

# GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN LA MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA (MAPE) EN COSTA RICA

Proyecto: “Desarrollo del Plan Nacional de Acción de Minamata para reducir y, hasta donde sea posible, eliminar el uso del mercurio en la minería artesanal de oro en Costa Rica, para proteger la salud y el ambiente, en concordancia con la Ley 8904”

ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ORO EN LA MAPE

ACCIONES PARA EVITAR LAS CUATRO PEORES PRÁCTICAS

PRÁCTICAS PARA LA DISMINUCIÓN O ELIMINACIÓN DEL USO DEL MERCURIO

# Créditos

## **DIRECCIÓN NACIONAL DEL PROYECTO**

Shirley Soto Montero, Directora de Gestión de Calidad Ambiental

## **COMITE DIRECTIVO DEL PROYECTO**

Ronny Rodríguez Chaves, Viceministro de Energía, Administración Chaves Robles

Pablo Bermúdez Vives, asesor Viceministerio de Energía

Raquel Díaz, asesora Viceministerio de Energía

Ileana María Boschini López, Directora de Geología y Minas

Mario Gómez Venegas, Dirección de Geología y Minas

Ulises Álvarez Acosta, Secretario General, Secretaría Técnica Nacional Ambiental

Gerardo Calero Valverde, Secretaría Técnica Nacional Ambiental

Ricardo Morales Vargas, Dirección de Protección Radiológica y Salud Ambiental, Ministerio de Salud.

Paula Solano Gamboa, Dirección de Protección Radiológica y Salud Ambiental, Ministerio de Salud.

María del Mar Solano Trejos, Dirección de Gestión de Calidad Ambiental

José Alberto Rodríguez Ledezma, Dirección de Gestión de Calidad Ambiental

## **COORDINACIÓN NACIONAL DEL PROYECTO**

Alejandra Fernández Sánchez

## **EQUIPO CONSULTOR**

Wagner Valverde Mora

Eduardo Rojas Solano

## **DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E ILUSTRACIÓN**

Andrés Artavia Tencio

# Agradecimientos

Agradecemos al Comité Directivo del proyecto, instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales, academia, empresas, laboratorios, por su colaboración en la elaboración de este documento.

Un agradecimiento especial a las personas mineras de la comunidad de Abangares que facilitaron la información requerida por los equipos consultores para hacer posible este Plan Nacional de Acción. A la Municipalidad de Abangares, por medio de su gestor ambiental, José Francisco Bogantes que colaboró en la coordinación con el sector minero.

También agradecemos al Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM/GEF), al Programa de las Naciones Unidas para Medio Ambiente (UNEP) y al Centro Coordinador del Convenio de Basilea, Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y Caribe con sede en Uruguay (BCCC-SCRC), por su apoyo financiero, técnico y administrativo, durante la ejecución del Proyecto.



# Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
2. METODOLOGÍA	9
3. ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ORO EN LA MAPE	10
● 3.1. Extracción	10
● 3.1.1 Determinación del contenido de oro	10
● 3.1.2 Extracción de la mena	12
● 3.1.3 Diseño del túnel	14
● 3.1.4 Uso de explosivos en la MAPE	16
● 3.1.5 Estabilidad de túneles	18
● 3.1.6 Manejo de aguas del túnel	22
● 3.2. Procesamiento Mineral	26
● 3.2.1 Quebrado de la mena	26
● 3.2.2 Molienda de la mena	28
● 3.2.3 Lavado alternativo previo a la amalgamación	30
● 3.2.4 Técnicas de extracción de oro con mercurio	31
a) Amalgamación	31
b) Deslamado	34
c) Quema de la amalgama	36
● 3.2.5 Técnicas de extracción de oro con cianuro	38
● 3.2.6 Fundición del doré	38
● 3.3. Pasivos Mineros de la MAPE	39
● 3.3.1 Manejo de lamas	39
a) Lamas con mercurio	41
b) Lamas sin mercurio	41
c) Comercialización de lamas	41
● 3.4. Manejo de productos químicos	44
● 3.4.1 Almacenamiento y manipulación del mercurio	44
4. ACCIONES PARA EVITAR LAS CUATRO PEORES PRÁCTICAS	46
5. PRÁCTICAS PARA LA DISMINUCIÓN O ELIMINACIÓN DEL USO DEL MERCURIO	48
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51



## Glosario de términos

<b>Aleación:</b>	Es una mezcla homogénea de dos o más elementos, de los cuales, al menos, uno debe ser un metal. El compuesto resultante, generalmente, presenta unas propiedades muy diferentes de las de los elementos constitutivos por separado y, a veces, basta con añadir una muy pequeña cantidad de uno de ellos para que aparezcan.
<b>Au:</b>	Símbolo químico del oro.
<b>Azogue:</b>	Término dado al mercurio que es empleado en la minería artesanal de oro.
<b>Barreno:</b>	Perforación o hueco realizado en la roca con recuperación de núcleos de roca o detrito (recortes, roca fragmentada o triturada); se emplea para exploración minera y geotécnica, así como para introducir explosivos con el fin de realizar voladuras.
<b>Bocamina:</b>	Sitio en superficie de ingreso a una mina subterránea o túnel minero.
<b>Bypass:</b>	Descanso. Ampliación de hastial de un túnel que sirva de descanso o cruce de equipo.
<b>Caja:</b>	También denominada roca caja, se le denomina a la roca hospedera que alberga las vetas o zonas mineralizadas. Por lo general, representa desecho, ganga o estéril.
<b>Cajuela:</b>	Una cajuela equivale a una medida de la cantidad de producto, mineral o líquido que cabe en una cubeta, es decir, un recipiente de 5 galones. El peso de esta equivale aproximadamente a 33 kilos.
<b>Cateo:</b>	Prueba práctica que permite al minero artesanal estimar la concentración de oro en un sitio específico de la veta o tope del túnel. Valor dado en “palo”.
<b>Chimenea:</b>	Excavación vertical o inclinada que se realiza en ascenso siguiendo un cuerpo mineralizado o veta hasta alcanzar un túnel o subnivel de más elevación.
<b>Chispeando:</b>	Expresión espontánea que se dice al ver pequeños fragmentos de roca desprenderse de la bóveda o corona de un túnel. Puede corresponder con la previa a un desprendimiento mayor de rocas.
<b>Clave:</b>	Ídem, corona. Techo o parte superior del túnel.
<b>Coligallero:</b>	Persona que se dedica a la práctica de la minería artesanal. La palabra deriva del eufemismo “cola de gallo” que resulta de la prueba empírica para determinar la presencia de oro en un material y la forma elongada que dibuja las partículas de oro sobre la superficie del instrumento empleado.
<b>Colmatar:</b>	Acción de llenar un recipiente, cavidad o hueco de algún material o líquido. La colmatación se asocia a huecos o sedimentadores que poco a poco alcanzan su capacidad máxima, se llenan de sedimento producto del transporte del agua.
<b>Corona:</b>	Ídem, clave.
<b>Cortador:</b>	Túnel exploratorio orientado de forma perpendicular u oblicua a una veta, que busca alcanzar precisamente una veta o zona mineralizada.
<b>Criba:</b>	Las cribas son máquinas o equipos que se utilizan para la clasificación por tamaño de un producto a granel, esto se realiza de manera continua en un proceso que inicia en la zona de alimentación de la criba, la posterior separación de las fracciones por tamaño del material y termina en el extremo final, donde salen las partículas rechazadas que se denominan sobre tamaño.



## Glosario de términos

<b>Desate:</b>	Ídem, desconche. Labor que se realiza en la corona de un túnel y partes superiores de los hastiales, con una barra se dan golpes a las rocas desprendiendo aquellas fracturadas y sueltas luego de una voladura. La labor se realiza en el sentido de avance del túnel.
<b>Desconche:</b>	Ídem, desate.
<b>Doré</b>	Es una aleación de oro y plata semipuros y otros compuestos, en menor grado. Se extrae de esta forma de la mina para luego refinarlo y darle una purificación adicional. Las proporciones de plata y oro pueden variar ampliamente.
<b>Estéril:</b>	Roca sin interés comercial en minería metálica de oro, por ausencia de mineralización.
<b>Ganga:</b>	Roca sin mineralización de valor comercial.
<b>Geomembrana:</b>	Las geomembranas son láminas geosintéticas que se utilizan para la contención de líquidos en procesos mineros, medioambientales y agrícolas. Se caracterizan por su resistencia mecánica, permeabilidad y durabilidad en el medioambiente.
<b>Hastial:</b>	Superficies laterales de un túnel.
<b>Hilo:</b>	Denominación dada a una vetilla de poco espesor (< 5 cm), compuesta por cuarzo, algunas veces arcilla u óxidos de hierro, de poca extensión y que en ocasiones forma parte de una zona de stockwork.
<b>Jack leg:</b>	Equipo de perforación manual que utiliza una barra frontal, la cual, con ayuda de agua, aire y empuje a presión, genera barrenos o huecos horizontales e inclinados.
<b>Lisos:</b>	Fragmentos o bloques de roca, que, por la presencia de planos o caras lisas de roca en hastiales como en la corona de un túnel, son propensos a desprenderse.
<b>Mena</b>	Es el material natural del que se pueden extraer minerales o metales con beneficio económico.
<b>Palo:</b>	Medida de concentración de oro producto del cateo. Un palo equivale a 0,1 gramo de oro o 10 palos corresponden a un gramo.
<b>Pana:</b>	Recipiente cóncavo de superficie lisa o con irregularidades que sirve para “lavar” sedimento o material molido y concentrar las partículas de oro.
<b>Pátina:</b>	Película o precipitado que se adhiere a una superficie, se asocia a un precipitado asociado al drenaje ácido o superficie de oxidación por contacto con la humedad.
<b>Pique:</b>	Excavación vertical de forma cilíndrica que se realiza en descenso para cortar una veta a una menor elevación.
<b>Rastra:</b>	Equipo artesanal empleado para la molienda de mineral, donde se da la captura de oro empleando azogue. Utiliza al menos dos rocas de río adheridas mediante pines y cadenas; estas se hacen girar por medio de un sistema de engranaje a una caja de cambios.
<b>Recorte:</b>	Superficie de contacto entre roca afectada por voladura y aquella intacta; hasta donde afectó la roca por efecto de una voladura. Un buen recorte se asocia a una superficie homogénea y regular.
<b>Stockwork:</b>	Sistema complejo de vetas controladas por estructuras en ocasiones o con distribución caótica. Presentan extensiones y espesores variados. Puede estar asociado a una veta importante y de considerables dimensiones.
<b>Tope:</b>	Frente de excavación de un túnel.
<b>Tronadura:</b>	Sinónimo de voladura.
<b>Voladura:</b>	Acción de fragmentar la roca empleando explosivos.



