ajustar la corriente ascendente de agua de manera tal que las piratas y/o las arenas negras salgan y se eliminen lentamente.

Para asegurar una buena recuperación de la amalgama, se puede repetir el proceso repasando las colas una y otra vez, con menos presión de agua cada vez, hasta lograr una buena recuperación. Con el mismo propósito también se puede instalar 2 ó 3 elutriadores en serie para facilitar el repaso.

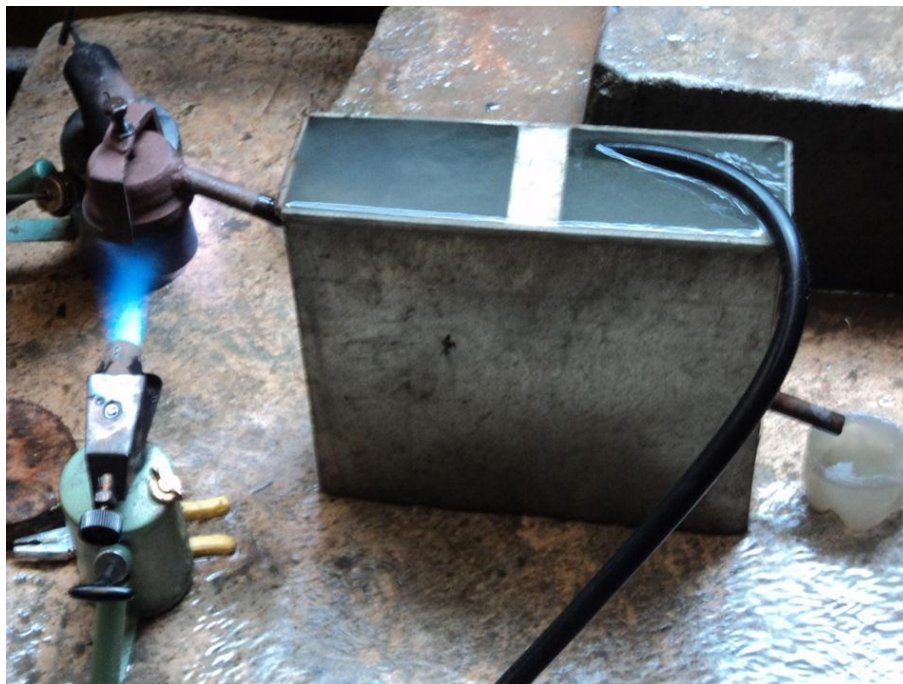
Terminada la alimentación de carga, cerrar la válvula y retirar el recipiente de amalgama del tubo de separación.

Limpiar la amalgama recuperada y exprimir la misma utilizando un paño para separar el mercurio líquido libre y guardarlo adecuadamente. Luego quemar la amalgama utilizando una retorta para recuperar el mercurio por evaporación y condensación.

Las colas de amalgamación deben almacenarse adecuadamente.



LA RETORTA



En la minería del oro, tanto aluvial como filoniana, la recuperación del oro fino se la hace mediante el uso de mercurio (azogue), para obtener la amalgama de la cual se obtiene el oro por volatilización del mercurio.

POR QUE SE DEBE UTILIZAR LA RETORTA

Al quemar la amalgama al aire libre, el mercurio (azogue) se desprende en forma de vapor lo que daña el medio ambiente y provoca serios daños a la salud de los mineros y la de sus familias. Es para evitar los daños de estos vapores de mercurio o azogue que se utiliza la retorta.

COMO AFECTA EL MERCURIO A LA SALUD

El mercurio penetra en el organismo por el manejo frecuente, cuando se lo ingiere con los alimentos, y principalmente cuando se respiran los vapores producidos al quemar la amalgama al aire libre. Los efectos en la salud son:

- enfermedad de los riñones y vías urinarias
- enfermedad de los pulmones
- inflamación de los intestinos, vómitos, cólicos, etc.
- gastritis, úlceras
- enfermedades de los nervios
- impotencia sexual, esterilidad, alteraciones genéticas y otras.

En general, los niños y las mujeres embarazadas son las más afectadas.

Estas enfermedades se desarrollan poco a poco, sus efectos no se notan inmediatamente..!

