



# GUÍA PRÁCTICA

REDUCCIÓN DEL USO DE MERCURIO  
EN LA MINERÍA DE ORO ARTESANAL  
Y DE PEQUEÑA ESCALA





**1972-2012:**  
Serving People  
and the Planet



**fmam** FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL  
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



**ARTISANAL  
GOLD COUNCIL**



**University  
of Victoria**



**IUGS-GEM**  
Commission on Geoscience  
for Environmental Management

*Copyright © Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2012). Traducido de la versión original en inglés.*

Un documento del PNUMA, bajo el programa Global Mercury Partnership, producido en colaboración con el Artisanal Gold Council (AGC) y con la asistencia de la ONUDI, la Universidad de Victoria y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas-Comisión de Geociencias para la Gestión Ambiental (IUGS-GEM); 2012.

Los autores principales de este documento son Kevin Telmer y Daniel Stapper del AGC. Las fotografías e imágenes en esta guía, exceptuando de las indicadas expresamente, son propiedad del AGC y no pueden usarse sin autorización.

Esta publicación se puede reproducir en su totalidad o parcialmente y en cualquier forma para fines educativos o sin ánimo de lucro, con el permiso especial del titular de los derechos de autor, mientras se cite la fuente. El PNUMA agradece el envío de cualquier publicación que use como fuente este documento. No se permite el uso de esta publicación para su reventa o para cualquier otro propósito comercial sin la autorización previa y por escrito del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

#### **Aviso de Responsabilidad**

Los términos utilizados y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente sobre el estatus legal de cualquier país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, ni acerca de la delimitación de sus fronteras o límites. Además, las opiniones expresadas no representan necesariamente la decisión o la política declarada por el PNUMA, y la mención de marcas o procesos comerciales no constituye una recomendación.

# Reducción del uso de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala

## Guía Práctica



Documento del PNUMA bajo el Global Mercury Partnership  
producido en colaboración con el Artisanal Gold Council.  
[www.artisanalgoldcouncil.org](http://www.artisanalgoldcouncil.org)

# Tabla de Contenido

## Los Fundamentos

Enfoque . . . . .	page 7
¿Para quién es esta guía? . . . . .	page 7
¿Por qué preocuparse por el mercurio? . . . . .	page 8
Emissiones y consumo mundial de mercurio . . . . .	page 9
¿Cómo se utiliza el mercurio para captar el oro? . . . . .	page 10
Riesgos para la salud de los mineros y sus familias . . . . .	page 12

## CAPÍTULO 1 - El uso de mercurio en detalle

1.1 Amalgamación de la mena entera . . . . .	page 16
1.2 Amalgamación del concentrado de mena . . . . .	page 18

## CAPÍTULO 2 - Soluciones

2.1 Identificación de soluciones adecuadas . . . . .	page 21
Diagrama de soluciones-¿Cuáles funcionan? . . . . .	page 22
2.2 Extracción y concentración . . . . .	page 24
Separación del oro . . . . .	page 24
La importancia del tamaño de grano . . . . .	page 26
2.3 Mejoras en la concentración . . . . .	page 28
Canaletas (canalones o canales) . . . . .	page 30
Concentradores Centrífugos (centrífugas) . . . . .	page 32
Concentradores en espiral . . . . .	page 34
Ciclón (o vórtice) . . . . .	page 35
Mesas concentradoras (o vibratorias) . . . . .	page 36
Flotación . . . . .	page 37
Imanes . . . . .	page 38



2.4 Procesamiento y refinación. . . . .	page 40
Evite la quema de la amalgama al aire libre . . . . .	page 40
2.5 Mejoras en el procesamiento y refinación . . . . .	page 42
Retortas . . . . .	page 42
Extractores. . . . .	page 44
Activación del mercurio. . . . .	page 46
2.6 Eliminación del uso de mercurio: Procesos sin mercurio . . . . .	page 48
Sólo Gravedad . . . . .	page 48
Fundición directa. . . . .	page 50
La lixiviación como alternativa al uso de mercurio. . . . .	page 54
Modelo de planta de procesamiento sin mercurio . . . . .	page 56
2.7 Temas relacionados. . . . .	page 60
Tipos de depósitos de oro, exploración y planeamiento . . . . .	page 60
Purificación del oro – el método de cuarteo. . . . .	page 61
El uso de mercurio antes de la cianuración. . . . .	page 64
Manejo de residuos y áreas contaminadas . . . . .	page 66
Anexo 1. Síntesis del sector de la MAPE . . . . .	page 68
Anexo 2. Costo relativo de las intervenciones técnicas . . . . .	page 69
Anexo 3. Fundamentos técnicos de la ONUDI para el manejo del mercurio . . . . .	page 70

Las piezas de la 'esponja de oro' en esta fotografía son el resultado de la amalgamación por mercurio. Cada pieza representa un día de trabajo de un grupo de mineros. La bola grande en el primer plano es de 8 gramos – con un valor de 385 dólares americanos (US\$) a un precio de 1500 US\$/onza.



Mineros en una sesión de capacitación en Mozambique.

La minería de oro artesanal y a pequeña escala (MAPE) es una gran oportunidad de desarrollo que contribuye directamente al alivio de la pobreza y al desarrollo regional. Aunque los problemas sociales y medioambientales son comunes en este sector, también existe la oportunidad de transformar la riqueza mineral en desarrollo local sostenible.

# Enfoque

1. El oro representa un excelente método de transferencia de riqueza para las comunidades rurales: pequeños productores de oro reciben generalmente 70% o más de los precios internacionales, aún en zonas remotas, mucho más de lo que se obtiene por otros productos como café, banano, etc.
2. La minería de oro artesanal y a pequeña escala (MAPE) debe agregarse a la economía formal para maximizar los beneficios y permitir mejoras
3. La reducción del uso de mercurio es un paso clave para desarrollar plenamente el sector y cumplir con las normas ambientales modernas

## ¿Para quién es esta guía?

Esta guía se dirige a los estrategas, los mineros y la sociedad civil que quieran conocer las tecnologías y los enfoques necesarios para reducir y eliminar el uso del mercurio en la minería de oro artesanal y a pequeña escala (MAPE).

### Para los gobiernos:

- Herramienta de planeamiento sencilla y didáctica que abarca los aspectos técnicos de los programas de intervención y el desarrollo de políticas
- Herramienta en la toma de decisiones para conocer las mejores prácticas
- Explicación de los principios técnicos que forman la base del sector y promueven su formalización

### Para los Mineros:

- Introducción gráfica a las mejores prácticas
- Descripción de cómo las condiciones locales pueden influir las posibles mejoras en las prácticas mineras
- Explicación de los obstáculos a superar para mejorar las prácticas y reducir el uso de mercurio

### Para la Sociedad Civil:

- Herramienta educativa para comprender mejor el sector MAPE
- Explicación de las barreras que enfrentan las comunidades mineras al mejorar las prácticas mineras y reducir el uso de mercurio



## ¿Por qué preocuparse por el mercurio?

El mercurio es una neurotoxina potente, perjudicial para las personas, especialmente para los fetos en desarrollo y los niños. Una vez se emite, el mercurio puede viajar grandes distancias en la atmósfera provocando la contaminación global de ecosistemas; peces, aves y mamíferos a lo largo de la cadena alimenticia. El consumo mundial de pescado contaminado con mercurio pone a miles de millones de personas en riesgo de envenenamiento, que afecta el desarrollo y el funcionamiento del cerebro y del sistema nervioso central. La exposición local en las comunidades mineras puede ser aún más severa.



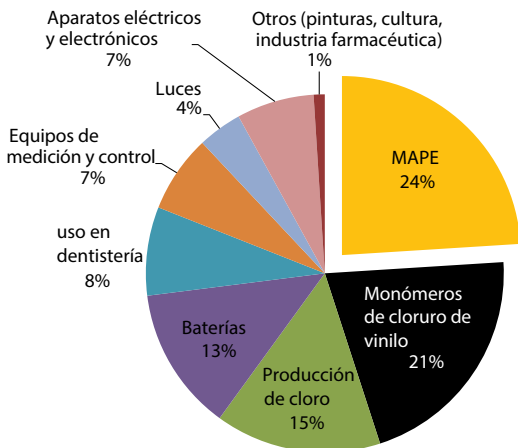


# Emissiones y consumo mundial de mercurio

## La demanda de mercurio (consumo anual)<sup>1</sup>

**Total = 4,167 toneladas**

La MAPE es el mayor consumidor de mercurio en el mundo. Se estima que a nivel global, los mineros utilizaron 1400 toneladas de mercurio en 2011 ([www.mercurywatch.org](http://www.mercurywatch.org)).

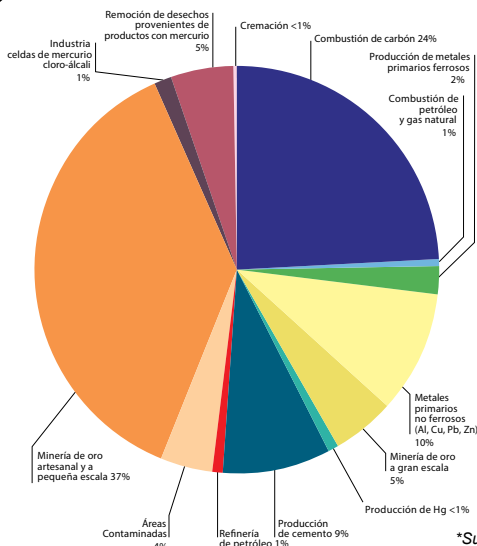


*\*Sujeto a cambios*

## Emissiones atmosféricas de mercurio<sup>2,3</sup>

**MAPE= 727 toneladas**  
**Total = 1960 toneladas**

La MAPE es la mayor fuente de contaminación ambiental por mercurio (aire y agua combinados). Sólo es superada por la combustión de carbón como la principal fuente emisora de mercurio a la atmosfera a nivel mundial.



*\*Sujeto a cambios*

[1] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Summary of Supply, Trade and demand information on mercury.

[2] Global Mercury Assessment, 2013

[3] Mercury Watch Database, [www.mercurywatch.org](http://www.mercurywatch.org), 2013

## ¿Cómo se utiliza el mercurio para captar el oro?

Cuando el mercurio entra en contacto con partículas de oro, en sedimentos o en mena triturada, forma la “amalgama” - mezcla de aproximadamente 50% de mercurio y 50% de oro. Para recuperar el oro, la amalgama se debe calentar para evaporar el mercurio. Durante varias de estas etapas, el mercurio se libera en el aire, agua y suelo.

1. Se extraen las rocas o sedimentos que contienen oro (“mena”).



2. Si es necesario, la mena se tritura para liberar partículas de oro.



4. El mercurio se agrega para extraer oro formando la amalgama (mezcla de mercurio + oro).



5. La amalgama se recoge y después se calienta para evaporar el mercurio. El oro poroso que se obtiene se conoce como “esponja de oro”.