# 1. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la actividad minera artesanal en Costa Rica, el uso del mercurio en el proceso de recuperación del oro ha estado presente. Debido a la necesidad de emplear el agua en el proceso de molienda y amalgamado, la actividad era realizada en ríos, por lo que aún hoy son evidentes los molinetes en rocas en las márgenes de ríos. El mercurio se vertía en estos puntos para recuperar oro, por lo que el riesgo de contaminación de ríos, así como de las personas que realizaban estas labores, era sumamente alto.

Actualmente, la actividad minera artesanal se realiza empleando la rastra en el proceso de molienda; algunos cuentan con el molino chileno para la molienda inicial, por lo que favorece el procesamiento de un mayor volumen de mineral. No obstante, el proceso de amalgamación se efectúa de igual manera; se vierte el mercurio dentro de la rastra para escasamente recuperar, en el mejor de los casos, un 50% del oro y otros metales presentes en la mena.

En los diagnósticos realizados como parte del proyecto Desarrollo del Plan Nacional de Acción de Minamata para reducir y, hasta donde sea posible, eliminar el uso del mercurio en la minería artesanal de oro en Costa Rica, para proteger la salud y el ambiente, en concordancia con la Ley 8904, se estableció la línea base de estimación de las cantidades de uso de mercurio en la actividad minera. y se determinó que, en promedio, un 16,3% del mercurio empleado en la fase de mezcla se libera al ambiente.

Es una necesidad en la actividad minera artesanal, realizar cambios y mejoras sustanciales en el marco de los compromisos adquiridos en el Convenio de Minamata sobre mercurio, que permita a las personas involucradas en la actividad laborar en condiciones de mejor calidad laboral y salud ocupacional; pero, además, incentivar el cambio a nuevas tecnologías amigables con el ambiente y que poco a poco se prescindan del uso del mercurio.

Este convenio se aprobó mediante la Ley 9391 Convenio de Minamata sobre mercurio, publicada en la Gaceta el 21 de octubre de 2016 y ratificada mediante el Decreto Ejecutivo 40053: Ratificación de la República de Costa Rica al Convenio de Minamata sobre mercurio, publicado en la Gaceta el 3 de enero de 2017.

La Guía de Buenas Prácticas (GBP) de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE) viene a dar el primer impulso en la actividad minera del país de índole artesanal, con el aporte de medidas y buenas prácticas aplicables desde la extracción de la mena hasta etapas de comercialización del oro, considerando aspectos de seguridad laboral y salud ocupacional para todas aquellas personas que realizan esta labor. Esta guía fue elaborada gracias al apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), por medio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

(PNUMA) y del Centro Coordinador del Convenio de Basilea, Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y Caribe con sede en Uruguay (BCCC-SCRC), así como el Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica como contraparte nacional.

## OBJETIVO GENERAL

Establecer un instrumento base de consulta por parte de los mineros artesanales que les permita obtener mejoras en las prácticas mineras, ambientales, de salud ocupacional y seguridad laboral.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Plantear acciones para evitar las cuatro peores prácticas de la MAPE, descritas en el artículo 7 del Convenio de Minamata.
- 2- Plantear prácticas para la disminución o eliminación del uso de mercurio en la MAPE.
- 3- Identificar otros impactos negativos de la actividad MAPE y señalar opciones de mejora.

## ¿QUÉ ES LA MAPE?

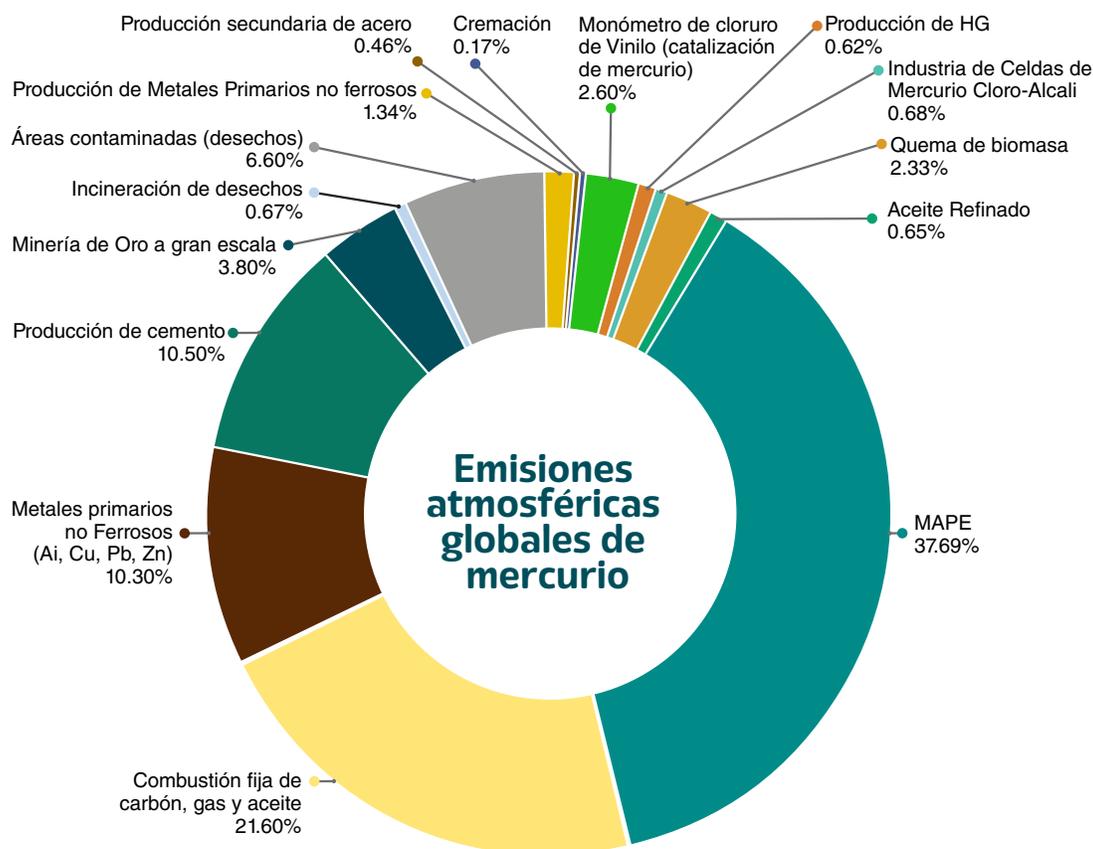
Se le denomina minería artesanal y en pequeña escala (MAPE), a la extracción de oro llevada a cabo por personas particulares o pequeñas empresas con una inversión de capital y una producción limitada; según el artículo 2 correspondiente a definiciones del Convenio de Minamata sobre mercurio. La actividad representa un medio de subsistencia en regiones con limitadas fuentes de trabajo y no requiere de mayores conocimientos técnicos, debido a que se emplean prácticas que se han transmitido de generación en generación.

El principal grupo de personas dedicadas a esta labor en Costa Rica ha realizado esta actividad de forma subterránea, aprovechando túneles antiguos que fueron trabajados por compañías extranjeras, así como nuevos túneles excavados ante el aumento del desempleo y elevados precios del oro.

El uso de mercurio en la MAPE recupera un porcentaje de bajo a moderado del oro contenido en la mena. Sin embargo, los costos con esta técnica son mucho más bajos que otras tecnologías o productos químicos y la recuperación de oro es relativamente rápida.

No obstante, el uso de este elemento conlleva muchos riesgos para la salud humana y un riesgo potencialmente alto de afectación al ambiente por emanación de gases, derrames en superficie y por desechos mineros como las lamas.

Según el reporte de emisiones anuales de mercurio publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), denominado Technical Background Report to the Global Mercury Assessment (2018), en el cual describe los datos de emisiones para el 2015, si bien es cierto, el uso de mercurio no solo se da en las labores mineras artesanales de oro, es una de las actividades que más demanda su uso. Estos valores son mostrados en el Gráfico 1.1.



**Gráfico 1.1:** Emisiones anuales de mercurio a la atmósfera para el 2015. Tomado y editado de UNEP Global Mercury Assessment (2018).

Los estudios de línea base realizados como parte del Plan Nacional de Acción de Minamata para Costa Rica en el año 2021 permitieron estimar que, en la MAPE de Abangares, se liberan 34,4 toneladas por año al ambiente: 0,5 toneladas por año producto de la fase de quema de la amalgama y 33,9 toneladas de mercurio se liberan por medio de las lamas.

## ¿A QUIÉN SE DIRIGE ESTA GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS?

Esta guía de buenas prácticas va dirigida a las personas involucradas en la minería de oro de forma artesanal y en pequeña escala de oro, cuyo proceso de extracción de la mena se realiza en túneles y en cuyo procesamiento emplea el mercurio como elemento de captura del oro.

Busca aportar a esta labor algunos elementos importantes tanto del proceso de extracción de la mena y recuperación del oro, así como en la seguridad laboral y salud ocupacional. El principal enfoque es orientar en la aplicación de mejores prácticas en el proceso de recuperación del oro, con la reducción gradual del uso del mercurio y eventual cambio a nuevas tecnologías amigables con el ambiente y la salud pública.