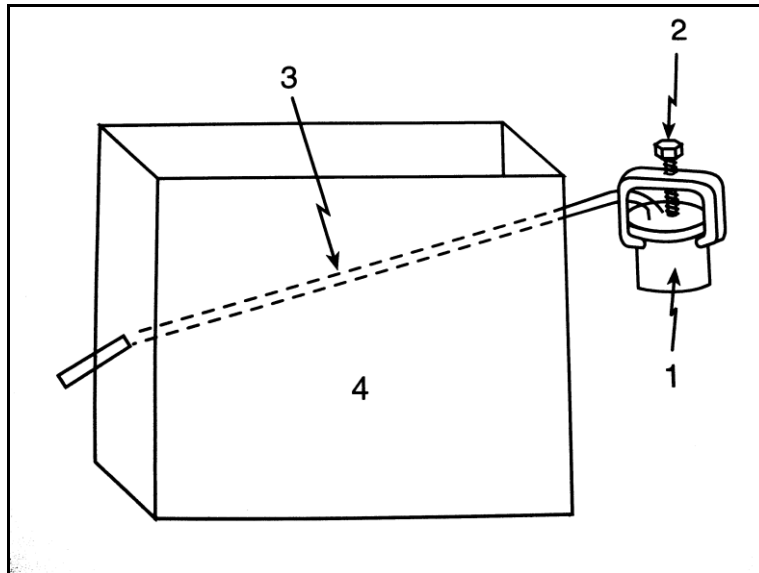
VENTAJAS DEL USO DE LA RETORTA

La retorta es un aparato sencillo que permite:

- Quemar la amalgama sin riesgo para la salud y protegiendo el medio ambiente.
- Recuperar el oro, listo para su fundición.
- Recuperar el azogue, para volverlo a usar en vez de perderlo.
- Recuperar su costo en poco tiempo.

UNA RETORTA CONSTA DE LAS SIGUIENTES PARTES

1. Crisol
2. Tornillo fijador
3. Tubo condensador
4. Refrigerador (tanque de agua)



PROCEDIMIENTO PARA EL USO APROPIADO DE LA RETORTA

- a) Exprimir fuertemente la amalgama en un paño, para recuperar al máximo el mercurio libre, lavarla bien y ver que no tenga arena y otras suciedades.
- b) Sacar el crisol de la retorta, aflojando el tornillo fijador.
- c) Limpiar el crisol, preferentemente con papel higiénico o trapo limpio para que no haya restos de óxidos (sarro), o partículas pequeñas de otros elementos.
- d) Colocar la amalgama dentro del crisol, envuelta en un papel para evitar que el oro se pegue a la pared interior del mismo. Se pueden hacer bolitas de amalgama y colocarlas dejando espacios que faciliten el paso efectivo del gas de mercurio o azogue. El tamaño de las bolitas dependerá del tamaño del crisol. Nunca llene el crisol completamente con amalgama (hasta el tope) porque se impediría la salida del gas.
- e) Acomodar el crisol en su soporte y luego asegurarlo con el tornillo fijador para cerrarlo herméticamente.
- f) Llenar el refrigerador completamente con agua fría.
- g) Una vez preparada la retorta, se la coloca en un sitio bien ventilado y en un lugar donde no pueda ser volcada. Se debe evitar realizar el proceso en una habitación cerrada.
- h) Encender el soplete y empezar a calentar el crisol preferentemente en la base o en sus costados evitando calentar el refrigerador. En pocos minutos se observará gotear del tubo, el

azogue condensado que se acumulará en la bolsa o, en el pocillo. Calentar hasta que ya no salgan más gotas de mercurio o azogue. Evitar que el crisol se ponga al rojo vivo.

- i) Concluida esta operación y viendo que no salen más gotas del tubo, golpear suavemente el tubo con un trozo de madera, desde la salida del crisol, a todo lo largo hasta la parte extrema al final de la cámara de refrigeración, para facilitar el desprendimiento del azogue acumulado en el tubo. No echar agua fría sobre el crisol para enfriarlo, ya que esto ocasionaría la rotura del mismo. Es aconsejable operar con una tenaza si el crisol aún está caliente, de este modo evitará quemarse las manos.
- j) Retirar el recipiente con cuidado para no derramar el mercurio recuperado.
- k) Sacar el oro del crisol. Si la amalgama no ha sido bien destilada, presentará un color amarillo sucio y manchas como de ceniza. Esto indica que faltó tiempo para completar el proceso; entonces, se puede repetir el proceso.