*Nota: A diferencia de otros contaminantes, el mercurio es un elemento nativo, de símbolo Hg, que no se descompone en el ambiente. El símbolo de diamante a la derecha se utiliza para designar la emisión de vapor de mercurio y exposición humana.*



### 3. Muchas veces la mena se concentra para reducir su masa.



## ¿Por qué usar mercurio?

- Es rápido y fácil de manejar
- Una persona lo puede usar sin ayuda
- Separa el oro en casi todas las condiciones
- Es más barato que la mayoría de las técnicas alternativas
- Facilita transacciones y la división de ganancias - por ejemplo, entre trabajadores y propietarios
- Los mineros no conocen los riesgos o muchas veces no tienen el acceso ni el capital necesario para utilizar otras alternativas
- Los mineros no tienen otras opciones (instrucciones del jefe)
- Permite el procesamiento de pequeñas cantidades de mena – muchas veces clave dentro de la estructura socio-económica

### 6. La “esponja de oro” se funde para producir oro doré sólido.



### 7. El oro doré sólido se refina en oro de 24K y se vende en el comercio internacional.



## Riesgos para la salud de los mineros y sus familias



Millones de mineros, niños, mujeres en edad fértil (potencialmente embarazadas) o en periodo de lactancia, trabajan o viven en comunidades de MAPE y están en riesgo de exposición al mercurio. La imagen de arriba muestra a un hombre quemando la amalgama en frente de niños y en una zona residencial. Muchos no son conscientes del peligro. Existen métodos simples y rentables, tales como los recomendados por la ONUDI (véase en anexo 3), que pueden reducir el riesgo cuando se siguen.

Alrededor de donde se quema la amalgama, los vapores de mercurio en el aire pueden ser alarmante altos y casi siempre exceden el límite establecido por la OMS de 1.000 nanogramos/metro cúbico<sup>1</sup>. Esto pone en riesgo la salud de los trabajadores pero también de las comunidades cercanas. La exposición a niveles de vapores de mercurio superiores a 1.200.000 nanogramos/metro cúbico puede ser fatal.

[1] Información sobre los efectos del mercurio en la salud humana:  
<http://www.who.int/ipcs/features/mercury.pdf>  
[http://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/mercury/en/index.html](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/en/index.html)



En Las tiendas y los centros de procesamiento de oro donde se quema la amalgama se concentran los niveles más altos y exposición constante a los vapores de mercurio. Al igual que en una habitación utilizada por fumadores, los vapores de mercurio se absorben y se condensan en todas las superficies, por lo que estos se emiten continuamente hasta por varios meses después de la quema. Por último, estos vapores también entran al ciclo global del mercurio contaminando la cadena alimenticia.



# Capítulo 1 - El uso de mercurio en detalle

Las dos formas principales en las que se utiliza el mercurio en la MAPE son:

## 1.1 Amalgamación de la mena entera (AME)



La amalgamación del total de la mena se considera una mala práctica debido a que es ineficiente y libera gran cantidad de mercurio al ambiente.

## 1.2 Amalgamación del concentrado de mena (ACM)

*Abajo, minero en Indonesia añadiendo mercurio en el proceso de AME. Las imágenes a la derecha muestran la amalgamación del concentrado de mena; aquí el mercurio se agrega al concentrado para producir la amalgama, la cual se calienta para remover el mercurio y así producir la esponja de oro.*





## 1.1 Amalgamación de la mena entera (AME)

En este proceso el mercurio se pone en contacto con 100% de la mena (o roca total) y se puede realizar de varias maneras (ver los ejemplos presentados en las fotos siguientes).

La AME es una mala práctica porque:

- La cantidad de mercurio usado varía de alta (4 partes de mercurio por cada parte de oro recuperado) a muy alta (20 o más partes de mercurio por cada parte de oro). En casos extremos, por ejemplo cuando la mena es rica en plata, la proporción puede ser de 50 por 1.
- La técnica es ineficiente – pocas veces se puede recuperar más del 30% del oro, lo que resulta en grandes pérdidas de mercurio que terminan en las colas (o relaves, es decir los residuos).
- Grandes cantidades de mercurio terminan en las colas debido a que el proceso mecánico produce gotas diminutas y dispersas (“harina de mercurio”), imposibles de capturar, lo que resulta en sitios contaminados con mercurio que son muy difíciles de limpiar.

### **ejemplo**

*Amalgamación de la mena entera en zarandas (con mangueras). El mercurio se vierte en tambores trituradores de acero junto con la mena, en donde la amalgamación ocurre al mismo tiempo que el mineral se tritura (Indonesia).*





Más  
práctica



**ejemplo**

*AME: "Quimbalete": El mercurio se mezcla con el mineral en un mortero de roca. La amalgama se produce en la molienda con cantos rodados (Perú).*

En la mayoría de los casos, la AME se puede reemplazar por otro proceso que primero produce un concentrado del que se recupera oro en cantidades iguales o mayores, sin necesidad de utilizar mercurio.



**ejemplo**

*Planchas de cobre: La pulpa con la mena triturada se vierte sobre placas de cobre recubiertas con mercurio. Las partículas de oro se adhieren al mercurio y la amalgama se recupera raspando (Colombia).*

## 1.2 Amalgamación del concentrado de mena (ACM)



En esta técnica primero se concentra el oro en masas pequeñas antes de la amalgamación - típicamente se utiliza la gravedad. El mercurio se usa sólo en el concentrado que contiene los minerales más pesados y el oro. En la ACM la proporción de mercurio que se utiliza por oro producido es mucho menor que en la amalgamación de la mena entera (generalmente de 1 por 1 a 1.3 por 1), y muy poco o nada queda en las colas. Aunque con esta técnica se libera menos mercurio en el ambiente que con la AME, todavía puede resultar en la exposición humana significativa al inhalar el vapor de mercurio cuando no se utilizan equipos de seguridad como retortas o extractores.

### **ejemplo**

*Este ejemplo comienza en una canaleta (o canalón), sin embargo, se pueden utilizar otros métodos para la etapa de concentración.*

**1** *Producción del concentrado: en este caso se utiliza una canaleta. Cuando la pulpa pasa por la superficie inclinada de la canaleta, las partículas de oro, que son más pesadas, quedan atrapadas en las alfombras.*



**2** *El concentrado se recoge mediante el lavado de las alfombras en cubetas, a menudo utilizando detergente o jabón de baño.*



**3** *El mercurio se añade al concentrado.*



4 El mercurio se mezcla con el concentrado, muchas veces a mano, atrayendo partículas de oro y formando un líquido pesado que se deposita en la parte inferior de la cubeta.

5 El mercurio, que ahora contiene el oro, se separa cuidadosamente del concentrado por medio de bateas.



6 La mezcla de oro-mercurio se filtra a través de telas para separar el mercurio líquido (para reutilizarse) de la "amalgama" blanda de color plata, la cual contiene típicamente alrededor de 50% de oro y 50% de mercurio.



7 La amalgama se calienta para evaporar el mercurio dejando la "esponja de oro". Este nombre hace referencia a su textura porosa.

## Capítulo 2 - Soluciones

Este capítulo presenta soluciones técnicas para reducir el uso de mercurio en la MAPE. Existen varias opciones para mejorar las prácticas y reducir el uso de mercurio en cada etapa del proceso minero, muchas veces reduciendo costos mediante mejoras tecnológicas y mayor eficiencia.

En este capítulo se considera:

Cómo identificar las soluciones apropiadas y cuáles pueden funcionar

Cómo reducir el uso de mercurio por medio de la mejora en el proceso de concentración

Cómo reducir el uso de mercurio mediante mejores prácticas

Cómo eliminar el uso de mercurio usando tecnologías libres de mercurio



Los niños en esta foto son de una comunidad de MAPE en Mozambique que está en transición hacia un estatus formal y legal, que incluye mejores prácticas, una reducción del uso de mercurio y mejor calidad de vida.



## 2.1 Identificación de soluciones adecuadas

La reducción en el uso de mercurio tiene más posibilidades de ser aceptada y de convertirse en la norma si, al introducir las nuevas tecnologías, los ingresos de los mineros aumentan o se mantienen constantes. Esto se puede alcanzar de varias maneras, incluyendo:

1. Minimizar o eliminar la necesidad de usar mercurio u otros reactivos, ahorrando costos
2. Ahorrar tiempo con el desarrollo de un proceso más eficiente
3. Recuperar más oro mediante la mejora de las técnicas extractivas, lo que podría incluir el uso de nuevas tecnologías o mejorar el uso de la tecnología existente
4. Obtener un mejor precio para el oro siguiendo los estándares que permitan obtener un mejor precio de mercado. Un ejemplo es el estándar Fairtrade-Fairmined para oro de MAPE desarrollado por la Alianza por la Minería Responsable (ARM) y la Fair Trade Labelling Organisation (FLO). Esta iniciativa brinda a los mineros una prima por seguir buenas prácticas a través del comercio justo

### Enfoque de dos etapas

Las intervenciones técnicas para la reducción en el uso de mercurio pueden seguir un enfoque gradual en dos etapas o, si es viable, implementar el paso dos directamente:

Etapa 1- Reducir el uso y las emisiones de mercurio a través de prácticas mejoradas que utilicen menores cantidades del elemento. Esto incrementa (o por lo menos sostiene) los ingresos de los mineros, crea conciencia, mejora la salud al disminuir la exposición, y permite establecer las relaciones positivas necesarias para alcanzar el paso 2.

Etapa 2- Eliminar el uso de mercurio utilizando tecnologías alternativas que permitan sostener o incrementar los ingresos de los mineros, y que sean mejores para la salud y para el ambiente.

# Diagrama de soluciones - ¿Cuáles funcionan?

Utilice este diagrama para determinar el estado de la operación de M. Este diagrama se considera como una guía general, las soluciones pueden

En el capítulo dos se describen muchas de estas soluciones en detalle.

El anexo II incluye una lista de varias intervenciones técnicas que compara los requisitos para cada proceso en orden ascendente en costos.

## EXPLORACIÓN Y PLANIFICACIÓN

La colaboración con los mineros artesanales en la etapa de exploración apoya los esfuerzos para reducir y eliminar el uso de mercurio. Vea la sección 2.7 para más información.

## Extracción y Concentración

- Excavación insegura
- Trituración y molienda inadecuadas
- Uso inadecuado de canaleta manual
- Uso inadecuado de canaleta mecanizada
- Planificación inadecuada

- Planificación de la excavación
- Extracción segura de mena
- Trituración y molienda eficientes
- Uso mejorado de canaleta manual
- Separación en batea mejorada
- Protocolos de operación establecidos

- Planificación de la excavación
- Extracción segura de mena
- Trituración y molienda avanzada
- Uso eficiente de canaleta
- Concentración mejoradas
- Protocolos de operación estandarizados

APRE y evaluar cuáles son las soluciones aplicables. Este puede variar de acuerdo con cada operación.

## Procesamiento



## Refinación

- Amalgamación de la mena entera
- Lixiviación del mercurio
- Quema de la amalgama al aire libre
- Ningún control en el proceso
- Poco o ningún manejo de desechos

- Falta de extractores
- Manejo inadecuado de químicos
- Ensayes de pureza inadecuados

**Mala práctica**

- No amalgamación de mena entera
- Amalgamación de concentrados
- Uso de retortas / extractores
- Reactivación de mercurio
- Control básico del proceso
- Manejo básico de desechos

- Uso de extractores
- Manejo adecuado de químicos
- Ensayes de pureza adecuados

**Práctica Mejorada**

- Métodos sin mercurio
- Lavado y clasificación de concentrados
- Fundición directa
- Lixiviación
- Control avanzado del proceso
- Manejo avanzado de desechos

- Uso de extractores
- Mejor manejo de químicos
- Ensayes de pureza estandarizados

**Mejor Práctica**

## 2.2 Extracción y concentración

### Separación del oro (trituración y molienda)

Antes de concentrar el oro es necesario “liberarlo”. En el caso de los depósitos aluviales, el oro se presenta como partículas libres y no requiere separación. Sin embargo, en la mayoría de los otros tipos de depósitos el oro se encuentra asociado a otros minerales y se debe separar antes de su concentración. Esto se logra con la trituración (o chancado) y molienda de rocas hasta su pulverización. El nombre técnico del proceso es “conminución”.