## 2. METODOLOGÍA

Esta guía se elaboró a partir de la información que forma parte del diagnóstico nacional de la MAPE dentro del Plan Nacional de Acción, donde se realizó un análisis del sector minero costarricense, las prácticas actuales, las condiciones socioeconómicas asociadas y las limitaciones legales que enfrenta el sector.

Asimismo, se consultaron artículos, informes y guías de buenas prácticas mineras desarrolladas en Perú, Bolivia y Colombia, entre otros. También se realizaron consultas a documentos técnicos elaborados por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM), del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), entre otras.

Esta guía considera tres temas principales en la MAPE:

- El proceso de extracción de oro
- Acciones para evitar las cuatro peores prácticas.
- Prácticas para la disminución o eliminación del uso de mercurio.



## 3. EXTRACCIÓN DE ORO EN LA MAPE

### 3.1. Extracción

Esta sección se divide en la determinación del contenido de oro, la extracción de la mena y la construcción del túnel.

#### 3.1.1 Determinación del contenido de oro

##### **i** En qué consiste la actividad

Consiste en determinar la cantidad de gramos de oro por tonelada de mena procesada. Permite establecer qué tan rentable es trabajar una sección de túnel, extrayendo el mineral, considerando las ganancias potenciales. El método formal para determinar la rentabilidad de un tramo o sección de túnel es realizando análisis químicos en laboratorio.

##### **✓** Condición actual en la MAPE

Una vez definida una zona de mineralización o veta, se realiza un ensayo artesanal denominado cateo para determinar si es económicamente rentable, al menos una sección de avance en el “tope” del túnel. La expresión empleada es cuántos palos paga, dependiendo del valor estimado a partir de la experiencia visual, continúan aprovechando el mineral en el procesamiento o extraen el mineral para procesarlo con otro método que procese una mayor cantidad de material; si, por el contrario, se determina una baja concentración, es considerado como desecho.

A continuación se muestra la forma en que se realiza la prueba o cateo para determinar la concentración de oro.

**1.** El procedimiento inicia con la molienda manual del mineral empleando un mazo sobre una superficie que puede ser una roca o directamente en la hoja de la pala.



**2.** Posteriormente, una vez reducida la muestra de mineral a una granulometría fina, se lleva a cabo el procedimiento del cateo realizando, con presencia de agua, movimientos circulares a la muestra sobre la hoja de la pala o pana y por densidad o peso específico del oro, este quedaría junto a sedimento y otros metales como concentrado.





Ilustración 3.1

## Mejoras

Si bien es cierto, el contenido de oro a lo largo y ancho de una veta varía, la manera más exacta de determinar los gramos por tonelada de mena procesada es realizando análisis de laboratorio. Por lo tanto, se recomienda realizar muestreos ocasionales en el tope del túnel, pudiendo ser estas de tipo puntual (veta únicamente) cuando la veta tenga un ancho de al menos 0,50 m o de canal (caja baja – veta – caja alta) cuando el ancho de veta es menor a esa longitud.

También se puede emplear un barrenador manual, ejemplo <https://www.planetgold.org/sites/default/files/Equipment%20Booklet%20Final.pdf> 



Ilustración 3.2

Es fundamental el uso de equipo de protección personal durante los muestreos.



Protección ocular



Protección de la cabeza



Protección auditiva



Protección respiratoria



Protección de manos



Protección de pies



Protección del cuerpo





## 3.1.2 Extracción de la mena

### **i** En qué consiste la actividad

La extracción de la mena consiste en la remoción de la parte mineralizada o veta para extraer el oro. En ocasiones, el espesor de la veta es de apenas centímetros, por lo que se le denomina hilos o mineralizaciones en stockwork, desde el punto de vista geológico. Por su parte, el ancho de la excavación o túnel está condicionado tanto al espesor de veta como a la amplitud ideal que permita la movilidad y el trabajo manual dentro de este.

La extracción del mineral se realiza fragmentando la roca o mena. El proceso de fragmentación del mineral, por lo general, es realizado a partir de voladuras empleando explosivos, los cuales son cargados en barrenos o huecos realizados mediante equipo mecánico como jack leg o rotomartillo demoledor, como se muestra a continuación.

**Ilustración 3.3.** Equipo mecánico y manual empleado en labores dentro del túnel.



**a.**  
Jack leg



**b.**  
Rotomartillo, rompedora o demoledor

### **✓** Condición actual en la MAPE

El proceso de extracción de la mena en la MAPE en Costa Rica es realizado mediante túneles que, a excepción de los túneles exploratorios o cortadores, son construidos siguiendo las vetas o hilos, por lo que su longitud puede alcanzar hasta cientos de metros.

El ancho de estas construcciones también es variado, pues depende de condiciones como el espesor efectivo de veta, calidad de la roca caja y presencia de planos desfavorables que propicien el desprendimiento de lisos, algunas veces potenciado por planos de fallas oblicuas a la dirección del túnel y veta. No todo túnel que se inicia es continuado, aunque la veta continúe; la razón es producto de la determinación del contenido de oro y su rentabilidad.

Actualmente, el proceso de fragmentación inicial realizado en los túneles mineros se lleva a cabo mediante instrumento manual, que incluye barras de acero, martillo y cincel. De igual manera, es empleado rotomartillo eléctrico cuando se cuenta con planta eléctrica o en el mejor de los casos, perforadora de barra frontal tipo jack leg para barrenos que son cargados con dinamita. Además del uso del jack leg y rotomartillo, en este caso, también se emplea la barra de acero para aflojar los fragmentos mediante acción de palanca (Figura 3.3).



## Mejoras

Si el material que se extrae es producto de una voladura, se debe realizar una selección de aquel que constituye mena, del estéril o ganga. Esto evitará la dilución de la concentración de oro.

De previo a fragmentar la roca, se debe valorar el método por utilizar. Voladura cuando sea roca firme y resistente, rotomartillo moderadamente blando a moderadamente duro y barra de acero o piqueta cuando se trate de materiales blandos a muy suaves. El empleo de voladura si son materiales muy blandos puede afectar la estabilidad del tramo de túnel trabajado.



Si van a ingresar a túnel es fundamental el casco y si se van a realizar labores de extracción manual, el uso de equipo de protección para manos, ojos, oídos y pies. El uso de equipo de protección respiratoria debería ser requisito luego de tronaduras o voladuras en el tope del túnel, máxime si no se cuenta con la ventilación idónea y se genera polvo.



## Extra



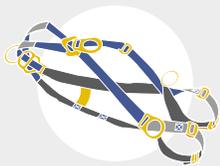
**Lámpara minera de uso imprescindible**



**Opcional el uso de detector de gases**

Se recomienda el uso de lámpara minera y también, un detector para el monitoreo de gases, en caso de no contar con la ventilación adecuada. Este último es importante luego de voladuras para determinar la presencia de gases tóxicos aún en el aire interno del túnel; en caso de rescates, constituye un elemento básico cuando está asociado a eventuales accidentes por voladuras.

Si se requieren descensos o ascensos verticales o afianzarse a puntos estratégicos en la parte interna de la mina, se sugiere implementar el siguiente equipo, el cual se compone de los elementos básicos para asirse a un punto de apoyo o agarre, es empleado para descensos asido a parales de escalinatas, escaleras y argollas.



**Arnés de 4 puntos de ajuste**



**Cuerda de posicionamiento**



**Línea de vida doble con amortiguador. También denominadas eslingas amortiguadoras de impactos**



**Anclaje portátil graduable, también llamado conector de anclaje. De 2 argollas de poliéster, dieléctrico**

**Nota:** para Costa Rica se establece para trabajos de altura y confinados, aquellos que cumplan con la norma INTE T38:2016 Sistema de protección contra caídas.

El uso tanto de equipos de protección personal como de aditamentos, según cada área de trabajo o labores por realizar, cumplirá a cabalidad con su función, siempre y cuando escalinatas, escaleras, argollas, andamios y el espacio físico estén debidamente asegurados. Por ejemplo, el equipo de seguridad para el descenso vertical por escaleras cumplirá su función efectiva, si estas están debidamente afianzadas a la roca, es decir, seguras para el descenso y ascenso, y que permita asirse debidamente.



## Extra

Una bitácora de control en las labores mineras en túnel ayuda cuando se trata de labores en conjunto, ya sea mediante una cooperativa o que trabajen en conjunto y extraigan de igual manera en un sitio en común. En un libro de actas con la información que se muestra en la Ilustración 3.4 es recomendable emplear, en a) lo básico en la portada y en b) una sugerencia de información básica que debe contener.

En observaciones se podrían anotar todos aquellos detalles del proceso minero, como cajuelas extraídas por día, si suceden contratiempos o accidentes, si hay presencia de agua en el tope del túnel, si hay colapsos o desprendimientos de lisos en algún punto y otra información que consideren importante. Lo ideal es que esta se mantenga en mina o túnel bien resguardada y protegida.

a.

**Bitácora Control Minero**  
 Mina/Túnel: \_\_\_\_\_  
 Localidad: \_\_\_\_\_  
 Distrito: \_\_\_\_\_  
 Cantón: \_\_\_\_\_  
 Provincia: \_\_\_\_\_  
 Cooperativa: \_\_\_\_\_  
 Expediente SETENA: \_\_\_\_\_  
 Expediente DCM: \_\_\_\_\_

**Ilustración 3.4.** Ejemplo de bitácora de control minero en mina o túnel y la información básica sugerida que debe contener. En a) la información para la portada y en b) información por anotar al ingreso al túnel.

b.

148

Nombre y Apellidos	Fecha	Hora Ingreso	Hora Salida	Herramientas	Cantidad Material Extraído, cajuelas	Observaciones

### 3.1.3 Diseño del túnel



#### En qué consiste la actividad

En términos generales, consiste en la remoción de material con avances de forma horizontal generalmente, siguiendo una estructura mineralizada como una veta. La altura ronda los 2,0 m y en ancho está condicionado al espesor de la veta.