Así se obtiene el oro en la retorta, sin causar daño a la salud del minero ni la de su familia y disminuyendo la contaminación al medio ambiente. Además de ahorrar dinero, puesto que se sigue disponiendo de azogue para recuperar más oro.



Nota: El crisol de la retorta no sirve para fundir metales, menos oro, por lo tanto, evite utilizarlo para este propósito.

LIMPIEZA Y ACTIVACION DEL MERCURIO



El mercurio (azogue) utilizado por los mineros en el proceso de la amalgamación de oro se contamina durante el proceso y pierde parte de su capacidad para atrapar el oro. La disminución de su actividad se debe a que algunos componentes de la carga reaccionan con el mercurio, o cubren su superficie.

Estos componentes son:

- grasas, aceites lubricantes
- aluminio o cobre de los detonadores y cables eléctricos
- minerales solubles
- sulfuros de plomo, arsénico, antimonio y bismuto
- baritina, talco, silicatos de magnesio
- plomo metálico (en la minería aluvial: perdigones, balas)

El mercurio contaminado es mucho menos efectivo que el limpio. A este último se lo distingue por formar esferas casi perfectas con un fuerte brillo metálico, en cambio al contaminado se lo reconoce por su superficie opaca, por las deformaciones de la forma esférica y porque al rodar sobre una superficie plana inclinada parecen adherirse un poco a ella, formando una especie de cola. Por esta razón es necesario limpiar o reactivar el mercurio (azogue).

Para limpiar y activar el mercurio contaminado existen varias posibilidades:

- Tamizado a través de una criba muy fina (malla 200).
- Lavado del mercurio con agua que contiene detergentes (ACE, OMO, etc.), con capacidad de disolver grasas y sustancias similares.
- Lavado con reactivos como amoníaco, ácido nítrico diluido (al 8%), etc.
- Destilación en una retorta con la cual se elimina impurezas poco volátiles.

COMO OPERAR EL ACTIVADOR

La mejor forma de activación de mercurio es la generación de amalgama de sodio. En contacto con el agua la amalgama de sodio se transforma en hidróxido de sodio (NaOH), el cual disuelve algunos de los componentes que contaminan la superficie del mercurio.

La preparación de amalgama de sodio por medio de electrólisis es muy fácil, utilizando el activador que se muestra en la figura siguiente. El proceso se realiza así: se coloca el mercurio cansado en el recipiente de manera que cubra totalmente el carbón inferior (electrodo de grafito). Luego se vierte sobre el mercurio una solución al 10 o 15 % de sal de mesa (cloruro de sodio). A continuación, se conectan ambos electrodos a una batería de **12 voltios**, de manera que el polo positivo **(+)** esté conectado al **carbón superior** que está en contacto con la solución salina y el polo negativo **(-)** al **carbón inferior** que está en contacto con el mercurio.

De esta manera se descargan los iones de sodio (Na⁺) sobre la superficie del mercurio formando amalgama de sodio. Del polo positivo se desprende gas cloro (Cl⁻) en forma de pequeñas burbujas con su olor típico. Después de 10 a 15 minutos se alcanzan concentraciones suficientes. El mercurio activado tiene un brillo fuerte.



VENTAJAS

El uso de mercurio reactivado tiene las siguientes ventajas:

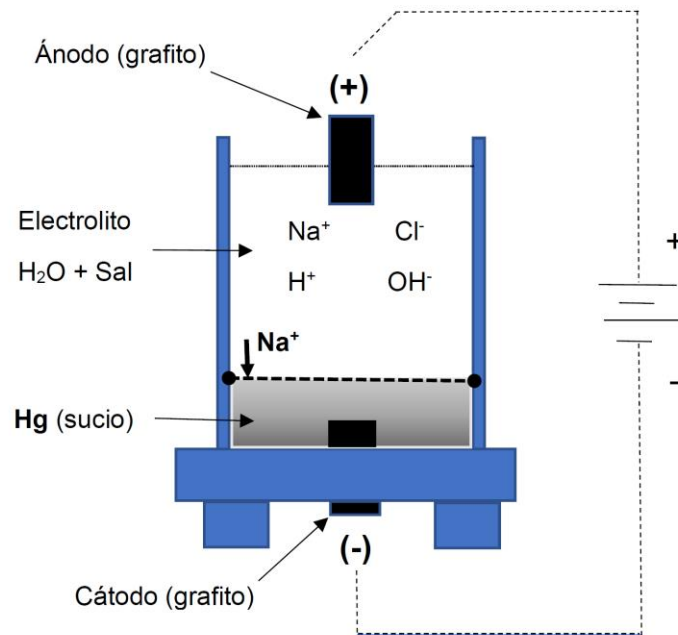
- Mejora la recuperación de oro en la amalgamación. El mercurio activado atrapa mejor al oro y amalgama granos aún muy pequeños.
- Disminuye las pérdidas de mercurio (azogue) y amalgama. Por la activación las pequeñas perlas de mercurio se reúnen más rápidamente con otras partículas de mercurio y son recuperadas. No hay formación de la llamada “harina de mercurio”.

El efecto de la reactivación del mercurio es temporal; el mercurio activado en contacto con el agua, tanto en la amalgamación como durante su almacenamiento, pierde lentamente su poder. Por esto, se lo debe utilizar en el amalgamador inmediatamente después de activarlo. El equipo de activación (activador) se puede construir fácilmente utilizando tubería y tapones de PVC y un pegamento muy corriente (Poxipol). Como electrodos pueden utilizarse carbones de pilas usadas o de escobillas de motores eléctricos. Es importante que solo los carbones y ninguna parte metálica tenga contacto con el mercurio y la salmuera.

La factibilidad técnica de este proceso, el equipo de diseño sencillo y de bajo costo, es una alternativa viable que permite, en primer lugar, aplicar el mismo antes de la etapa de amalgamación con mucha

versatilidad mejorando la recuperación de oro y en segundo lugar, permite recircular adecuadamente el mercurio.

ESQUEMA DEL EQUIPO PARA LIMPIEZA Y ACTIVACIÓN DEL MERCURIO



Advertencia:

¡Nunca poner en contacto el polo positivo con el mercurio, el carbón se quemará!

¡Nunca intercambiar los polos, el mercurio activado se transformará en algún tipo de compuesto, perdiendo su capacidad de amalgamar!

- ✓ Los vapores de mercurio atacan con mayor contundencia a los niños y a las mujeres embarazadas, por esta razón el mercurio debe estar lejos de ellos.
- ✓ Para quemar la amalgama utilice una buena retorta que le permita recuperar todo el mercurio, para volverlo a utilizar.
- ✓ Por precaución, cuando quema en retorta asegúrese de hacerlo lejos de las viviendas.
- ✓ En caso de sentir dolor de cabeza y molestias estomacales permanentes, probablemente esté intoxicado con mercurio, acuda a un centro médico.

LA TOXICIDAD DEL MERCURIO

Envenenamientos agudos

- Cólicos, vómitos e inflamaciones del estómago y de los intestinos.
- Molestias en los riñones y en las vías urinarias.
- Inflamación aguda de los intestinos.
- Ulceras en la mucosa dental (stomatitis mercurialis), en conjunto con alta sensibilidad a la luz (Fotofobia).

Envenenamientos crónicos (Mercurialismo)

Los síntomas son:

- Formación de úlceras.
- Depósitos de HgS en el cuerpo.
- Tremores de intensidad
- Dificultades en el hablar, debilidad para concentrarse y otras.

CLARIFICADOR DE AGUAS TURBIAS



El país en general, no solo contiene recursos minerales valiosos, sino que también es fuente de recursos hídricos importantes; siendo los mismos afectados por la descarga de aguas lodosas generadas por las operaciones de explotación aurífera. La descarga de aguas turbias a los ríos, es una práctica muy común en la actividad minera y el caso de la minería aurífera primaria es la más preocupante, pues para recuperar el oro se deben moler toneladas de mineral, generando cantidades considerables de colas (arenas y lamas) que diariamente son echadas a los ríos contaminándolos.