La trituración y molienda son procesos de múltiples etapas. La trituración primaria se puede hacer manualmente usando martillos, o con máquinas, tales como las trituradoras de mandíbula. Esto genera gravas que se deben moler hasta su pulverización. Una molienda adecuada produce material de tamaño uniforme y suficientemente fino para separar el oro. Existen muchos tipos de molinos usados en la MAPE, algunos requieren agua (molienda húmeda) y otros no (molienda seca).



Las rocas se trituran manualmente usando martillos (no se muestran) y después se muelen utilizando molinos de bolas (Tanzania, 2010).



Aunque ineficientes, los molinos de harina usados tradicionalmente para maíz y mijo se utilizan para moler roca. Los mineros tienen que procesar el material hasta tres veces para lograr una molienda adecuada (Nigeria, 2011). Este método seco produce enormes cantidades de polvo nocivo para la salud.

En el estado de Zamfara, en Nigeria, menas ricas en plomo procesadas por este método de molienda causaron una epidemia severa de envenenamiento por plomo. Niños ingirieron accidentalmente fragmentos de suelo contaminado por el polvo de molienda rico en plomo. Para obtener más información, véase en el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades US: “Lead poisoning Zamfara, Nigeria”.







El uso del molino de martillos se ha generalizado en la MAPE de muchos países; estos funcionan con motores de 20-30 caballos de fuerza. El operador agrega manualmente la roca al molino en donde los martillos golpean la mena que posteriormente pasa por un tamiz. El material pasa directamente a una canaleta que produce un concentrado que se amalgama con mercurio. En la foto de arriba se observa un ejemplo de este proceso (Mali, 2011). Debido al control inadecuado del tamaño de grano (véase la página siguiente), este método rara vez recupera más del 30% del oro contenido en la mena.



*Foto: Molino californiano (o de pistones) que reduce las rocas al tamaño de una arveja como proceso de trituración primaria (Sulawesi, Indonesia, 2007).*

## La importancia del tamaño de grano

La generación de concentrados se facilita si las partículas tienen un tamaño de grano similar, por lo que se deben utilizar tamices para separar (tamizar) el material. El uso de tamices es un proceso sencillo y barato, y puede mejorar la recuperación del oro en muchas áreas de la MAPE.



*Fotos arriba e izquierda - Mineros trituran las rocas manualmente con un mortero de acero (no se muestra). Posteriormente tamizan el material triturado para producir pilas de mena fina que pasan a la etapa de concentración (Mali, 2011).*

*Esta foto muestra el tamiz de la parte inferior de un molino de martillos. El tamaño de la malla del tamiz es alrededor de 2 mm, lo que significa que el material que pasa a través del tamiz tendrá un tamaño máximo de 2 mm (Burkina Faso, 2011). Este tamaño es muy grueso para la mayoría de las menas y una gran cantidad de oro no alcanza a separarse o recuperarse.*



Es importante conocer el tamaño de grano de las partículas de oro con el fin de separarlas de manera adecuada y eficiente durante la molienda. Se considera que la molienda es efectiva cuando el tamaño de grano es menor de 0,5 mm (0,02 pulgadas; malla 35); pero en muchos casos en la MAPE, la mena sólo se muele hasta 2 mm (0,08 pulgadas; malla 10) lo que resulta en una precaria separación del oro. Es por esto que es importante realizar pruebas de separación y de recuperación para mejorar la recuperación del oro.

*En muchos depósitos de roca dura, el oro no se presenta como "oro visible" por lo que es necesario moler la roca hasta producir un polvo fino para que las partículas de oro se separen. (producto de un molino de bolas, Mozambique, 2009).*



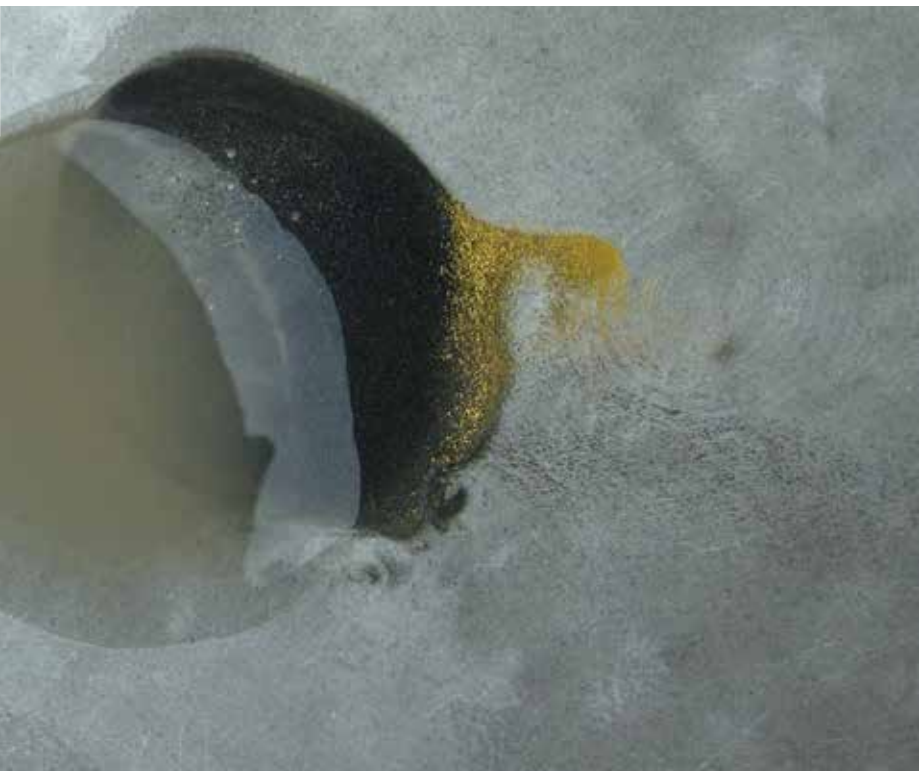
## 2.3 Mejoras en la concentración

La producción de concentrados es una etapa esencial de la minería aurífera y cuando se realiza de manera adecuada, el uso de mercurio se puede reducir, incluso eliminarse completamente.



La concentración se realiza de varias maneras y en varias etapas; la gran mayoría utilizan la gravedad para separar las partículas pesadas, como el oro, de las partículas más ligeras. La concentración reduce la masa del material a procesar y elimina la necesidad de amalgamar la roca entera (AME); por tanto, reduce la cantidad de mercurio necesaria para la amalgamación, hasta aproximadamente una parte de mercurio por una parte de oro recuperado (1 a 1). Además, si se recicla el mercurio, las pérdidas se disminuyen hasta en un 95%. Si la concentración se tecnifica, es posible eliminar el uso de mercurio por completo.





La selección de una tecnología (o tecnologías) en el proceso de concentración depende del tipo de depósito, del tamaño de grano y de la mineralogía del oro, del acceso al capital y del conocimiento técnico necesario para la adquisición y operación de los equipos de procesamiento. El Anexo II proporciona una lista general de los requisitos y de los costos de varias intervenciones técnicas. Muchas de las intervenciones más costosas sólo son accesibles para los mineros con operaciones formalizadas y acceso al capital.

Los mineros pueden perder entre el 25 y 75 % del oro debido a malas prácticas en el proceso de concentración. Esto puede generar colas con cantidades significativas de oro; las cuales se pueden re-procesar con otros métodos tales como la lixiviación.

## Canaletas (canalones o canales)



Las canaletas funcionan bajo el principio de que, en un corriente de agua, las partículas más pesadas se depositan en el fondo, mientras que las partículas más ligeras continúan en la corriente y se descargan corriente abajo. Una superficie rugosa, como una alfombra, atrapa el oro y otras partículas pesadas. Así como una bola rueda por una pendiente, el flujo y el momento aumentan con la distancia, por lo que el mecanismo de captura es menos efectivo al final de la canaleta, en particular para el oro fino. Por esto, en las canaletas sencillas la mayoría del oro se atrapa en el primer metro, como en la que se observa en la parte inferior. Modelos más sofisticados pueden evitar este problema (véase la página siguiente y la página 60).

Para que el funcionamiento de la canaleta sea eficiente es clave un suministro constante de agua. Al utilizar cubetas para agregar pulpa y agua se producen sobrecargas en el flujo que pueden levantar las partículas de oro atrapadas en las alfombras, reduciendo la recuperación. Esto se evita si se utiliza un tanque, por ejemplo de gasolina, que mantiene el flujo consistente en la canaleta (ver foto en el lado opuesto).

*Canaleta grande construida con madera y recubierta con plásticos y alfombras (Indonesia).*





*La disponibilidad y el suministro de agua son importantes para el uso eficiente de las canaletas.*

*Arriba - Tanque de combustible con agua. Las mangueras se utilizan para abastecer las canaletas con agua (Tanzania).*

*A la derecha - La canaleta se suministra con agua a través de un tubo de plástico con agujeros (Liberia).*

Canaletas en zigzag, en donde la de encima arroja material a una segunda canaleta, se pueden utilizar para disminuir la velocidad de flujo y por lo tanto aumentar la recuperación de oro.



Las canaletas tienen generalmente un ángulo de inclinación de 5 a 15 grados. La combinación de dos canaletas puede ser la combinación óptima para la recuperación de oro. A estas se les conoce como primaria y de barrido (o scavenger) (ver también página 60).

*A la derecha - Canaleta en zigzag que se limpia al terminar el día (Suriname).*



## Concentradores Centrifugos (centrífugas)



Una centrífuga consiste en un tazón giratorio que tiene una serie de crestas que atrapan el oro cuando el tazón gira. La fuerza aplicada al material (mena molida, concentrado de mineral pesado, arenas aluviales, etc.) puede ser de 50 a 200 veces la fuerza de gravedad, produciendo una separación del oro de los minerales más ligeros más efectiva respecto a otros sistemas que dependen únicamente de la gravedad. Generalmente, la mena entra al sistema como una pulpa semi-líquida con 60-75% de agua (40-25% de sólidos). Mientras el tazón gira las partículas más pesadas, incluyendo el oro, se atrapan en las crestas mientras que los minerales ligeros fluyen hacia arriba y se expulsan como colas.

Para las pequeñas centrífugas el ciclo de operación toma de 0.5 a 2 horas y al terminar, el concentrado se debe remover de las crestas (véase página siguiente).



*Izquierda - La máquina Icon™, desarrollada por Falcon Concentrators, está diseñada para procesar hasta 2 toneladas de mineral por hora. Los modelos de este tipo tienen un costo de entre 5000-10,000 US\$. Abajo - Centrífuga construida en Zimbabwe que utiliza barras de turbulencia para mover el concentrado. Esta centrífuga no es eficiente pero es relativamente barata, con un valor alrededor de 1,000-2,000 US\$.*







Existen gran variedad de diseños y precios para las centrifugas. Las más costosas tienen una mejor ingeniería y por lo tanto, mayor eficiencia y rendimiento.