#### Condición actual en la MAPE

Con el fin de minimizar los gastos, esta labor se realiza en apego estricto a la veta o estructura de mineralización que se está extrayendo. Generalmente, los túneles son estructuras angostas, complicando el paso de dos personas en sentido contrario, así como el ingreso de equipo o tuberías. En la mayoría de los casos, no se emplea ventilación al tope del túnel, debido a que la amplitud misma restringe el ingreso de tubería o conductos.



## Mejoras

Para trabajar en un túnel de tamaño óptimo que permita la movilidad de los mineros, así como los equipos o herramientas que se ingresen, es recomendable elaborar apartados, descansos o bypass cada cierta distancia dependiendo de la longitud del túnel. La finalidad de estos espacios es ser utilizados para mantener herramientas o equipos cerca del tope sin que obstruyan ni ponga en riesgo el tránsito.

Si se realizan avances en el túnel, utilizando explosivos se deben llevar a cabo las siguientes acciones:

Inyección de aire o recirculación de aire desde la superficie exterior. Posterior a las voladuras, se generan gases potencialmente tóxicos. Como ejemplo se muestra en la Ilustración 3.5 un soplador para inyección de aire mediante un conducto de lona o plástico en la parte interna del túnel en a) y en b) el soplador externo para impulso de aires desde bocamina.



**Ilustración 3.5.** De color amarillo se muestra el conducto de ingreso de aire o ventilación a la parte interna de un túnel.



**Ilustración 3.6.** Desconche

Desconche o desate en el tope, hastiales y corona del túnel. Corresponde con la remoción de todo aquel fragmento de roca o veta que, al ser impactado con una barra de acero, es desprendida a raíz de la afectación sufrida por la voladura. Se debe realizar dando golpes con la barra principalmente a las rocas presentes en la corona o parte superior del túnel, con dirección al tope.



### 3.1.4 Uso de explosivos en la MAPE

La manera más eficaz de fragmentar la roca y mineral de su posición natural para el transporte y posterior molienda es empleando explosivos. La adquisición de estos elementos básicos para la realización de labores mineras en Costa Rica conlleva el cumplimiento de varias reglamentaciones desde su compra, transporte, manipulación, almacenaje y uso. Los centros autorizados para su comercialización y uso deben estar debidamente avalados por la Oficina de Trámites para Comercialización y Desalmacenajes de la Dirección General de Armamento del Ministerio de Seguridad Pública. Actualmente, su regulación está descrita en la Ley de Armas y Explosivos 7530 y el Reglamento 37985-SP.

Para la compra de explosivos y accesorios, la empresa o persona debe contar con el permiso correspondiente por parte del Ministerio de Seguridad Pública.

#### En qué consiste la actividad

Se emplean los siguientes tipos de explosivos:

- **Primarios:** muy sensibles a temperatura, fricción, golpe, chispa y llama. Por lo general, son los que hacen la primera reacción para activar la detonación. Entre estos están los fulminantes o detonadores, y el nonel, también llamado detonadores no eléctricos.
- **Secundarios:** son agentes explosivos menos sensibles que se activan al tener un activador inicial como un fulminante. Entre estos están las emulsiones, el ANFO, booster y dinamita.

Para que se dé la detonación, se requieren aditamentos o accesorios que ayudan a la ignición, sea para acelerarla o retardarla. Estos son los siguientes:

- Cordón detonante, mecha de seguridad, mecha rápida
- Retardadores (relés).
- Conectores.

En minería subterránea de pequeña escala, se trata de reducir, hasta donde sea posible, los gastos producto de la compra de explosivos, pero aprovechando su uso al máximo, se fragmenta la mena lo mejor posible, teniendo como producto una buena voladura con un buen recorte.

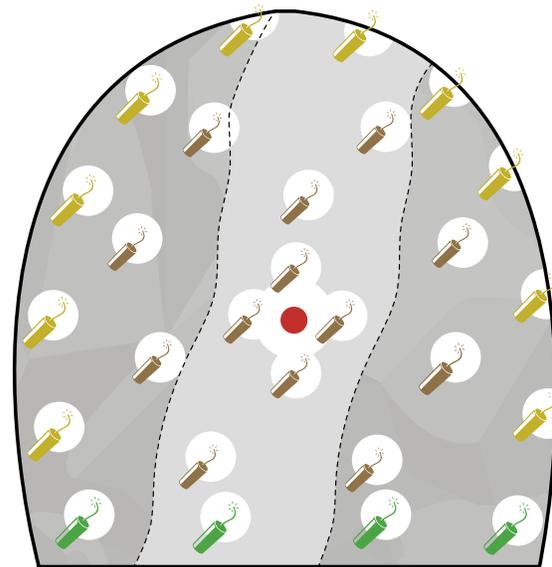
La manera práctica de ser utilizados los componentes de una voladura y obtener la fragmentación de una mena es realizando barrenos o perforaciones inicialmente en el tope del túnel y en ocasiones en la corona. Dependiendo del equipo que se utilice, la profundidad de alcance varía, por consiguiente, el volumen de material fragmentado.

No obstante, la realización de los barrenos conlleva un orden y disposición específica que permitan

no solo fragmentar la roca, sino definir una superficie de recorte en hastiales, corona y tope, lo más clara posible y con el menor daño hacia la parte interna del macizo rocoso. De manera esquemática, se muestra en la ilustración 3.7 una distribución básica de barrenos en el tope de un túnel; esta puede variar según elementos como ancho de veta, dureza de la roca, grado de fracturamiento, presencia de agua, entre otros.

Como se muestra en esta figura, hay al menos cuatro tipos de barrenos, tres de ellos que son cargados con explosivos y uno que tiene la función de alivio para direccionar la energía de fracturación hacia el centro reduciendo la posibilidad de impacto o afectación hacia el macizo rocoso. Se traza una hipotética veta que está delimitada entre las líneas inclinadas con líneas que representan fracturas, hacia los extremos o lados, lo que se denomina roca caja, en este caso, rocas volcánicas como las lavas.

En cuanto a la carga de los explosivos, son dispuestos a lo interno de cada barreno siguiendo un orden en su colocación, sin olvidar la conexión del cordón detonante el final. Se emplea algún tipo de sello o ajuste en la boca de cada barreno para evitar la salida de la energía de explosión hacia esta, a excepción del barreno de alivio. La ilustración 3.8 muestra la forma final en que, una vez cargado cada barreno, quedan las conexiones externas del cordón detonante con la mecha de seguridad y conectores. En a) corona cargada en túnel y en b) tope.



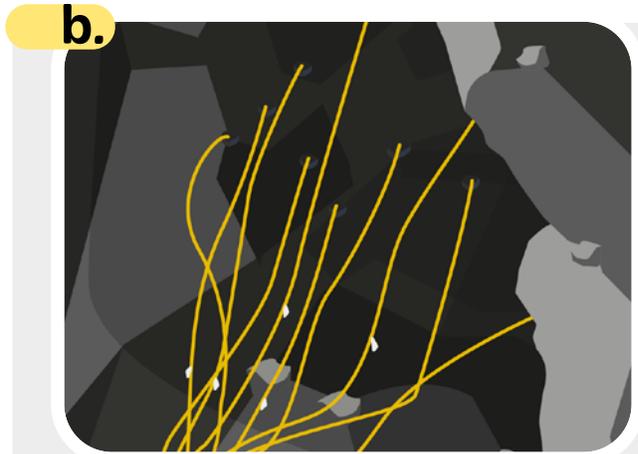
-  Barrenos de corte en el pie o piso del túnel, con carga de explosivos
-  Barrenos de corte en hastiales y corona del túnel, con carga de explosivos
-  Barrenos de fragmentación interna en el tope del túnel, con carga de explosivos
-  Barrenos de alivio sin carga de explosivos

**Ilustración 3.7.** Esquema hipotético de plantilla de barrenos en el tope de un túnel previo a la voladura.

**Ilustración 3.8.** Imágenes que muestran un frente de túnel debidamente cargado con explosivos.



**Carga de explosivos en corona de túnel o techo**



**Carga de explosivos en tope de túnel**



## Condición actual en la MAPE

El uso de explosivos y aditamentos en la MAPE en Costa Rica se realiza de forma ilegal. No se brinda capacitación en manejo de explosivos para este sector, por lo que su uso ha quedado a la pericia personal y a los conocimientos transmitidos con el tiempo, con los respectivos problemas de seguridad que involucra.

Se tiene poca información relacionada con este tema y sobre la labor que este gremio realiza actualmente. Según los datos con los que se cuenta, los explosivos son empleados de manera puntual únicamente en las vetas o mineral por procesar. Parte de la roca caja afectada por las voladuras termina siendo removida mediante barras de hierro y rotomartillo.

El uso de los explosivos se restringe, por lo general, a una sola detonación, por lo que es muy probable que utilicen únicamente cordón detonador con cartucho de dinamita o booster.

## Mejoras

Los explosivos se deben manejar aparte de los accesorios, mantener en un sector alejado a viviendas, aislados de la humedad, calor, llamas y chispas, así como de tendido eléctrico de alta tensión.

## 3.1.5 Estabilidad de túneles

### En qué consiste la actividad

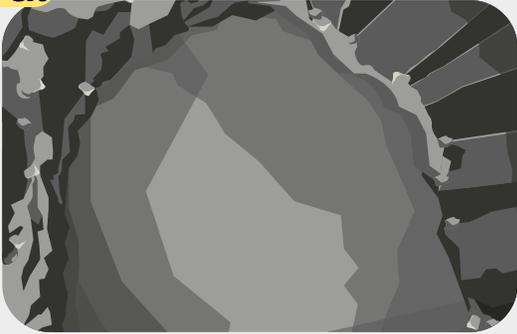
La estabilidad de un túnel o talud representa un equilibrio entre la fuerza de gravedad que actúa en el material y la condición/estado y composición del talud o hastiales y corona de un túnel, que permite que estos elementos se comporten de manera estable o se desprendan de su posición original.

En otras palabras y considerando únicamente la estabilidad en túneles, estos tendrán un comportamiento estable, sin desprendimientos ni colapsos, si la condición de la roca o material de la bóveda del túnel es buena.