Estas aguas lamosas por su naturaleza, requieren de mucho tiempo y de grandes áreas de sedimentación (lagunas) para su clarificación natural, requisito que no siempre se puede encontrar en la zona cordillerana. Esta restricción ha obligado a desarrollar un sistema alternativo para la clarificación rápida de estas aguas, que no precise de mucho espacio y que minimice los impactos ambientales ocasionados por estas descargas.

A) CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE INGENIO

Para la aplicación de cualquier sistema de tratamiento de aguas efluentes, es necesario conocer sus características más importantes, que principalmente se refieren a la cantidad (caudal) y calidad.

Características Físicas: referidas al color, olor, sabor, pH, conductividad, etc. Para un estudio de clarificación de aguas importa el aspecto o color, que principalmente está determinado por la turbidez o el contenido de sólidos suspendidos.

Características Químicas: determinada por la presencia o contenido en solución de determinados contaminantes inorgánicos y orgánicos. Su presencia solo es posible de detectar por análisis químico.

PRUEBAS DE LABORATORIO

Previo el diseño final de la planta de clarificación se debe realizar pruebas de tratabilidad en laboratorio con muestras representativas de aguas turbias. Los resultados obtenidos permiten determinar básicamente:

- Tipo de floculante, dosificación y consumo del mismo.
- Condiciones de mezclado y dispersión del floculante
- Tiempo de floculación
- Tiempo y condiciones de sedimentación de los flóculos
- Cantidad y densidad de los lodos sedimentados

PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS

Identificado el problema de enturbiamiento o lodificación, las operaciones previas a la clarificación misma y las operaciones complementarias posteriores comprenden básicamente:

- Separación de sólidos sedimentables
- Separación de sólidos no sedimentables
- Clarificación
- Espesamiento y manejo de lodos
- Almacenamiento de lodos

La coagulación y la floculación son las alternativas más accesibles para la pequeña minería, estos procesos requieren del uso de aditivos aglomerantes para formar aglomerados o flóculos que sedimentan naturalmente con mucha facilidad, dando como resultado una clarificación efectiva del agua. La única desventaja es el costo de los aditivos si se trata de lamas complejas que requieren combinar varios floculantes, por lo que el consumo sería alto; pero, generalmente en sistemas de lamas silíceas simples como los de la pequeña minería aurífera filoniana, esto no sucede. El requerimiento energético es mínimo, solamente en el equipo auxiliar de preparación de solución floculante.

LAMELLA

El lamella o espesador de placas, es un equipo basado en la idea de multiplicación de áreas de sedimentación-clarificación, minimizando el área de instalación, a través del ordenamiento de placas inclinadas superpuestas a distancias iguales, que forman espacios o celdas de sedimentación-clarificación en un paquete compacto.

El buen funcionamiento del lamella en la presente aplicación depende de las siguientes variables: eficiencia de la floculación; caudal del agua turbia (m/hr), que determina el tiempo de residencia en el lamella; contenido de sólidos (% peso); ritmo de purga de lodos; densidad de los lodos descargados.