En general, el uso de una centrifuga requiere:

- Que la pulpa que entra al sistema tenga un tamaño de grano relativamente uniforme (es clave la buena trituración y tamizaje)
- Acceso a agua para el procesamiento
- Acceso a una fuente de energía
- Capital de inversión (varios miles de dólares)

Las centrifugas se deben calibrar de acuerdo al tipo de mena y se deben de operar con diligencia. Esto se logra ajustando el tamaño de grano (control de molienda), la velocidad de alimentación, la velocidad de rotación y la duración del ciclo. Uno de los mayores problemas es el mantener el concentrado activo (evitando la compactación entre las crestas) – Lo que garantiza que las partículas pesadas de oro reemplacen las partículas más ligeras, las cuales se expulsan fuera del tazón.

## Concentradores en espiral



Los concentradores en espiral pueden mejorar la concentración. Estos son bateas especiales montadas sobre un eje inclinado con ranuras en espiral en la superficie. Los concentradores pueden utilizar concentrados de pocos cientos de gramos hasta muchos kilogramos. El concentrado producido es apto para un procesamiento sin mercurio, como la fundición directa (véase página 52).

Normalmente la batea gira impulsada por un motor de baterías pequeño mientras se vierte agua sobre las espirales. El concentrado se agrega con una pala pequeña en el fondo de la batea. Las partículas más pesadas se transportan en las espirales hacia la parte superior de la batea, mientras que el agua transporta las partículas ligeras hacia abajo. Las partículas pesadas, incluyendo el oro, se recogen en la batea hasta caer a una taza a través de un agujero en el centro de la misma.

*Minero usando un concentrador de espiral como última etapa de concentración (América del Norte).*



## Ciclón (o vórtice)



Los ciclones pueden mejorar la concentración. Estos son particularmente efectivos para captar oro fino en la etapa final de la producción de un concentrado de alto tenor.

El agua se inyecta lateralmente a un tazón de 30-50cm a través de un tubo o manguera, lo que genera un remolino que se drena por un agujero elevado en el centro.

El concentrado se vierte en el tazón y, al girar el agua, las partículas ligeras se suspenden mientras que las partículas más pesadas (como el oro) quedan atrás. Las partículas suspendidas pasan por el agujero elevado a una cubeta.

El flujo se puede suministrar con una pequeña bomba o un recipiente de agua elevado. Para obtener mejores resultados se debe usar agua limpia. Los ciclones son baratos y fáciles de operar.



*Ciclón con tazón azul*



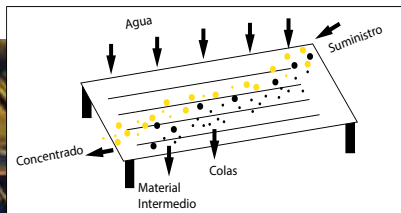
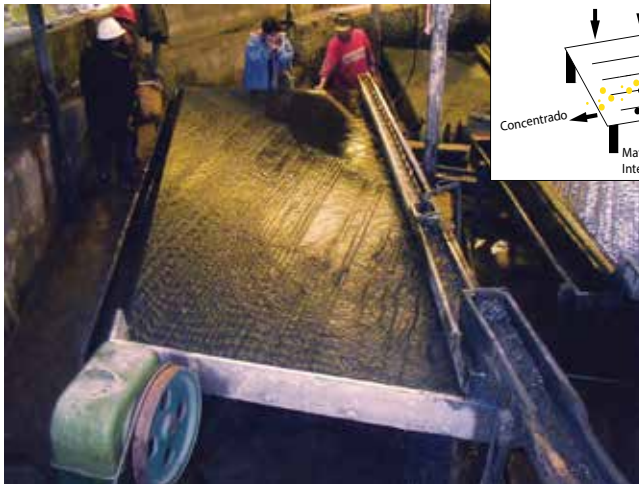
*Oro fino  
producido en  
un ciclón*

## Mesas concentradoras (o vibratorias)



Las mesas concentradoras tienen una leve inclinación, una depresión (o canal) a lo largo de su borde inferior y crestas ligeramente elevadas en su longitud. El mineral y el agua se vierten en el borde superior de la tabla y esta vibra impulsada por un motor. La inclinación, el flujo de agua y la vibración resultan en el movimiento de partículas hacia la esquina inferior de la tabla. Las partículas ligeras son más fáciles de lavar sobre las crestas que las pesadas, separándose a lo largo de la tabla y generando un concentrado pesado rico en oro (ver esquema).

Estas mesas proveen una excelente separación del oro y producen concentrados de alto tenor de más del 50%. El oro se debe extraer previamente del concentrado utilizando otros procesos (como gravedad, química, o fundición directa). No obstante, las mesas pueden ser costosas y requieren cuidado y entrenamiento para su buen funcionamiento; por esto, sólo son accesibles para mineros a pequeña escala, organizados y con acceso a capital.



*Esquema de una mesa concentradora.*

*Mesa concentradora grande utilizada en una planta de procesamiento a pequeña escala, libre de mercurio, en Mongolia.*

*Fotografía que muestra el mecanismo de separación de una mesa – el oro amarillo se separa de las arenas negras menos pesadas. Las partículas se dirigen hacia las ranuras en la superficie de la mesa.*





## Flotación



La flotación separa los materiales aprovechando las diferencias en las propiedades de sus superficies. Se utilizan agentes químicos para que los minerales floten formando una espuma rica en minerales que posteriormente se separa de la mezcla para producir un concentrado. La flotación es uno de los principales procesos para concentrar sulfuros y oro de la minería a gran escala, pero también se puede aplicar a la pequeña escala.

El principio base de la flotación es la capacidad de adherir burbujas u otros materiales flotantes a la superficie de un mineral – una función de su “mojabilidad”. Un mineral hidrofílico es aquel que se humedece fácilmente, mientras que un mineral hidrofóbico es repelente al agua. Minerales como silicatos, sulfuros, óxidos y carbonatos se pueden separar por flotación – incluso aquellos que tienen densidades similares y son difíciles de separar por gravedad. Es por esto que la flotación facilita el procesamiento de menas complejas, incluyendo las que son difíciles de procesar con métodos gravimétricos.

*Derecha – Este sistema de flotación comienza con una trituradora, luego un molino, posteriormente una canaleta para captar oro grueso y después una celda de flotación. Un concentrado de sulfuros rico en oro se separa del sistema utilizando un remo. El oro en el concentrado se extrae con cianuro (Ecuador).*



### Las 3 etapas de la flotación:

1. Agregue un agente químico a la pulpa (mena triturada y agua) para hacer los minerales hidrofóbicos
2. Mezcle la pulpa para transportar los minerales deseados hacia arriba y crear una espuma en la superficie (rica en minerales)
3. Separe la espuma mineral de la celda de flotación para producir el concentrado

# Imanes



A menudo se utilizan imanes como herramientas para mejorar la concentración y remover minerales magnéticos – usualmente magnetita. Los minerales magnéticos son generalmente de color oscuro, pero hay varios que pueden ser de color bronce y tienen un lustre metálico, como la pirrotina (sulfuro).



Se utiliza un imán de mano para remover los minerales no deseados, teniendo cuidado de no perder el oro. Para esto se usa un imán debajo (o encima) de la batea para separar los minerales magnéticos de los no magnéticos; lo cual también incrementa la intensidad del magnetismo en algunos minerales. Un pedazo de papel o de plástico se puede utilizar para cubrir el imán para que los minerales se remuevan fácilmente.





También se utilizan imanes en el fondo de canaletas formando una “carpetita de magnetita”. En ciertos casos, las canaletas magnéticas pueden mejorar la eficiencia en la recuperación de oro fino en los concentrados. Se instala una capa magnética delgada en una canaleta pequeña en donde las partículas del mineral magnético se recogen en la superficie, las cuales forman una capa en la que se depositan partículas de oro fino. La canaleta contiene bandas magnéticas polarizadas en su extensión.



## 2.4 Procesamiento y refinación

### Evite la quema de la amalgama al aire libre



Después de que se produce la amalgama, esta se debe quemar con el fin de evaporar el mercurio del oro. Generalmente esto se hace al aire libre, liberando el vapor de mercurio en el ambiente (“quema al aire libre”). Otra alternativa es quemar la amalgama dentro de un aparato que captura el mercurio, como una retorta o extractor (“quema en circuito cerrado”).

La quema de la amalgama al aire libre es una mala práctica que se presenta en la etapa de procesamiento y refinación. Al quemarse la amalgama, el mercurio se separa como un vapor altamente tóxico, invisible e inodoro. Esto afecta a mineros, operadores de tiendas de oro, familias y la comunidad en general. El problema se intensifica cuando las tiendas de oro se encuentran en centros urbanos en donde mucha gente está expuesta sin saberlo. Además de esto, el mercurio entra a la atmósfera generando la contaminación global de ecosistemas y la cadena alimenticia – peces en particular.



*Exposición severa por inhalación de vapores de mercurio: Arriba – La amalgama se calienta en leños y se sopla para aumentar la temperatura (Mozambique). Izquierda – Minero joven calienta la amalgama usando una vela y una cuchara de acero (Indonesia).*



*Las tiendas de oro que no utilizan extractores generalmente presentan concentraciones aéreas de mercurio extremadamente altas – aún cuando no se está quemando la amalgama.*



*Se utilizan chimeneas altas cuando se calientan cantidades grandes de amalgama producido por la amalgamación de mena entera (AME) en Kalimantan central. Esto se realiza al reconocer a los efectos negativos para la salud al respirar el vapor de mercurio y con el fin de procurar su reducción en la comunidad. No obstante, este método no reduce el impacto ambiental a gran escala y resulta en exposiciones directas importantes. Existen mejores prácticas – como la eliminación de la AME, la amalgamación de concentrados y el uso de retortas.*



Aunque la idea es pasar a un procesamiento y refinación libre de mercurio, la reducción en su uso se considera un primer paso concreto, que genera una plataforma para, con el tiempo, adoptar prácticas libres de mercurio.

## 2.5 Mejoras en el procesamiento y refinación

### Retortas



Con el fin de evitar la quema al aire libre, el mercurio en la amalgama se puede capturar y reciclar utilizando una retorta o extractor. Los modelos sencillos y económicos pueden reducir emisiones en un 75 a un 95%. El reciclaje de mercurio disminuye nuevas compras y por tanto, al reducir el consumo de mercurio, se disminuyen los costos para mineros y tiendas de oro.

La captura y el reciclaje de mercurio constituyen un primer paso efectivo en el cambio a un procesamiento libre de mercurio.



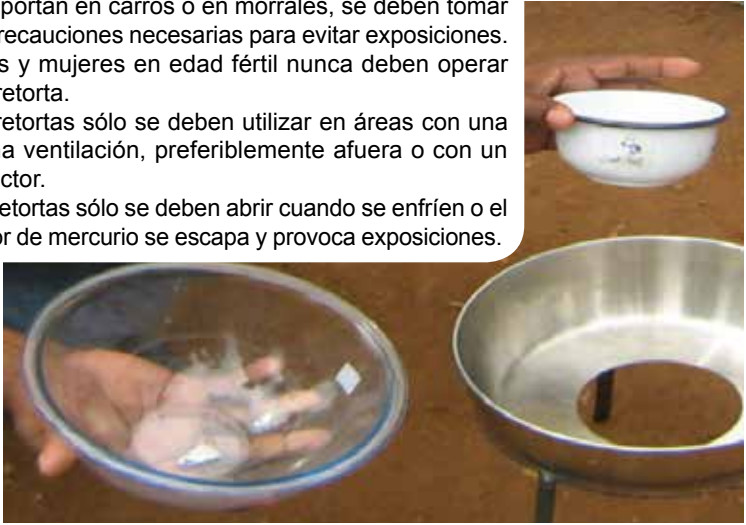
Las retortas calientan la amalgama en una de sus partes y enfrían y condensan el vapor de mercurio en otra, permitiendo la re-utilización del mercurio.