Para ejemplificar, se muestran en la Ilustración 3.9 los dos escenarios en condiciones secas, sin filtraciones. El primero de ellos, en a) Condición estable: la condición de la bóveda de un túnel con la roca fracturada, pero sana y con un comportamiento estable, por lo que queda la roca desnuda sin revestimiento ni elementos necesarios para evitar desprendimientos. Mientras que en b) Condición inestable: la roca está bastante afectada por la alteración y lixiviación hidrotermal, por lo que se originan desprendimientos y un aumento en el riesgo de colapso de la corona del túnel y hastiales. Si hay presencia de filtraciones de agua en un túnel de condición inestable, como se muestra en b), aumentaría el riesgo de desprendimientos de roca o colapso.

**Ilustración 3.9.** Imágenes que muestran de manera general las dos condiciones de un macizo rocoso en la bóveda de un túnel.

**a.**



Roca con fracturas, pero de buena calidad y sin presencia de filtraciones de agua.

**b.**



El macizo rocoso bastante deteriorado, roca blanda y con superficies o planos que propician el desprendimiento de lisos.

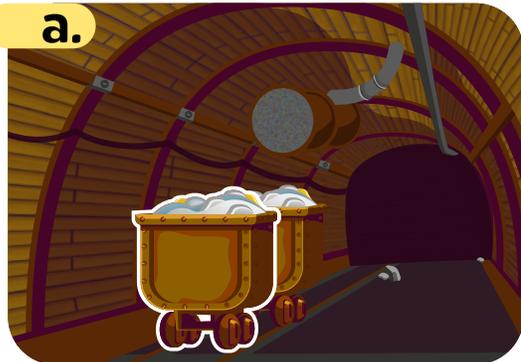
Cuando no se cuenta con condiciones de seguridad para laborar dentro del túnel, dadas por la estabilidad del macizo rocoso, se deben implementar valoraciones que permitan establecer el soporte por implementar para darle la estabilidad necesaria y poder laborar bajo condiciones de seguridad y disminuir el riesgo.

Dependiendo del proyecto minero, las valoraciones previas que se realizan durante cada avance de excavación en un túnel, como lo son estudios geológico-geotécnico, permiten establecer las mejoras y recomendaciones en el soporte de la roca en hastiales y corona, si así lo requiriera el tramo de túnel evaluado. La finalidad es evitar desprendimientos de roca y potenciales daños a la integridad humana, así como a equipos y herramientas que se utilizan.

Las imágenes que se muestran en la Ilustración 3.10 son ejemplos aplicados a las labores subterráneas de soporte y estabilidad cuando la condición del macizo rocoso lo requiere.

**Ilustración 3.10.** Imágenes de tipos de soporte en obra subterránea.

**a.**



Arcos en herradura de viga H, malla y piezas de madera.

**b.**



Soporte con marcos de madera y perlin con piezas de madera en hastiales y corona.

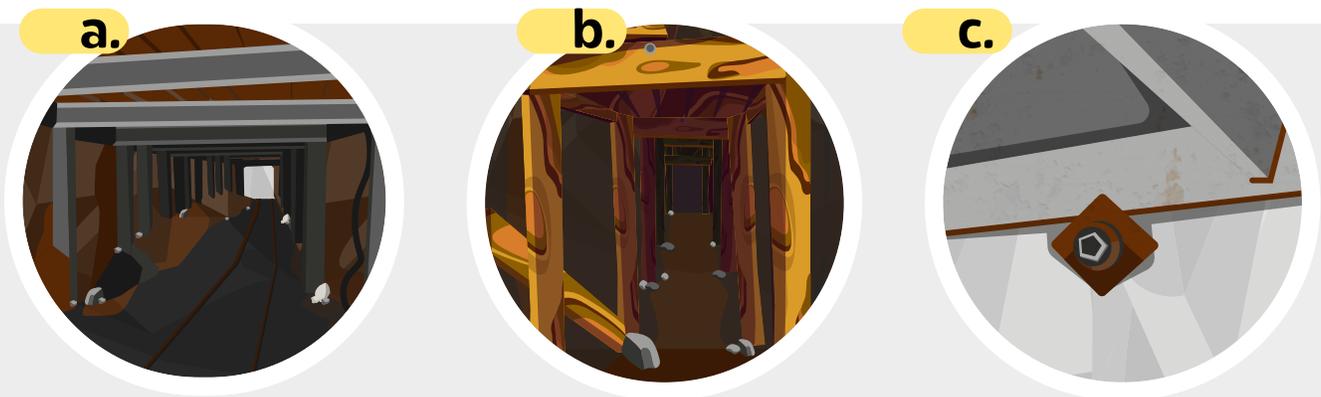
## Condición actual en la MAPE

El soporte utilizado en los túneles está directamente relacionado a las evidencias visuales de la condición de la roca. Generalmente, solo se implementan medidas de sostenimiento y protección para evitar caída de rocas o colapsos de la corona de un túnel cuando se encuentran materiales blandos.

Por lo general, en la actividad minera subterránea artesanal, en los tramos dentro del túnel que así lo requieran, se utiliza un soporte compuesto por mancuernas o marcos de madera o metal soldado, esto como estructura de soporte. Estos marcos o mancuernas se distribuyen cada cierta distancia según la condición de la roca en el tramo por proteger; además, se utilizan en los hastiales y corona entre marco y marco, láminas de metal y madera, con el fin de evitar el ingreso de rocas y material desprendido a la parte interna del túnel.

Las imágenes de la Ilustración 3.11 muestran los dos tipos de estructuras empleadas como soporte y protección al túnel. En ocasiones, dependiendo de los esfuerzos o presiones que ejerce el macizo de roca al relajarse, se colocan puntualmente pernos pasivos para ayudar a resistir y evitar colapsos.

**Ilustración 3.11.** Imágenes que muestran un frente de túnel debidamente cargado con explosivos.



## Mejoras

Siempre que se realizan labores subterráneas relacionadas con los avances de un túnel, el macizo de roca sufre, de forma natural, un relajamiento al ser liberado de la presión a la cual era sometido antes de la excavación, por lo que no todos los túneles presentan un mismo comportamiento.

Esta particularidad que presentan las diferentes rocas al ir avanzando un túnel es lo que determina la necesidad de implementar medidas paliativas o correctivas para poder laborar con seguridad. Por esta razón, los soportes que se utilicen deberán ser los idóneos que permitan aguantar la presión que ejerza el proceso de relajamiento de las rocas.



En bocamina es recomendable que el sistema de soporte sea robusto y bien reforzado, máxime si esta se ubica en una ladera y con cobertura de suelos que tienen condiciones de menor calidad y pueden ser fácilmente removidos por el agua.

En tramos de un túnel con evidencias claras de desprendimientos o, como se dice en el argot minero, que está chispeando, es recomendable realizar marcas distintivas que alerten sobre la condición en el sitio y cuanto antes intervenir el tramo, previo a presentarse una emergencia. La Ilustración 3.12 muestra un esquema que ejemplifica un tramo del túnel con refuerzo, el cual en cierta medida da confianza y seguridad en su recorrido; caso contrario donde hay un tramo de condiciones malas en el macizo rocoso, hay desprendimiento de rocas por lo que es imprescindible dar soporte.



**Una emergencia se puede evitar si la amenaza es eliminada**

**Ilustración 3.12** Esquema que muestra un tramo de un túnel con soporte y refuerzo del lado derecho. Hacia el tope del túnel o frente de excavación la condición de la corona sugiere una intervención debido a la caída de rocas.



**Extra**

Si el soporte y arcos que se están empleando en un tramo de túnel afectado por la descompresión o relajamiento del macizo son de madera, es conveniente realizar revisiones periódicas de su condición y establecer la necesidad de mejoras o reforzamientos. Si se emplean troncos de madera, esta debe ser resistente, de larga durabilidad y buen comportamiento a la humedad, así como resistente al peso, no emplear especies en veda ni en peligro de extinción.



### 3.1.6 Manejo de aguas del túnel

La presencia de agua en un túnel puede representar, dependiendo de la cantidad o caudal, un elemento de suma importancia que debe ser considerado en las labores internas y su eventual evacuación. Su presencia influye en aspectos como la temperatura interna del túnel, en las condiciones de estabilidad en los tramos donde brota, generación de drenaje ácido y, si el caudal es extremo, hasta riesgos laborales y complejidades en las labores mineras.

#### En qué consiste la actividad

La estabilidad de un túnel o talud representa un equilibrio entre la fuerza de gravedad que actúa en el material y la condición/estado y composición del talud o hastiales y corona de un túnel, que permite que estos elementos se comporten de manera estable o se desprendan de su posición original.

En otras palabras y considerando únicamente la estabilidad en túneles, estos tendrán un comportamiento estable, sin desprendimientos ni colapsos, si la condición de la roca o material de la bóveda del túnel es buena.

#### Condición actual en la MAPE

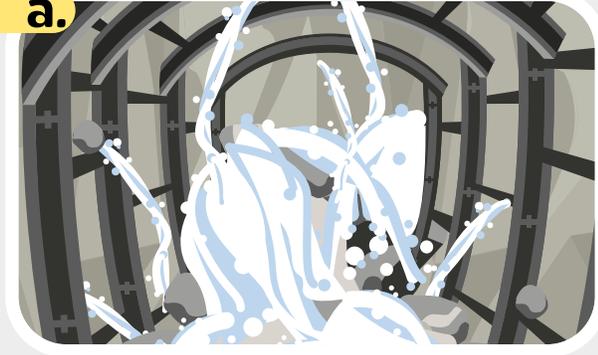
Filtraciones de agua que, por acción de la gravedad, se dan a través de poros y fracturas en la roca y por apertura en el avance de un túnel, se descargan hacia la parte interna de este. La realización de labores de manejo del agua es de suma importancia, máxime si al ser un caudal considerable llega hasta bocamina y descarga a un sistema natural como una quebrada o río.