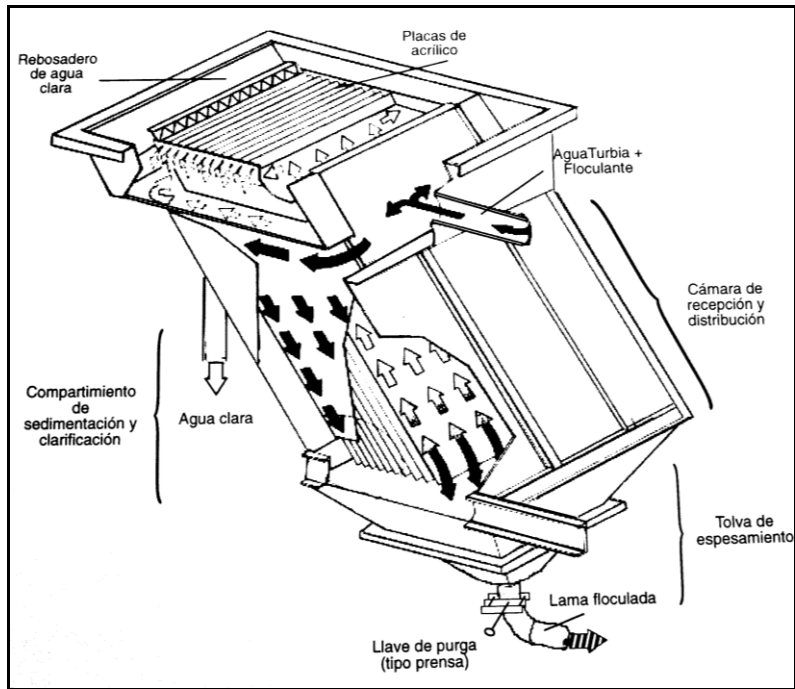
ESPESAMIENTO Y MANEJO DE LODOS

Debido a que el lodo obtenido en la descarga del lamella tiene un contenido de sólidos entre 40-60%, este es de difícil manejo para su almacenamiento, por lo que requiere de un espesamiento adicional hasta concentraciones de 80-90% sólidos.

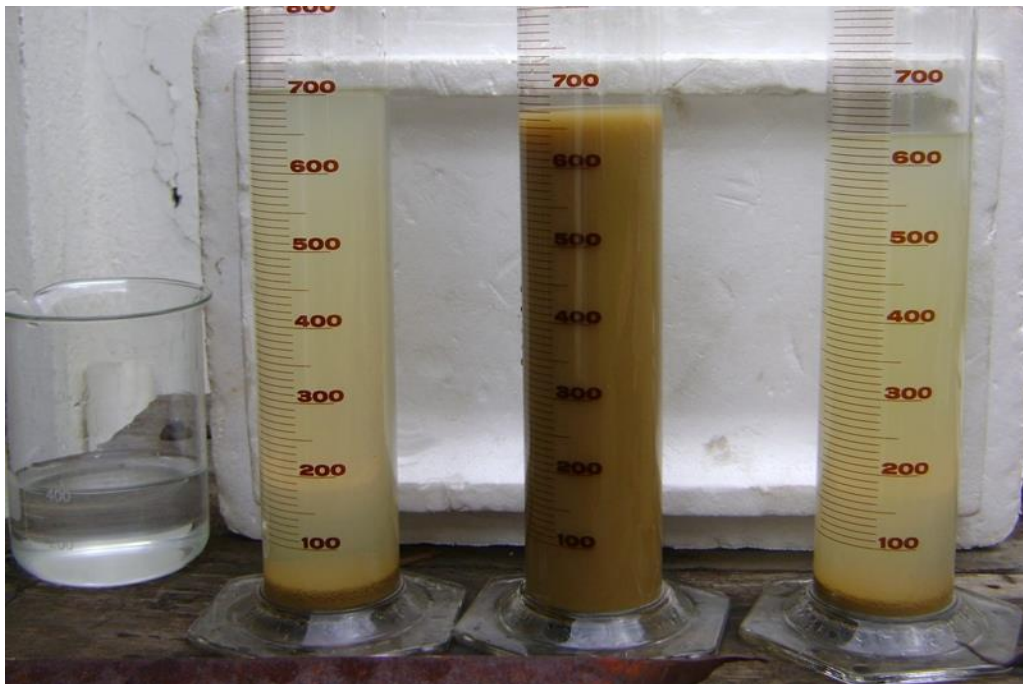
Finalmente, los lodos espesos son trasladados a depósitos naturales o preparados como depresiones o fosas naturales, fosas artificiales y depósitos de relaves; para evitar su dispersión por la acción de las aguas pluviales o el viento.

La selección de cualquiera de estas alternativas dependerá de las características topográficas de la zona, características mineralógicas de los residuos (potencial contaminante), costo de transporte (manual o mecanizado), etc. Esta última fase precisará de una planificación del manejo de residuos por parte de los operadores mineros y un programa de monitoreo ambiental.