(1) La amalgama se vierte en una retorta de acero inoxidable; (2) La retorta se cierra herméticamente y se coloca en un calentador a gas; (3) El vapor de mercurio se separa de la amalgama, se condensa en el tubo de acero y se precipita en gotas en un contenedor con agua fría. Al enfriarse la retorta se puede abrir y recuperar el oro.



## Precauciones importantes

- Al utilizar la retorta o el extractor, estos quedan contaminados con mercurio y se deben manipular con cuidado – se deben guardar en un lugar seguro y si se transportan en carros o en morrales, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar exposiciones.
- Niños y mujeres en edad fértil nunca deben operar una retorta.
- Las retortas sólo se deben utilizar en áreas con una buena ventilación, preferiblemente afuera o con un extractor.
- Las retortas sólo se deben abrir cuando se enfríen o el vapor de mercurio se escapa y provoca exposiciones.



Existen varios tipos de retortas dentro de la MAPE. Se puede escoger un modelo de acuerdo con las necesidades específicas. Arriba, derecha – Tres piezas necesarias para una retorta tipo “tazón de cocina”: tazón de vidrio, batea de metal, y taza esmaltada; retortas de bajo costo y diseño sencillo (Colombia).

Abajo, derecha – Retorta tipo “tazón de cocina” que utiliza arenas húmedas para sellar los bordes del tazón de vidrio volcado (Reunión de CASM, Comunidades y Minería a pequeña escala, en Mozambique).

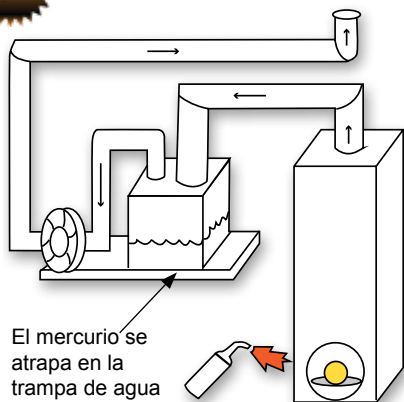
Abajo, izquierda – Retortas grandes fabricadas para procesar cantidades considerables de amalgama (Indonesia). Existen gran variedad de diseños.



## Extractores (o chimeneas)



Como las retortas, los extractores diseñados con sistemas de captación de mercurio pueden reducir las emisiones y el riesgo de exposición. Un extractor bien diseñado y asequible puede captar hasta un 80% de las emisiones. Sistemas altamente sofisticados pueden capturar mucho más, aunque son más costosos y su manejo complicado. A continuación se presentan dos diseños diferentes.



**ejemplo** El condensador de mercurio tipo “waterbox” (caja de agua) es una adición económica y fácil de construir para un pequeño extractor que se utiliza en muchas tiendas de oro. El vapor de mercurio se mueve por medio de un ventilador. El vapor se convierte en burbujas dentro de un recipiente plástico en donde se enfría. Esto resulta en la condensación del mercurio y su depositación debajo del agua, aislado de la atmósfera. Este se puede recoger y reutilizar.

Arriba, derecha – Esquema básico de una trampa de agua; abajo y derecha – Extractores en tiendas de oro, mostrando ventiladores de 100 watt y la tubería instalada.







**ejemplo** Este extractor, diseñado por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), utiliza canecas de gasolina, placas de impacto, y un ventilador para atrapar los vapores de mercurio. En general la caneca se encuentra adjunta al tubo de escape del extractor y el mercurio se recoge en la caneca.

El mercurio reciclado se debe manejar con cuidado para evitar contaminación y exposición. Igualmente, este se debe recoger y mantener en un sitio seguro. Una manera adecuada de almacenarlo es sellarlo herméticamente en un recipiente de vidrio, acero o plástico, y sumergirlo en agua para prevenir su evaporación.

# Activación del mercurio



El mercurio es menos eficaz en la amalgamación cuando, al reutilizarse, se contamina con otras sustancias o se oxida - ver foto en la parte inferior. Existe un método que sirve para limpiar y activar el mercurio desarrollado por el Dr. Freddy Pantoja (Colombia), el cual utiliza una solución con sal y una batería para limpiar y “activar” el mercurio. El producto amalgama al oro eficazmente, lo que resulta en la disminución en el consumo y evita que los mineros arrojen el mercurio utilizado en el ambiente.



## Etapas

- 1 Vierta el mercurio en una taza de plástico, vidrio o cerámica. No utilice una taza de metal ya que este es un conductor de corriente eléctrica.
- 2 Agregue una cucharada de sal en un vaso con agua; al disolver la sal, vierta la solución sobre el mercurio. También se puede utilizar hidróxido de Sodio (conocido como lejía o soda cáustica) – produce derivados menos tóxicos como cloruros y es menos corrosivo con los alambres de cobre.
- 3 Conecte los cables de cobre. El polo negativo de una batería de 9V o 12V se conecta al mercurio, y el polo positivo a la solución – una batería de carro o de moto también puede funcionar. La superficie del mercurio se limpia en 5 a 10 minutos. La activación se puede realizar justo antes de la amalgamación con el fin de garantizar el uso mínimo de mercurio y la máxima recuperación del oro.

*Los alambres de cobre se utilizan para conectar la batería al mercurio y la solución salina.*





*Izquierda – Batería de 9V usada en la activación del mercurio. También sirven seis baterías comunes de 1.5V conectadas en serie.*

*Derecha - Después de la activación la superficie del mercurio se presenta como un espejo limpio reflectante; se debe mantener sumergido en agua para evitar el escape de vapores de mercurio.*



- ④ Para obtener mejores resultados, el mercurio se puede filtrar por un agujero. Para esto haga un pequeño agujero (<1mm) en el centro de un pedazo de papel y vierta cuidadosamente el mercurio – la mugre y los óxidos quedan atrapados en el papel. Este método sirve para limpiar mercurio aún cuando no se ha activado.

*Mercurio activado guardado en un lugar seguro: una botella de vidrio durable, con agua, sellada herméticamente, y etiquetada mercurio y tóxico.*



## 2.6 Eliminación del uso de mercurio: Procesos sin mercurio



### Sólo gravedad

La gravimetría es uno de los procesos más utilizados para la concentración del oro en la MAPE; es un sistema eficaz debido a que el oro es pesado, aproximadamente 7 veces más pesado que una roca del mismo tamaño. Existen varios métodos de concentración gravimétrica que van de los más básicos, como el bateo o las canaletas, hasta sistemas complejos como las centrifugas y las mesas concentradoras.



#### Bateas

Las bateas son muy comunes en la MAPE. Al batear con agua las partículas más ligeras se mueven hacia los bordes mientras que las más pesadas, incluyendo el oro, se depositan en el fondo de la batea – el oro es 19 veces más pesado que el agua, el mercurio, 13 veces, y las rocas comunes sólo son 3 veces más pesadas. El bateo funciona mejor cuando el oro es grueso y libre.





La secuencia de imágenes arriba muestran mineros bateando el concentrado producido en una canaleta (1,2), su posterior secado y calentamiento (3) lo que permite remover los minerales magnéticos (4) y producir oro de alto tenor (5). Este proceso requiere aproximadamente 1.5 horas.

## Fundición directa

- Primero se produce una pequeña cantidad de concentrado de alto tenor (ya sea con una batea o una mesa concentradora) que se funde para separar el oro de otros minerales.
- Este método también se conoce como el “método bórax” ya que muchas veces se utiliza tetraborato de sodio (bórax) al final del proceso para facilitar la fundición. Sin embargo, este nombre es incorrecto porque una “mejor concentración” (molienda, canaletas y concentración) es donde se requiere el mayor conocimiento y cuidado, no al final de la fundición, la cual se puede realizar con otros químicos. El nombre apropiado es fundición directa.
- Muchas tiendas de oro realizan un proceso similar para producir oro doré del polvo de oro o la esponja de oro.
- Una concentración eficiente es clave para la fundición directa.

La fundición directa es un proceso alternativo que no utiliza mercurio. No obstante, es importante saber que este no es un reemplazo directo del mercurio ya que no se aplica en la misma etapa de procesamiento. El mercurio se aplica generalmente a grandes cantidades de concentrado – por ejemplo 20 Kg provenientes de una canaleta – mientras que la fundición directa se realiza con pequeñas cantidades de concentrado de alto tenor con un peso menor a 100 g. Si se está trabajando con el concentrado de una canaleta se debe efectuar una concentración adicional además de la etapa en la que se utiliza el mercurio con el fin de realizar una fundición directa.

A continuación y en la página siguiente se presentan dos ejemplos de fundición directa.

### Ejemplo #1: Fundición directa en las Filipinas

- ① *La cantidad del concentrado se reduce con una batea hasta que haya más de 25% de oro, teniendo cuidado de que el oro no se pierda. El proceso se realiza con varias bateas (abajo).*



- ② *El concentrado se recoge y se mezclan cantidades iguales de bórax. Se vierten aproximadamente 50 gramos de la mezcla en una bolsa pequeña.*

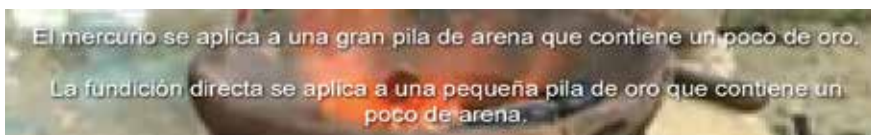
## Información sobre la fundición directa

Para calentar se requiere de energía y tiempo, y siempre hay pérdidas de energía; esto significa que si se dobla la cantidad de concentrado se necesita más del doble del tiempo si se aplica la misma cantidad de energía. Por tanto, la fundición directa es difícil de utilizar en concentrados de gran masa.

La fundición directa se considera un método atractivo cuando se tienen cantidades pequeñas de concentrados de alto tenor que no presentan pérdidas de oro significativas en la etapa de concentración. Masas de 50 a 100 gramos se consideran adecuadas.

En algunos casos, cuando el concentrado contiene oro asociado a otros minerales y se pierde muy poco oro en la etapa de concentración, la fundición directa puede generar más oro que un proceso con mercurio.

En otros casos, por ejemplo cuando el oro se encuentra libre y es de grano fino, las pérdidas de oro durante la etapa adicional de concentración pueden disuadir del uso de la fundición directa.



El mercurio se aplica a una gran pila de arena que contiene un poco de oro.

La fundición directa se aplica a una pequeña pila de oro que contiene un poco de arena.

③ Se pre-calienta una pequeña cantidad de bórax (5kg) en un crisol de cerámica con un soplete.

④ La bolsa plástica se ubica en el crisol y se calienta con carbón de leña y por 5-15 minutos incrementando el calor con un ventilador. El resultado es oro dorado sólido.



## Fundición directa (cont.)

### Ejemplo #2: Fundición directa en Ghana<sup>1</sup>

El kit de fundición directa Ghanés sirve para fundir aproximadamente 50g de concentrado en 20 minutos. Este se considera un sistema bien diseñado que produce resultados consistentes y de alta calidad. Calentar una gran cantidad requiere más tiempo y combustible, un equipo diferente, o kits múltiples.