El manejo de aguas en labores subterráneas representa una serie de medidas que permitan laborar en condiciones óptimas, seguras y sin poner en riesgo el ambiente. Se puede analizar desde dos puntos de vista. El primero considerando la ocurrencia de filtraciones durante el avance de construcción del túnel producto de la extracción de la mena, y un segundo punto, el manejo interno en el túnel y eventual conducción al exterior.

*Presencia de filtraciones:* corresponden con la ocurrencia, afloramiento o salida de agua proveniente del macizo rocoso, que se infiltra desde la superficie o proveniente de un acuífero y que desciende por gravedad a lo largo de fracturas o por medio de poros. En ocasiones, el macizo de roca tiene sus fracturas y poros cargados de agua, por lo que en túnel se pueden observar, de manera literal, ríos a presión, ejemplo de esto se observa en las imágenes de la Ilustración 3.13. La imagen a) muestra la abundante salida de agua del tope o frente del túnel únicamente, mientras que en b) las filtraciones se dan en un tramo intermedio.

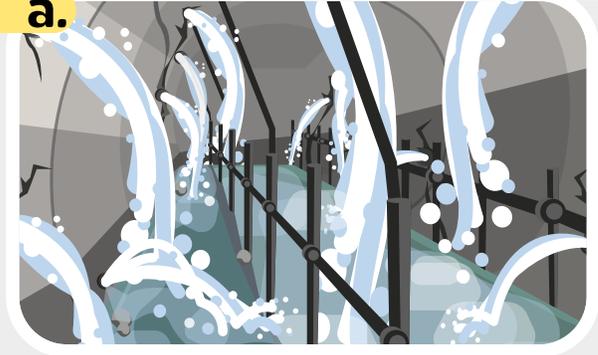
**Ilustración 3.13:** Filtraciones en la parte interna de un túnel, claramente se observa la salida a presión del agua y con un caudal abundante. Imágenes tomadas de un proyecto hidroeléctrico.

**a.**



Filtraciones ocurren en el tope del túnel.

**a.**



En un sector intermedio con salida a presión del agua.

Manejo interno y descarga externa del agua: las aguas que convergen a lo interno del túnel son canalizadas mediante cuencos o desagües, por lo general, a un único desagüe que, dependiendo del caudal, podría alcanzar la bocamina y descargar a un colector natural o desagüe cercano. Esta acción se realiza siempre y cuando el agua proveniente de la parte interna del túnel sea incolora y sin arrastre de sedimento.

Si hay evidencia de arrastre de sedimento o incluso cambios en la tonalidad del agua, se emplean pequeñas cajas de registro o sedimentadores donde el agua ingresa y por gravedad decantan sedimentos y demás materiales transportados. Si el tramo de recorrido es extenso, se hacen varios en su recorrido y se les realiza labores de mantenimiento periódico para evitar su colmatación; el sedimento que se extrae puede ser procesado incluso. La Ilustración 3.14 ejemplifica un sedimentador empleado en mina subterránea. Primero en a) las aguas provenientes del interior de un túnel son canalizadas hasta un sedimentador donde el sedimento que es transportado en suspensión y fragmentos de roca precipitan. En b) se muestra un sedimentador, el uso de rejilla es fundamental para evitar lesiones a los mineros y caída de animales silvestres.

Por lo general, al momento de realizar labores de mantenimiento a los sedimentadores, el sedimento se puede procesar como concentrado con potencial presencia de oro. Por su parte, el agua sufre una reducción considerable del sedimento transportado en suspensión, por lo que puede ser reutilizada en procesos mineros o direccionada a un sistema natural, siempre y cuando no hayan realizado labores de amalgamado con ella ni procesamiento con químicos y tampoco haber usado coagulantes ni floculantes.

Cuando la roca contiene minerales sulfurosos como la pirita, al momento de tener contacto con el agua y oxígeno, sufre una serie de cambios químicos que genera con el tiempo una coloración en el agua que va desde café hasta anaranjado, a esto se le denomina drenaje ácido. En ocasiones, se forma un precipitado o pátina en las rocas y fondo del cauce por donde circulan aguas de este tipo.

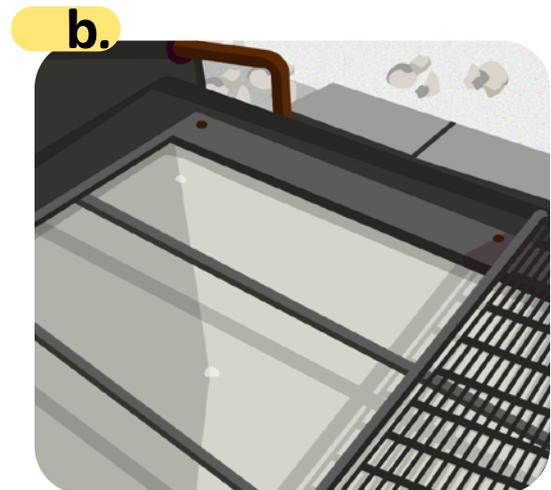
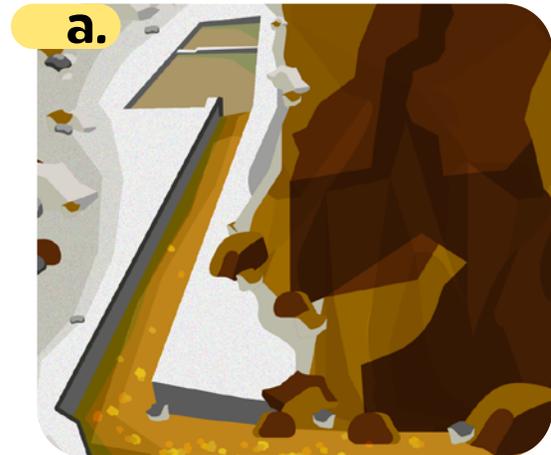


La mayor parte de los túneles que son trabajados por la MAPE en Costa Rica tienen condiciones de ausencia de agua o con pequeñas filtraciones que no requieren labores para su conducción. No obstante, en algunos laboreos mineros de la zona, estacionalmente se dan ingresos de agua o filtraciones que no pasan desapercibidas.

El agua, en todo caso, a lo interno del túnel limitaría el trabajo únicamente en el tope de excavación, mientras que, en su trayecto hacia la bocamina, si no es un caudal extremo que dificulte la movilidad, únicamente se deja salir. Para esto se adecua, en los puntos que lo requieran, un desagüe o caño para su evacuación fuera del túnel.

La presencia de drenaje ácido en las zonas mineras del país es posible, debido a la presencia de minerales de sulfuro y a las filtraciones de agua. Se tiene conocimiento de, al menos, una mina que cuenta con aguas que se movilizan desde la parte interna del túnel hasta bocamina, donde se presenta este proceso químico. En superficie se observan sobre las rocas y partes del lecho del cauce una pátina o costra de color café rojiza hasta anaranjado, que se relaciona con este.

**Ilustración 3.14:** a. Canal de conducción desde el túnel hacia b.caja de registro



## Mejoras

Considerando que los sitios donde se tiene presencia de agua en túneles son pocos, a excepción de la época lluviosa, se sugiere, así sea de forma estacional, obras que canalicen las aguas y evitar eventuales afectaciones durante las labores. Es probable que, al ser únicamente durante la época lluviosa, cuando se tenga filtraciones en algunos túneles, se pueden realizar pequeños pozos ubicados en algunos puntos que permitan al agua llegar hasta ese sitio y el eventual sedimento que acarrea en su recorrido.



Si la roca en ese punto presenta fracturas, posibilita la percolación de estas aguas sin alcanzar la superficie en bocamina. Si, por el contrario, el caudal es considerable, se pueden realizar varios pozos o cajas de registro para que, de una forma gradual, estas aguas vayan reduciendo su caudal y precipitando el sedimento que transporte. En ocasiones, la caja de registro más próxima a la bocamina se construye de concreto y una rejilla en superficie para evitar lesiones de algún minero o ingreso de animales. No obstante, estas deben ser construidas a un costado del túnel preferiblemente y no en el centro donde, por lo general, se camina.

En la Ilustración 3.14, se muestra el planteamiento del canal o desagüe de evacuación de aguas de un túnel y el uso de cajas de registro para decantar el sedimento transportado sirve también, para disipar la energía de descenso del agua en caso de tener el túnel una pendiente importante hacia la bocamina.

El monitoreo de las aguas en zonas mineras con presencia de drenaje ácido es recomendable, máxime si estas son direccionadas a un colector natural como río o quebrada; en este caso, se sugiere establecer alianzas con los mineros y universidades públicas, gobierno local y otras dependencias relacionadas al área de la salud y evitar afectaciones a ecosistemas naturales y salud pública.





## 3. EXTRACCIÓN DE ORO EN LA MAPE

### 3.2. Procesamiento mineral

Esta fase consiste en el procesamiento del mineral desde el quebrado de la mena, hasta la producción del doré. A continuación, se detalla la información de cada una de las actividades que conlleva toda la fase de procesamiento mineral.

#### 3.2.1 Quebrado de la mena

##### **i** En qué consiste la actividad

Corresponde a la primera fase del flujograma del proceso mineral, y consiste en la reducción del tamaño de la mena hasta tamaños apropiados para pasar al proceso de molienda en las rastras o molinos. Para esto, se utilizan quebradores de impacto o de mandíbulas usualmente pequeños, o en casos muy particulares, de manera manual con el uso de un mazo.

##### **✓** Condición actual en la MAPE

Actualmente, en los diferentes sitios de procesamiento mineral en Abangares, es común observar la existencia de quebradores de mandíbula eléctricos en el inicio del proceso (Ilustración 3.15). En la mayoría de los casos, cada planta de beneficiado cuenta con al menos un quebrador pequeño.

**Ilustración 3.15:** Imágenes de quebradores de mandíbula en algunas plantas de procesamiento mineral en la MAPE de Abangares.