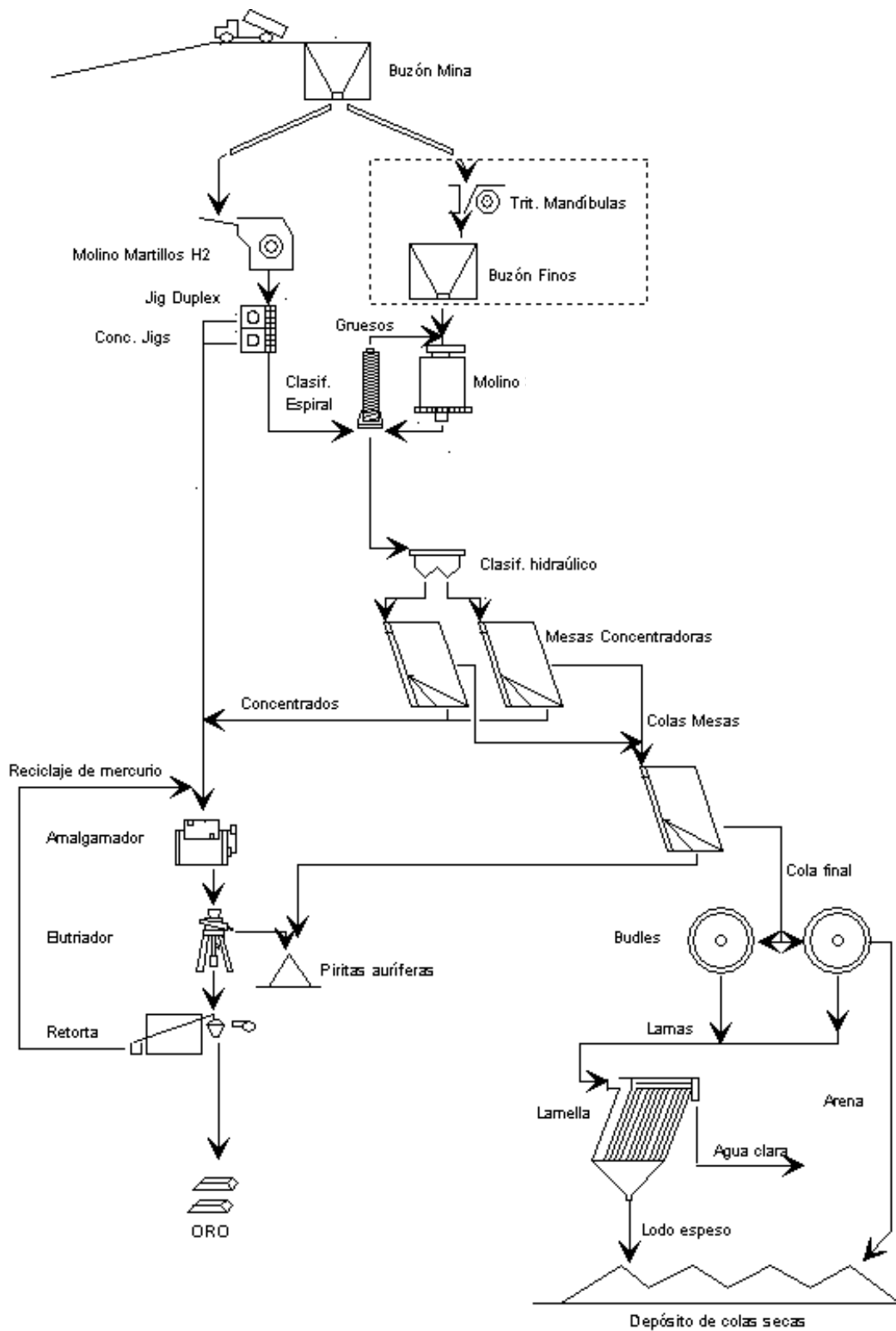
ESQUEMA DE UN CLARIFICADOR TIPO LAMELLA



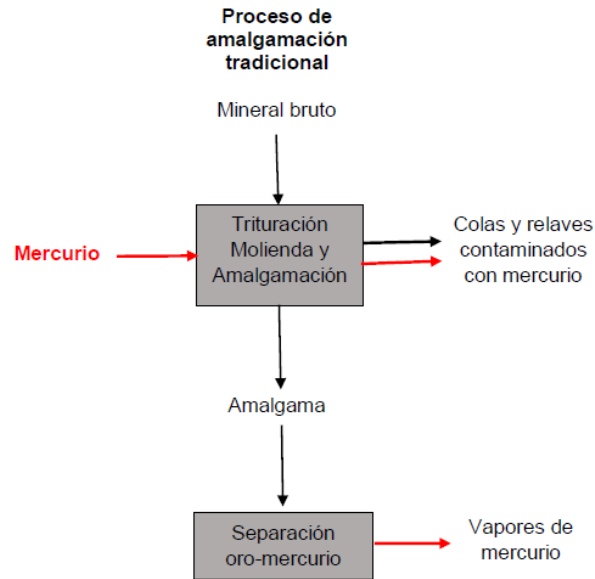
PRUEBAS DE SEDIMENTACION DE AGUAS TURBIAS EN LABORATORIO



PROCESO PILOTO CON APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS

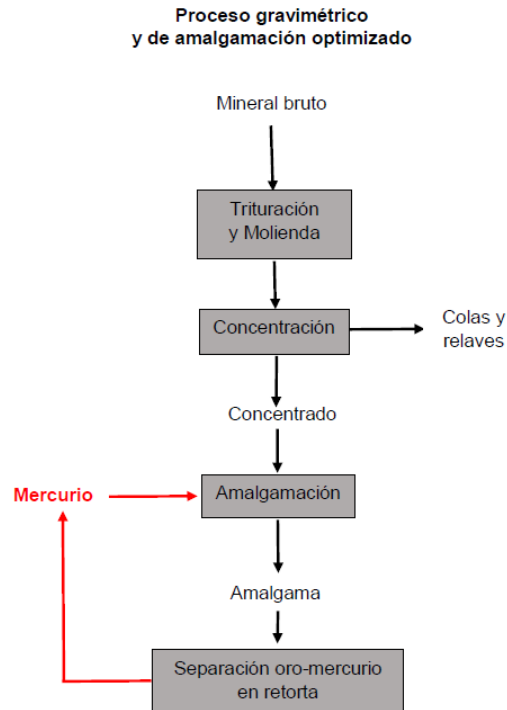


ESQUEMA COMPARATIVO DE PROCESOS CON Y SIN AMALGAMACION



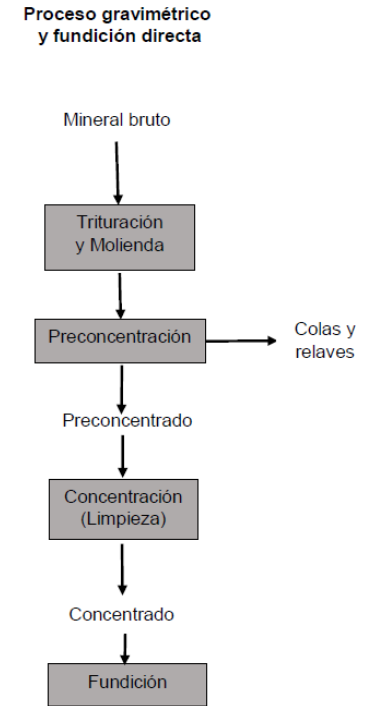
Características:
 Uso indiscriminado de mercurio en circuito abierto.
 Aplicación de métodos gravimétricos insuficientes.
 Quema de amalgama al aire libre.

Resultados:
 Emisiones de mercurio extremadamente altas
 Relación mercurio perdido: oro recuperado hasta 10:1.
 Recuperación de oro relativamente baja



Características:
 Se amalgaman solamente los concentrados.
 Uso de mercurio en circuito cerrado.
 Uso de retortas.

Resultados:
 Bajas emisiones de mercurio.
 Relación de mercurio perdido en las colas de amalgamación: oro recuperado hasta 0,01:1.
 Alta Recuperación de oro



Características:
 Sin uso de mercurio.
 Proceso solamente gravimétrico.
 Fundición directa de los concentrados

Resultados:
 Ninguna emisión de mercurio; equipos adecuados; personal capacitado; proceso gravimétrico optimizado.
 Alta Recuperación de oro.