- ① *Acumule 25-100 gramos de concentrado que contiene al menos 5% de oro.*



- ② *Vierta el concentrado en un crisol de cerámica de alta temperatura. Si el concentrado contiene sulfuros se recomienda utilizar primero un soplete que permita su oxidación*

- ③ *Mezcle los fluidos y reactivos necesarios para disminuir la temperatura de fundición y la viscosidad de los minerales que no son oro. La receta más efectiva dependerá de la mena y se debe desarrollar experimentalmente. Dos de las recetas mas comunes se presentan a continuación:*

#1

- 1 parte concentrado
- 1/2 parte bórax
- 1/2 parte cal (CaO)

#2

- 1 parte concentrado
- 1/2 parte bórax
- 1/2 parte nitrato de potasio
- 1/2 parte sílice

[1] Sistema diseñado por la Profesora Sulemana Al-Hassan en la Universidad de Minería y Tecnología (UMAT), Tarkwa, Ghana.



- 4 Ubique el crisol en el horno y caliente al menos por 5 minutos hasta que el concentrado se encuentre por encima del punto de fusión del oro (1064°C). Esto produce dos líquidos o “fundidos” diferentes – una mezcla de silicatos que típicamente es espesa y ligera (baja densidad); y un líquido metálico con oro y otros metales como plata, plomo y cobre, que es pesado, viscoso (delgado), y sumergible.



- 6 Enfríe el crisol, remueva la escoria y separe el oro del fondo de la escoria con un martillo pequeño.



- 5 Remueva el concentrado fundido (el líquido) del horno y vierta su contenido en un crisol triangular y el oro se depositara en el fondo del recipiente.



## La lixiviación como alternativa al uso de mercurio

Los diferentes tipos de lixiviación son un alternativa viable en la minería a pequeña escala para evitar el uso de mercurio, siempre y cuando se realicen de una manera adecuada; ya que requiere de capital, capacitación, supervisión e innovación.

La minería de oro industrializada del pasado eliminó el uso de mercurio al adoptar el proceso de lixiviación y actualmente el método predominante en la minería a gran escala es la lixiviación con cianuro<sup>1</sup>. Aunque el mercurio y el cianuro son sustancias nocivas, el cianuro se descompone y no permanece en el ambiente.

Con el cianuro se obtiene un gran porcentaje de recuperación – generalmente el 90% del oro en la mena – y es rentable. Las innovaciones en la lixiviación por cianuro permiten el procesamiento de grandes depósitos con bajos contenidos en oro, y por tanto la explotación de depósitos considerados inviables anteriormente<sup>1</sup>.

Por esto muchos mineros a pequeña escala utilizan cianuro; sin embargo, el uso y manejo inapropiado de esta sustancia en la minería a pequeña escala es generalizado, resultando en riesgos de seguridad y en una contaminación local desastrosa. Para estos casos se deben aplicar mejores prácticas o desarrollar métodos alternativos.



*Izquierda – Planta de procesamiento de cianuro a pequeña escala. Tanques de cemento utilizados para la lixiviación en cubas; Abajo, izquierda – Solución de cianuro proveniente de las cubas; Abajo, centro – Carbón activado utilizado para absorber oro – complejos de cianuro en solución; Abajo, derecha – Laboratorio químico y equipo de seguridad esencial presente en el proyecto y mineros capacitados para su uso (Tanzania).*



[1] Müller J., and Frimmel H.E. (2010), Numerical Analysis of Historic Gold Production Cycles and Implications for Future Sub-Cycles, The Open Geology Journal, 4, 29-34.

Cada vez es más común en la MAPE re-procesar las colas que resultan de tratamientos ineficientes ya que se considera viable económicamente. Una mala práctica es re-procesar las colas contaminadas con mercurio usando cianuro, debido a que el compuesto de mercurio-cianuro resultante se dispersa fácilmente en el agua y libera mercurio en el ecosistema. Esto se describe en mayor detalle en la página 64.

Mala  
práctica

Uno de los problemas más graves asociados al uso de cianuro en la minería de oro a pequeña escala son las falencias en el manejo de residuos. En algunos casos se han hecho esfuerzos para almacenar colas y su manejo, sin embargo, todavía existen muchos aspectos a mejorar.

Re-procesar las colas para extraer oro junto con un sistema de manejo de residuos apropiado se considera como una alternativa viable para la remediación de áreas contaminadas.

*Una innovación que mejora el manejo de residuos es la pre-concentración y la lixiviación en molienda<sup>2</sup>. La primera produce un concentrado que minimiza la cantidad de cianuro (u otro lixivado) necesaria. El concentrado pasa entonces a la "lixiviación en molienda", en donde el oro se libera y lixivía simultáneamente reduciendo el tiempo requerido para procesarlo. Los beneficios del proceso incluyen (i) la reducción y menor toxicidad de desechos lo que facilita su manejo y reduce costos; (ii) la duración del procesamiento es competitivo respecto al mercurio (1 día) y promueve la reducción o eliminación en su uso; (iii) mayor recuperación de oro. En el sistema mostrado abajo se observa una capsula porosa que contiene una bolsa de carbón activado que se inserta en el molino<sup>2</sup>.*



[2] Sousa R.N., Veiga M.M, Klein B., Telmer K., Gunson A.J., Bernaudat L. (2010), Strategies for reducing the environmental impact of reprocessing mercury-contaminated tailings in the artisanal and small-scale gold mining sector: insights from Tapajos River Basin, Brazil . Journal of Cleaner Production, vol. 18, 1757-1766.

## Modelo de planta de procesamiento sin mercurio

Con el equipo y mena adecuados se puede recuperar altas concentraciones de oro utilizando únicamente métodos gravimétricos. El sistema que se presenta a continuación se implementó en Mongolia<sup>1</sup> y recupera aproximadamente el 70% del oro total – un porcentaje relativamente alto para la MAPE.



- ① *Las rocas con oro se extraen de una clavada con entibación adecuada.*



- ② *Las rocas se trituran en una trituradora de mandíbulas hasta reducir su tamaño a 1-2 cm.*

[1] El proyecto y el diseño de la planta son el producto del Proyecto de Minería Artesanal Sostenible (SAM), resultado de la colaboración entre el Gobierno de Mongolia y La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Mongolia.



- 3 Se utilizan molinos chilenos (trapiches) para moler la roca - una porción significativa del oro queda en el molino. La roca pulverizada se transporta en agua a una canaleta primaria, y posteriormente a una canaleta secundaria de barrido que atrapa el oro fino.





- ④ *El concentrado se extrae de las alfombras de las canaletas.*

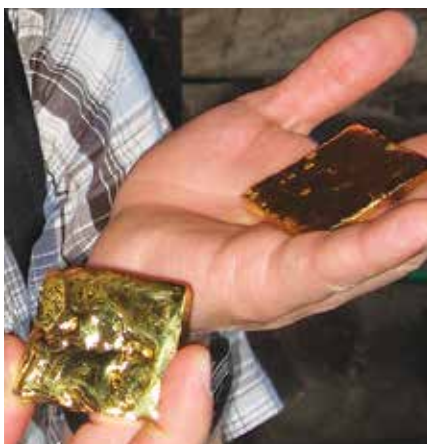


- ⑤ *El producto generado en las canaletas y el molino pasan a una mesa concentradora para una concentración secundaria.*



Concentrado de oro proveniente de una mesa concentradora.

- 6 El oro concentrado se funde (con bórax) y se vierte en moldes de hierro. En este ejemplo, los lingotes resultantes (oro doré) tienen una pureza de ~94%; sin embargo, la pureza varía con el tipo de mena.



- 7 Las colas del proceso se manejan adecuadamente; al contener 30% del oro, estas se acumulan en el campamento para ser procesadas posteriormente, por ejemplo por flotación y lixiviación.

## 2.7 - Temas relacionados

### Tipos de depósitos de oro, exploración y planeación

La exploración es uno de los aspectos más complejos de la minería. La MAPE se basa generalmente en la prospección por tanteo – caminar el terreno y examinar si tiene oro. La interacción con los pequeños mineros en la etapa de exploración contribuye a la eliminación del uso de mercurio. Una extracción adecuada permite maximizar recursos, minimiza el uso de terrenos y mejora la producción de oro, lo cual hace que la reducción del uso de mercurio sea mas económica y sostenible.

El oro es un elemento raro, su concentración promedio en las rocas de la tierra es de 3-4 nanogramos/gramo (partes por billón). Sin embargo, debido a que es tan preciado, en la MAPE se explotan depósitos con tenores tan bajos como 0.1 gramos por tonelada provenientes de sedimentos aluviales superficiales (por ejemplo, véase fotografía arrea abajo). Al otro lado de la escala, las vetas mineralizadas (menas primarias) pueden contener 10 a 50 gramos y hasta 200 gramos de oro por tonelada.

En general, los tipos de depósitos de oro explotados en la MAPE son:

[A] depósitos aluviales (partículas de oro en sedimentos de ríos)

[B] oro asociados a suelos o roca meteorizada (saprolitos)

[C] oro en roca dura (primario o en veta)

El tipo de depósito indica el tipo de extracción adecuada, la cual dicta cómo o si se debe usar mercurio (y su potencial eliminación). Las mejores prácticas en un caso no son necesariamente aplicables a otro. Las técnicas de reducción en el uso de mercurio se deben asociar con el tipo de mena y las prácticas actuales.



*Falta de planeación en la minería de oro aluvial en Kalimantan, Indonesia. Los mineros entierran la mena en las colas, lo cual complica su acceso a futuro. Una mala extracción genera una rápida expansión en el terreno (uso inadecuado y excesivo) y pérdidas de recursos y riqueza.*



## Purificación del oro – el método de cuarteo

El oro se puede purificar hasta un 99.5% por medio de un proceso relativamente sencillo conocido como el método de cuarteo. Este se realiza en algunas tiendas de oro para generar un producto apto para el comercio internacional y por tanto recibir mayores ganancias. También transfiere conocimiento a la comunidad y facilita la cadena de suministro de oro para su uso local. Al conectar a los vendedores con los mercados e incrementar sus ingresos, la purificación permite que la influencia de los mercados y las finanzas contribuyan a la eliminación en el uso de mercurio. Este método es común en Asia.

El método de cuarteo involucra la fundición de 2.5 partes de plata junto con 1 parte de oro doré. La mezcla de oro-plata se enfría y posteriormente se sumerge en ácido nítrico, el resultado es un residuo de oro puro no soluble, mientras que la plata y otros metales si lo son. El bórax también se puede utilizar en este proceso y, por tanto, se considera relativamente fácil purificar el oro en donde se produce oro doré. El método de cuarteo se presenta en las dos páginas siguientes.

- ① *Derecha: Pese el oro doré, luego pese 2.5 veces más de plata y vierta el contenido en un crisol para su fundición.*



- ② *Izquierda: Funda el oro y la plata en un crisol con un soplete; agregue una cucharadita de bórax u otra solución para mejorar el proceso y remover impurezas minerales.*



- 3 Izquierda: Vierta la aleación de oro-plata fundida desde 1 metro de altura a un tazón de acero ubicado en el fondo de una cubeta con agua. Abajo: Cuando la aleación entra en contacto con el agua forma bolitas – gravas de oro-plata.



- 4 Digestión ácida: Ubique las gravas de oro-plata en un erlenmeyer. Agregue 20ml de ácido nítrico puro por cada gramo de oro y hierva por 10 minutos encajado en un condensador. Nota: El ácido utilizado se debe recoger para re-capturar la plata disuelta, y posteriormente se debe desechar de manera adecuada.