Usualmente, en el sitio donde se ubica el quebrador, y en su entorno inmediato, se observa la presencia de polvo en el suelo y aire; sin embargo, dada la escala de trabajo, estos no suelen utilizar espacios muy amplios, por lo que la afectación suele ser limitada.

Los quebradores suelen generar niveles altos de ruido en su entorno más inmediato y, actualmente, no es común que se coloquen barreras de sonido a su alrededor, únicamente se disponen en el sitio más apropiado para trabajar.



### Mejoras aplicables

- Para contrarrestar el problema del polvo en los alrededores del quebrador, se sugiere la aspersión frecuente de agua en el entorno inmediato del quebrador, de forma tal que las partículas de polvo se mantengan en el suelo.
- Se recomienda la instalación de barreras de sonido o de contención del ruido adecuadas, como paredes o cortinas junto a los equipos trituradores, que pueden ser metálicas, de madera o de concreto;
- Además, es importante que los trabajadores a cargo de la trituración de la mena utilicen el equipo de protección adecuado para la actividad, tal como casco, lentes, mascarilla, protectores de oído y guantes. Cada quebrador debe contar con cubiertas protectoras para evitar el atrapamiento de miembros superiores de quienes los manipulan.
- Se recomienda instalar cribas para clasificar el material triturado, y poder enviar las partículas gruesas nuevamente al quebrador para su correcta trituración. De esta manera, se garantiza que todas las partículas que se van a pasar a la fase de molienda tengan el tamaño de grano adecuado.
- El proceso de quebrado se realiza en seco para facilitar la trituración del material. Sin embargo, cuando la mena por triturar contenga mucho material fino (limos o arcillas), se recomienda que sea tratado por aparte de la mena más limpia, y se valore un lavado con agua, previo a la trituración.

## 3.2.2 Molienda de la mena

### **i** En qué consiste la actividad

Es una operación que permite la reducción del tamaño de la mena, hasta obtener una granulometría deseada, permitiendo que la extracción del mineral sea más eficiente. Para lo cual se utilizan diversos aparatos que trabajan por choques, aplastamiento o desgaste, tales como molino de bolas, molino de barras o molinos chilenos.

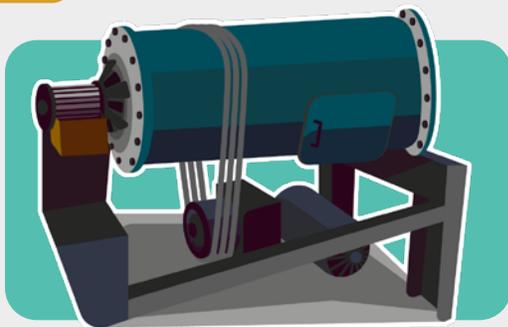
Usualmente, la molienda está precedida de una sección de trituración y, por lo tanto, la granulometría de los minerales que entran a la sección molienda es relativamente uniforme. Los tamaños de grano obtenidos en la molienda pueden variar entre unos 74 micrones (malla 200) y 177 micrones (malla 80).

La molienda se puede considerar como la etapa más importante en la cadena de procesamiento de oro, ya que es ahí cuando se libera el mineral y se hace accesible para las demás etapas de la cadena. Donde, si se muele poco el oro, se mantiene adjunto a otros minerales; mientras que, si se muele mucho, las partículas serán muy finas para ser recuperadas sin el uso de sustancias químicas. Una molienda adecuada produce material de tamaño uniforme y suficientemente fino para separar el oro.

**a.**



**b.**



### Condición actual en la MAPE

En la zona MAPE de Abangares, son pocas las personas mineras que cuentan con una fase de molienda primaria con molinos, previa a la molienda y amalgamación en rastras. En los casos donde existe esta molienda primaria, se utilizan molinos de bolas con dimensiones pequeñas a medianas, y en los últimos años ha habido un incremento en la implementación del uso de molinos chilenos (Ilustración 3.16).

**c.**



**d.**



**Ilustración 3.16:** Imágenes de quebradores de mandíbula (a y b) y molinos chilenos (c y d) en algunas plantas de procesamiento mineral en la MAPE de Abangares.



## Mejoras aplicables

- Debido al tipo de equipos utilizados, los sitios de molienda suelen presentar niveles de ruido altos, por lo que se recomienda la instalación de barreras de sonido, tales como paredes o cortinas junto a los equipos de molienda; que pueden ser metálicas, de madera o concreto.
- Tomando en cuenta que todos los tipos de molinos producen altos porcentajes de grano fino, lo cual puede conducir a una sobremolienda y, por ende, una mala recuperación del mineral valioso; se recomienda moler con un cribado previo e intermedio, y con realimentación de partículas mayores.
- En caso de utilizar molinos chilenos en la molienda primaria, es importante incorporar una malla en la salida del flujo de lodos, esto con el objetivo de filtrar el tamaño de partículas que pasarán hacia la siguiente fase del procesamiento mineral. El número de malla por utilizar y, por ende, el tamaño de partícula al cual se quiere reducir la mena, deberá ser definido para cada caso particular, basado en la experiencia y pruebas de campo realizadas por cada minero.
- Es importante conocer el tamaño de grano de las partículas de oro de la mena, con el fin de separarlas de manera adecuada y eficiente durante la molienda. En términos generales, la molienda se considera efectiva cuando el tamaño de grano es menor de 0,5 mm (0,02 pulgadas; malla 35). De ahí la importancia de realizar pruebas de separación y de recuperación, con el objetivo de mejorar la recuperación del oro en cada proceso de beneficiado.
- Dado que una sobremolienda implica un gasto de tiempo y recursos económicos, es fundamental identificar el tiempo necesario que se debe moler la mena para recuperar el oro. Para esto se pueden hacer pruebas de liberación, las cuales son relativamente simples de aplicar; y que consisten en utilizar una batea u otro concentrador para identificar la cantidad de oro liberado en un período de tiempo determinado o ciclo de molienda (se recomiendan ciclos de 20 minutos de molienda). El material extraído en cada ciclo de molienda debe ser reintegrado al molino, para ser molido nuevamente en el siguiente ciclo, lo cual se debe repetir hasta que la batea no produzca más oro; es así que el tiempo adecuado para la molienda corresponde a la sumatoria del tiempo de los diferentes ciclos ensayados. Este proceso puede determinar el tamaño de grano óptimo para la liberación del oro, así como el tiempo de molienda que lo produce.
- La prueba de liberación también puede determinar el tamaño óptimo del grano para la molienda, el cual se puede medir usando una serie de tamices; donde el tamaño de tamiz que permite pasar el 80% del mineral corresponde al tamaño granular óptimo.
- Se recomienda realizar pruebas de recuperación de oro utilizando una molienda primaria óptima, que permita generar concentrados a los que se le pueda extraer el mineral mediante otro método alternativo, como concentración gravimétrica o fundición directa. Utilizando el mismo tipo de mena, estas pruebas de recuperación deben ser igualmente realizadas mediante el método convencional de amalgamación en rastras, esto con el objetivo de comparar los resultados de recuperación obtenida en cada caso.





### 3.2.3 Lavado alternativo previo a la amalgamación

#### **i** En qué consiste la actividad

Esta técnica consiste en lavar con agua limpia el material que ha pasado por la fase de trituración y de molienda primaria (cuando se cuenta con molinos de bolas), esto de manera previa a la fase de amalgamación. Este lavado se suele realizar una vez que el material sale de los molinos de bolas, utilizando aspersores con agua limpia y sistemas giratorios con mallas para la retención de partículas. Alternativamente, los lodos pueden ser pasados hacia un cayuco para recuperar algo de oro fino liberado de la molienda.

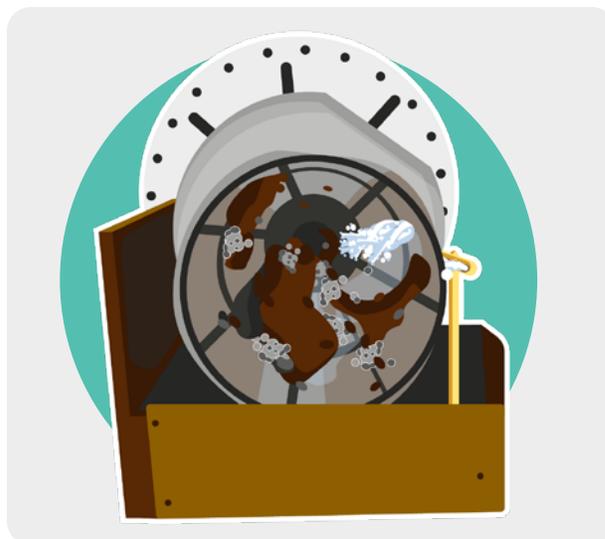
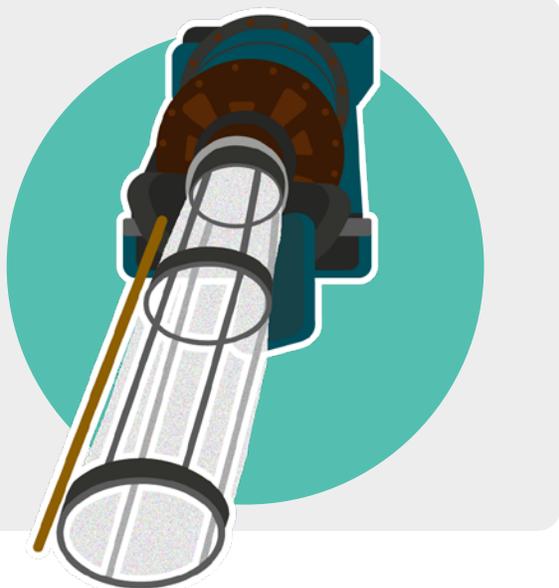
Con este procedimiento se pretende extraer y separar los lodos de la parte gruesa de la mena, de tal forma que el material por procesar sea más limpio, para con esto reducir el volumen por procesar y, de alguna manera, concentrar más el mineral previo a la amalgamación.