Nota: los vapores de ácido nítrico son nocivos para la salud y no se deben inhalar. Trampas de agua, extractores y una ventilación adecuada son necesarios para eliminar la exposición humana y ambiental.



- 5 El oro que queda en el erlenmeyer se observa como un lodo café. Lávelo en una batea de acero con agua limpia. Drene el agua y seque el oro a baja temperatura.



- 6 Finalmente, ubique el oro seco en un crisol de alta temperatura. Funda con un soplete y vierta el oro fundido en una barra.



Para recuperar la plata, ubique una barra de cobre en una cubeta con el ácido utilizado. La plata se precipita al fondo del recipiente. Algunas veces la plata se precipita como un cloruro de plata si se agrega un poco de sal – El resultado es un cloruro de plata blanco; sin embargo, este método genera vapores nocivos y por tanto se debe evitar.



## El uso de mercurio antes de la cianuración

Se considera una mala práctica procesar con cianuro el material contaminado con mercurio. Las colas de la amalgamación de las menas enteras generalmente contienen cantidades importantes de oro y mercurio, por lo que otros mineros (muchas veces un grupo diferente al que generó las colas) las compran y las procesan usando cianuro.

Este proceso empeora la contaminación por mercurio ya que el mercurio que entra al ambiente se presenta como un compuesto disuelto de mercurio-cianuro. Este compuesto es tóxico y se dispersa fácilmente en el agua, lo que facilita la introducción de mercurio al ecosistema.

Las colas y otros residuos del proceso producen áreas severamente contaminadas muy difíciles de limpiar. Estas continúan emitiendo mercurio a la atmósfera y contaminan la hidrosfera y la cadena alimenticia por mucho tiempo.

*Muchas veces se utiliza la lixiviación in situ, en pilas, en cubas y carbón en lixiviación para re-procesar pulpas y colas contaminadas con mercurio (mala práctica). El uso de cianuro para procesar la mena directamente sin necesidad de usar mercurio se está implementando cada vez más, lo que resulta en reducciones considerables en la contaminación – similar a la forma en que opera la minería a gran escala. Sin embargo, el manejo de residuos todavía presenta muchas falencias.*







*Gotas de mercurio diminutas que se observan en el material suministro en operaciones con amalgamación de la mena entera antes de la cianuración.*

## Para evitar el uso de mercurio antes de la cianuración

1. Evite la amalgamación de la mena entera (AME). Un primer paso sería concentrar la mena antes de la amalgamación, lo cual reduce la cantidad de mercurio utilizado, elimina el mercurio del circuito de cianuración y es un paso hacia la eliminación total del mercurio.
2. Remueva el mercurio antes de utilizar cianuro – esto aplica para las colas ya contaminadas con mercurio. No obstante, todavía no existen métodos estandarizados con este fin – los que están disponibles necesitan más estudio y desarrollo.
3. No utilice mercurio – Si se requiere, use únicamente gravimetría u otros procesos para recuperar el oro antes de la cianuración.

## Manejo de residuos y áreas contaminadas

Una de las diferencias fundamentales entre el sector minero a gran escala de oro y el sector de la MAPE es que este último no tiene un programa de manejo de residuos o, si existe, es inadecuado, lo que resulta en áreas contaminadas.

Algunos países como Ecuador y Mongolia están tratando de solucionar este problema. Generalmente, sus modelos se basan en la creación de un sistema de manejo de residuos centralizado (no el procesamiento), manteniendo las condiciones socio-económicas de la MAPE. Estos sistemas (sistemas de manejo de colas), accesibles y económicos para las comunidades de la MAPE, se construyen teniendo en cuenta estándares internacionales.

Al integrar las necesidades sociales y ambientales, este enfoque fomenta la formalización, legalización, y generación de riqueza por medio de mejores prácticas en la minería y el procesamiento. El esquema generalizado es:

- (a) manejo de residuos centralizado
- (b) mantiene la molienda tradicional – proceso no centralizado
- (c) desarrollo de una estructura de gobierno para la comunidad
- (d) eliminación del mercurio en los residuos
- (e) eliminación del mercurio en el procesamiento
- (f) mejora en las prácticas mineras y de procesamiento – programas de salud, de seguridad, ambientales y educativos que permiten generar conocimiento en los mineros y desincentiva el posible uso de mercurio
- (g) limpieza de áreas contaminadas – re-procesamiento y desecho de colas existentes mal manejadas.
- (h) establece un sistema de monitoreo ambiental y mide las mejoras alcanzadas por medio de evaluaciones ambientales

La implementación gradual de este sistema facilita la construcción de una planta de procesamiento y manejo de residuos modelo y el uso de un centro de capacitación que sirve para demostrar (i) el procesamiento libre de mercurio; (ii) mejoras en la recuperación de oro y menos costo por unidad de oro recuperada; (iii) tratamiento de desechos apropiado; y (iv) técnicas en innovación, capacitación y comunicación. El diseño de la planta modelo se puede reproducir fácilmente.



*Desechos mal manejados, áreas contaminadas, y una solución para la minería de oro artesanal y a pequeña escala en Portovelo, Ecuador: (a) estanques de colas inapropiados; (b) descarga directa en ríos; (c) áreas contaminadas con colas; (d) valle adyacente (pasto quemado) adecuado para el almacenamiento de colas que cumple con los estándares internacionales y que es apto para la comunidad de la MAPE.*

## Anexo 1. Síntesis del sector de la MAPE

- La MAPE es un productor importante de oro que emplea la mayor cantidad de personas en la industria, representando cerca del 15% del suministro (400 toneladas aproximadamente) y el 90% de la mano de obra global
- La cantidad de mineros es aproximadamente 10-15 millones en 70 países, incluyendo cerca de 3 millones de mujeres y niños
- A \$1600 US la onza, la producción de oro en la MAPE tiene un valor bruto de 20.5 billones de dólares; equivalente a cerca de \$2000 US por minero por año
- Si se usa un factor de 5, la economía secundaria de la MAPE es de cerca de 100 billones de dólares y 50 a 100 millones de personas participan de la misma. A un nivel de riqueza normalizado (paridad de poder adquisitivo: PPA), esto se considera 40 veces más pobre que el ciudadano estadounidense promedio
- Existe una interacción significativa y ascendente entre la industria minera formalizada y la MAPE. Tanto los conflictos como la cooperación con las operaciones mineras formales sigue creciendo en muchos países
- El uso de mercurio es diseminado en la MAPE, un estimado de 1400 toneladas en el año 2011 ([www.mercurywatch.org](http://www.mercurywatch.org))
- El uso irresponsable de mercurio en la MAPE genera problemas ambientales y de salud tanto a nivel local como global
- La contaminación por mercurio resulta generalmente de las barreras socio-económicas que impiden la recepción de mejores prácticas



## Anexo 2. Costo relativo de las intervenciones técnicas para un operador minero único, en orden ascendente de costos<sup>1</sup>.

Intervención técnica	Costo aproximado (USD)	Barreras
Tamices	5 - 50	Requiere tiempo y conocimiento adicional
Retorta	5 - 50	Requiere tiempo y conocimiento adicional
Reactivación (sal, agua y batería de 12 voltios)	5 - 20	Requiere tiempo y conocimiento adicional
Canaleta mejorada	10 - 100	Requiere agua, acceso a suministros
Sistema de captura de vapores de mercurio	50 - 500	Requiere tiempo y conocimiento adicional
Kit de fundición directa	Depende del sistema 100 - 2,000	Costo inicial; efectivo sólo en pequeñas cantidades de concentrado de alto tenor; requiere una fuente de calor eficiente, conocimiento técnico
Molienda mejorada	2,000 - 10,000	Alto costo inicial; requiere energía, posiblemente agua, conocimiento técnico
Mesa concentradora	1,000 - 10,000	Alto costo inicial; requiere energía, agua, conocimiento técnico

[1] Desarrollado en el Foro Global sobre Minería de Oro Artesanal y a Pequeña Escala, Diciembre 7-9, 2010, Manila - presentado por el PNUMA y sus miembros en el Global Mercury Partnership.

# **Anexo 3. Fundamentos técnicos de la ONUDI para el manejo del mercurio en la minería de oro artesanal y a pequeña escala**

## **I. OBJETIVO**

En la ausencia de un código de manejo ambiental para el mercurio en la minería de oro artesanal y a pequeña escala (MAPE), muchos gobiernos no tienen claro como desarrollar las políticas necesarias para la MAPE.

Los fundamentos técnicos de la ONUDI para el manejo de mercurio en la minería de oro artesanal y a pequeña escala se proponen para apoyar a los gobiernos en el desarrollo de políticas, legislación y regulación que permitan mejorar las prácticas en la minería de oro artesanal y a pequeña escala (MAPE).

Estas bases se pueden adoptar en todas las áreas mineras legales, tiendas de oro, y centros de procesamiento en donde se utiliza mercurio para la amalgamación de oro. Estas proveen los estándares mínimos que conducen a la eliminación a futuro del uso de mercurio en la MAPE. Para los casos que sean posibles, se debe incentivar a los mineros para que adopten métodos de procesamiento libres de mercurio.

El propósito central de estos fundamentos es el de apoyar a los gobiernos en el desarrollo de legislación y/o regulación que permita alcanzar las siguientes metas: (1) reducir las emisiones de mercurio en el ambiente relacionadas con la MAPE; (2) reducir la exposición ocupacional y pasiva al mercurio; (3) eliminar las prácticas más riesgosas e ineficientes en el uso de mercurio; y (4) reducir el almacenamiento y eliminación inadecuada del mercurio.

## **II. ANTECEDENTES**

Estas medidas se formularon con base en una evaluación desarrollada por el Proyecto Global de Mercurio, la cual involucra aspectos de salud, ambientales, técnicos, socio-económicos y legales. Este proyecto se generó con el apoyo de los gobiernos de Zimbabwe, Tanzania, Sudán, Indonesia, Brasil y Laos, junto con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Se estima que aproximadamente 15 millones de personas se benefician de la minería de oro artesanal y a pequeña escala (MAPE) localizadas en más de 50 países a lo largo de Asia, África y América del Sur. Esta actividad generalmente requiere del uso de cantidades significativas de mercurio para el procesamiento mineral, muchas veces bajo condiciones altamente riesgosas y nocivas para el ambiente. Cerca de 100 millones de personas puede resultar afectadas por el mercurio emitido en la MAPE, ya sea directa o indirectamente. El mercurio es una neurotoxina que se bioacumula por medio de la cadena alimenticia, y su uso inadecuado en la MAPE es responsable de la descarga al ambiente de cerca de 1000 toneladas anuales, generando un impacto negativo en ecosistemas diversos, incluyendo aguas internacionales. A escala global muchos de los riesgos son similares – emisiones extensas en colas, contaminación de agua,

inhalación de vapores, etc. Sin embargo, en muchos países las regulaciones ambientales para la MAPE son mínimas o inexistentes, y por tanto, el mercurio generalmente se ignora.

### III. IMPLEMENTACIÓN

Los gobiernos deben identificar la entidad responsable de implementar estas bases y hacer las modificaciones necesarias en las medidas técnicas que se van a incluir en el desarrollo de nuevas leyes, políticas o regulaciones sobre mercurio. Se recomienda que dichas políticas se adopten bajo la jurisdicción de las entidades responsables de los asuntos de minería a pequeña escala, considerando otras entidades relevantes, y reconociendo que dichas autoridades son aptas para coordinar el monitoreo.

Se debe hacer énfasis en el fomento de sistemas de monitoreo basados en gobiernos y comunidades locales. La participación comunitaria en el desarrollo de políticas e implementación en campo es fundamental.

Los gobiernos deben facilitar la legalización de los mineros artesanales y a pequeña escala y educarlos en el manejo ambiental. Se debe suministrar apoyo tecnológico y servicios de capacitación/educación en todas las áreas en donde se concentran los pequeños mineros.

Estas bases se deben adjudicar en todas las operaciones legales en donde se use el mercurio para amalgamar oro, se queme la amalgama y se funda el oro. Igualmente, estas establecen los estándares mínimos que reducen significativamente las emisiones de mercurio y las exposiciones cuando se implementan adecuadamente. No obstante, se debe incentivar a los mineros para que adopten métodos de procesamiento apropiados libres de mercurio.

### IV. MEDIDAS TÉCNICAS CLAVE

#### 1. RESPONSABILIDAD DEL EMPLEADOR DE LA OPERACIÓN MINERA/PLANTA DE PROCESAMIENTO/TIENDA DE ORO

En todos los casos, el dueño de la operación minera/planta de procesamiento, de la licencia y tienda de oro es el responsable legal en la ejecución de prácticas seguras, incluyendo las que involucran mercurio. El dueño de la licencia minera o tienda de oro debe implementar las medidas de seguridad necesarias para prevenir la exposición a vapores de mercurio de sus empleados u otras personas.

#### 2. LICENCIA PARA TRABAJAR CON MERCURIO

Todas las operaciones legales en donde se utilice mercurio deben obtener una licencia especial específica para su uso. Al pedir licencias mineras y antes de comenzar la extracción, los mineros deben demostrar que son capaces de seguir estos fundamentos.

#### 3. NO ALGAMACIÓN DE MENA ENTERA

Nadie debe amalgamar la mena entera por medio de una placa de mercurio-cobre o usar mercurio directamente en un concentrador gravimétrico, centrífugas, molinos de bolas, chileno o californiano. Esto produce "harina de mercurio", la cual reduce la recuperación y genera la dispersión de mercurio en el ambiente con las colas. La amalgamación SÓLO se debe utilizar en concentrados gravimétricos.

#### 4. QUEMA DE LA AMALGAMA DE MERCURIO

Nadie debe calentar/quemar la amalgama de mercurio para separar el oro sin el uso de una retorta. Las retortas contienen y condensan el vapor de mercurio y se deben utilizar para reciclar el mercurio (en el tazón o el tubo de la retorta, extractor, etc.). No se debe quemar la amalgama en los hogares, se debe realizar en un área distante (más allá de 500m). No deben haber niños o mujeres embarazadas presentes al utilizar la retorta.

#### 5. NO INTERACCIÓN MERCURIO-CIANURO

Nadie debe usar mercurio junto con cianuro, o realizar la cianuración de colas ricas en mercurio, ya que esta práctica genera metilmercurio.

#### 6. TAMBORES AMALGAMADORES

La amalgamación de concentrados NO se debe realizar manualmente. Se deben utilizar tambores rotatorios pequeños de plástico o hierro con bolas de caucho o una cadena adentro con el fin de homogeneizar la mezcla entre el concentrado y el mercurio. La duración del proceso debe ser lo más corta posible; se debe supervisar y suspender si no se observa oro libre. El mercurio se debe verter gradualmente en los tambores hasta que se atrape todo el oro libre. No se debe agregar ningún agente oxidante como cianuro o permanganato de potasio; es necesario sólo un poco de detergente para limpiar las superficies de las partículas de oro. Se debe promover el uso de separadores de amalgama, como el elutriador, para separar la amalgama de minerales pesados después de terminado el proceso. Una alfombra de canaleta se debe colocar después del elutriador para asegurarse de que se atrape el mercurio fino.

#### 7. CENTROS DE AMALGAMACIÓN CENTRALIZADOS

La amalgamación y el uso de la retorta sólo se deben realizar en zonas designadas (tanques de amalgamación y áreas aisladas para la retorta), 500m por fuera de áreas habitadas. En zonas mineras en donde se amalgama, el dueño de la licencia o el jefe de la mina debe designar una zona dentro del área minera que sirva como estructura, instalación o local en donde se desarrolle este proceso. La amalgamación sólo debe realizarse en dicha estructura, instalación o local. El dueño de una licencia de MAPE debe asegurarse de que se construyan tanques de lavado o depositación dentro de su licencia con el fin de proveer espacios para las canaletas, y que no se encuentren a lo largo o cerca de ríos, quebradas o cualquier otra fuente de agua.

#### 8. PROTECCIÓN DE CUERPOS DE AGUA

Nadie debe amalgamar, o separar la amalgama de concentrados, o quemar la amalgama, o usar una retorta en ningún cuerpo natural de agua o 100m alrededor de cualquier cuerpo natural de agua, incluyendo ríos, quebradas, lagos y otros.

Las colas de amalgamación no se deben descargar en un cuerpo de agua o en áreas en riesgo de inundación.

#### 9. PROTECCIÓN DE ÁREAS RESIDENCIALES

Nadie debe usar mercurio para amalgamación o cualquier otro propósito en áreas residenciales o 100m alrededor de cualquier área residencial, incluyendo caseríos, pueblos, ciudades o áreas



de asentamiento.

#### 10. ELIMINACIÓN DE MERCURIO O COLAS CONTAMINADAS CON MERCURIO

La eliminación de las colas contaminadas con mercurio se debe realizar de manera adecuada y segura. Nadie debe descargar colas contaminadas con mercurio en cuerpos de agua o áreas en riesgo de inundación. La eliminación de las colas se debe realizar depositandolas en un pit de varios metros de profundidad cubierto con arcilla o suelo laterítico, localizado a más de 100 metros de cualquier cuerpo de agua. Una vez lleno el pit con las colas contaminadas se debe cubrir con 1 metro de arcilla o laterita, y posteriormente se debe compactar, cubrir con suelo y re-vegetar.

#### 11. EXTRACCIÓN DE ORO RESIDUAL DE LAS COLAS CONTAMINADAS CON MERCURIO

Las colas contaminadas con mercurio no se deben reciclar en el circuito de concentración ya que contaminan las colas primarias. Si las colas se deben procesar con el fin de recuperar oro residual con métodos como la lixiviación con cianuro, tiourea, etc., el mercurio residual se debe remover antes de la lixiviación (e.g. por concentración gravimétrica). El agua y las colas resultantes de este proceso se deben tratar como colas contaminadas con mercurio y se deben enterrar.

#### 12. CONDENSADORES PARA TIENDAS DE ORO

Cualquier tienda que compre oro proveniente de una retorta, o que la utilice, debe tener un extractor instalado adecuado para capturar, condensar y reciclar el mercurio. El diseño del extractor debe ser tal que se atrape más del 90% de mercurio.

#### 13. ALMACENAMIENTO DEL MERCURIO

El mercurio metálico se debe almacenar siempre que no se este utilizando en un lugar seguro; (a) que no se encuentre al alcance de los niños; y (b) en contenedores sellados herméticamente sumergidos en agua (e.g. 1 centímetro) para evitar la evaporación del mercurio. El mercurio NO se debe almacenar en el hogar.

#### 14. PROTECCIÓN DE MUJERES EMBARAZADAS Y NIÑOS

Las personas que realizan la amalgamación, usan la retorta, funden el oro o utilizan el mercurio se deben asegurar de que mujeres embarazadas o niños menores de 16 años no entren a la estructura, instalación o local en donde se usa el mercurio.

#### 15. MÉTODOS LIBRES DE MERCURIO

Las bases aquí descritas presentan los requerimientos mínimos necesarios para reducir significativamente las emisiones y exposición al mercurio si se implementan adecuadamente. No obstante, cuando sea posible, se debe incentivar a los mineros para que adopten los métodos apropiados de procesamiento mineral libres de mercurio. Para pequeñas cantidades de concentrado, se debe de promover el método de "soplete y golpeteo".

[www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/UNIDO%20Guidelines%20on%20Mercury%20Management%20April08.pdf](http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/UNIDO%20Guidelines%20on%20Mercury%20Management%20April08.pdf)

## **Agradecimientos y permisos**

Los autores principales de este documento son Kevin Telmer y Daniel Stapper del Artisanal Gold Council (AGC). La traducción de la versión original en inglés al español fue realizada por Ana Guerra Marín y Daniel Chaboya (AGC), con la ayuda de Myrienne Richard (AGC). Todas las fotografías e imágenes en el documento con excepción de las indicadas específicamente son propiedad del Artisanal Gold Council y no se deben utilizar sin permiso.

El AGC agradece el apoyo, comentarios y material suministrado por:

Brenda Koekkoek, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Usman Tariq, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Juan Manuel Barbeito, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Ludovic Bernaudat, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)

Susan Keane, National Research Defence Council (NRDC)

Marcello Veiga, Universidad de British Columbia

Carolina Gonzalez-Castro, ONUDI

Olinda Orozco Zevallos, RED SOCIAL

Patience Singo, Sustainable Artisanal Mining Project, SDC

Rickford Viera, Goldmining Pollution Abatement Project Coordinator, WWF

Peter Appel, Geological Survey of Denmark

Sumali Agrawal, Yayasan Tambuhak Sinta

Budi Susulorini, Blacksmith Institute

Marianne Bailey, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

Mihir Deb, and Sulemana Al-Hassan, grupo de trabajo de Oro y Mercurio del IUGS-GEM

Zero Mercury Working Group (ZMWG)

International POPs Elimination Network (IPEN)

Human Rights Watch (HRW)

El Global Mercury Partnership del PNUMA

Communities and Small Scale Mining (CASM)

IUGS y su comisión de Geociencias para la Gestión Ambiental por el soporte y asistencia en el desarrollo de varias presentaciones internacionales sobre oro y mercurio

Universidad de Victoria, School of Earth and Ocean Sciences

Y en especial a la gran cantidad de grupos mineros y otras personas con las que trabajamos, muchas de ellas se observan en las fotografías en esta publicación.

Mineros en North Sulawesi,  
Indonesia, recibiendo una  
capacitación por un colega  
Filipino, 2011.



[www.unep.org/spanish/](http://www.unep.org/spanish/)

Programa de las Naciones Unidas para  
el Medio Ambiente

P.O.Box 30552 Nairobi, Kenya

Tel.: ++254-(0)20-62 1234

Fax: ++254-(0)20-62 3927

E-mail: [unepub@unep.org](mailto:unepub@unep.org)



Es absolutamente posible apoyar a los mineros de oro artesanales y a pequeña escala para que reciban los mayores beneficios de esta oportunidad de desarrollo, mientras que al mismo tiempo se minimizan las consecuencias ambientales y sociales. Lo único que se necesita es comprensión, innovación y voluntad.

Para mayor información, contacte:

UNEP DTIE Chemicals Branch  
11-13 Chemin des Anémones  
CH- 1219 Châtelaine, Geneva  
Switzerland

Tel.: +41 (0) 22 917 12 34

Fax.: +41 (0) 22 797 34 60

Email: [metals.chemicals@unep.org](mailto:metals.chemicals@unep.org)

Web: <http://www.unep.org>



**1972-2012:**  
Serving People  
and the Planet

DTI/1557/GE  
ISBN 978-92-807-3282-5