#### **✓** Condición actual en la MAPE

Actualmente, esta técnica es utilizada por pocas personas mineras en la MAPE, quienes la aplican de manera previa a la introducción del material en las rastras, es decir, de manera previa a la amalgamación (Ilustración 3.17). Este lavado es aplicado una vez que el material sale de los molinos de bolas, y se utilizan mallas para la retención del material grueso.

En cuanto a las aguas residuales de este proceso, actualmente, son dirigidas directamente hacia alguna de las pilas existentes, donde se mezclan con lamas que contienen mercurio. Esta mezcla de lamas libres de mercurio con lamas que contienen mercurio constituye una mala práctica minera y ambiental.

**Ilustración 3.17:** Imágenes de algunos procesos de lavado previo a la molienda del mineral, en plantas de procesamiento de la MAPE de Abangares





## Mejoras aplicables

- Tomando en cuenta los buenos resultados obtenidos por los mineros que aplican esta técnica en la MAPE, en cuanto a la reducción del volumen de material por procesar, así como en la disminución de las pérdidas de mercurio en lamas, en la medida de lo posible, se recomienda incorporar un sistema de lavado con agua de manera previa a la amalgamación en rastras.
- En cuanto a los lodos generados durante este proceso de lavado alternativo, dado que estos se encuentran libres de mercurio, se deben disponer en pilas separadas de las lamas con presencia de mercurio.

## 3.2.4 Técnicas de extracción de oro con mercurio

### a) Amalgamación



#### En qué consiste la actividad

Consiste en la aleación de mercurio con oro o plata contenido en la mena molida. Al entrar en contacto con el mineral, las partículas de mercurio se adhieren con el oro o plata y forman una masa o amalgama de la cual se puede separar el oro en un proceso posterior.



#### Condición actual en la MAPE

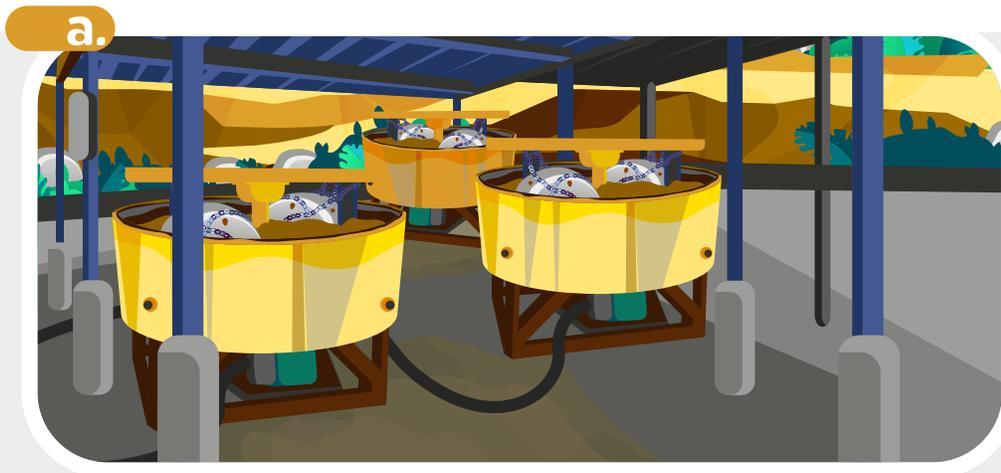
En la actualidad, prácticamente todos los sitios de procesamiento mineral de la MAPE cuentan con rastras para la amalgamación del oro con mercurio; para lo cual la mena triturada, y en algunos casos molida primariamente (con molino de bolas o molino chileno), es introducida a las rastras junto con una cantidad determinada de mercurio y agua (Ilustración 3.18).

En este proceso, las partículas de oro que se van liberando desde la molienda previa o en la rastra se van uniendo al contacto con el mercurio formando la amalgama de mercurio y oro.

Las condiciones del lugar donde se ubican las rastras son variables en cada planta de procesamiento mineral, en su mayoría, se disponen sobre pisos de concreto, muchos con canales perimetrales a modo de trampas o drenajes para residuos; pero también los hay sin ningún tipo de piso impermeable, sino que se encuentran directamente instaladas sobre el suelo natural.



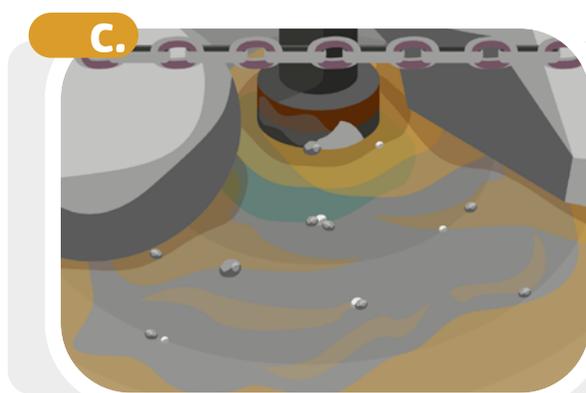
**Ilustración 3.18:** Imágenes que muestran los sistemas de amalgamación utilizados en la MAPE.



En **a)** se muestran una serie de rastras instaladas sobre un piso de concreto.



En **b)** se puede observar una rastra instalada sobre el terreno natural (suelo).



Y en **c)** se muestra el mercurio en el proceso de amalgamación dentro de una de las rastras.



## Mejoras aplicables

- Es importante que cada rastra esté dispuesta sobre un piso impermeable como el concreto, y evitar la instalación directa sobre el terreno natural, esto con el fin de controlar eventuales derrames de la mezcla contaminada con mercurio. Además, se debe contar con trampas o canales de drenaje para que los residuos que puedan ser derramados durante la operación puedan ser manejados de la manera apropiada.
- En caso de instalarse tuberías o canales de excedentes de mezcla en las rastras, estas deben ser correctamente dirigidas hacia las pilas de lixiviados. Se recomienda que la conducción de los excedentes de mezcla hacia las pilas sea cerrada, es decir, mediante tuberías, o bien canales protegidos en superficie (con parrillas o tapa continua).
- Se recomienda revisar periódicamente los pisos de cada rastra, con el objetivo de identificar eventuales grietas en la estructura, las cuales pueden contribuir a la pérdida de mercurio durante el proceso de amalgamación.



- Es recomendable desarrollar un proceso óptimo de concentración y uso mínimo de mercurio, controlando estrictamente las cantidades mínimas necesarias. Para lo cual es importante llevar un control y registro de la cantidad de mercurio aplicado en cada unidad de rastra, así como de la cantidad de material de mena procesado, y la masa de oro recuperado.
- Se debe buscar un balance entre el tamaño del grano y los costos, ya que, si se muele poco, el oro se mantiene adherido a otros minerales, y si se muele demasiado, las partículas serán demasiado finas, lo que dificulta su recuperación.
- Se recomienda realizar pruebas de molienda para identificar cuánto es el tiempo necesario de molienda para liberar el oro. Para esto se pueden realizar pruebas de liberación, cateando el oro liberado por cada cierto tiempo de molienda (se propone cada 20 minutos), para con esto identificar cuánto oro es liberado en cada ciclo de molienda. Este proceso puede determinar el tamaño de grano óptimo para la liberación del oro, así como el tiempo de molienda que lo produce.
- Las pruebas de liberación también permiten obtener el tamaño óptimo del grano para la molienda, el cual se puede medir usando una serie de tamices. El tamaño del tamiz que permite pasar 80% del mineral es el tamaño granular óptimo.



## b) Deslamado

### **i** En qué consiste la actividad

Este proceso consiste en sacar y separar el material molido en el proceso, y obtener la amalgama de mercurio y oro.

### **✓** Condición actual en la MAPE

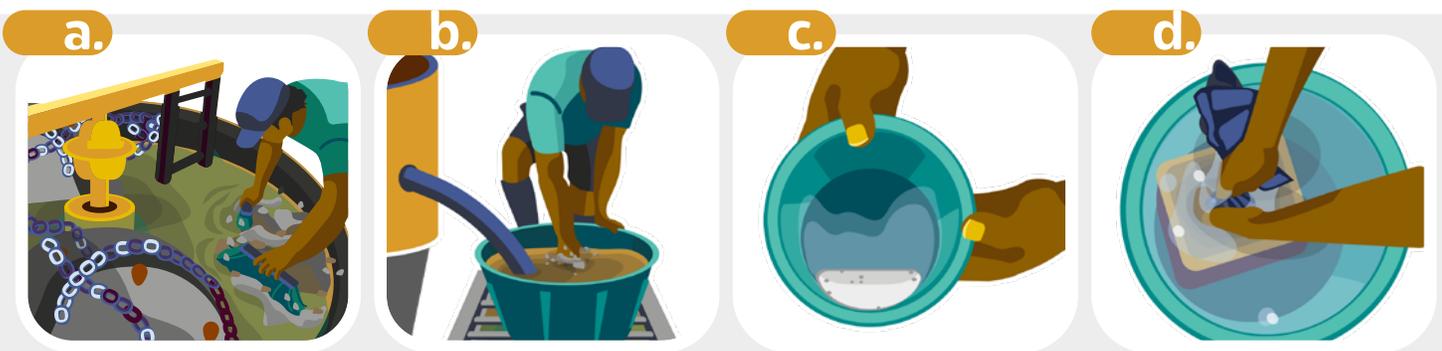
El deslamado inicia vaciando la rastra con la ayuda de una escoba y agua limpia, levantando las piedras molidoras de las rastras, de tal forma que los sólidos de desecho se dirigen por tubería hacia la pila de lamas; mientras que se recoge cuidadosamente en algún recipiente el mercurio líquido que contiene el oro (Ilustración 3.19).

Una vez separada la amalgama y las lamas, el mercurio líquido con oro recogido en el recipiente es pasado por una tela porosa y resistente (tipo lona vinílica), para lo cual se coloca la amalgama en la tela y se tuerce (comprime) fuertemente hasta sacarle todo el mercurio líquido, y dejar la amalgama con el oro y con la menor cantidad posible de mercurio (Ilustración 3.19).

De este proceso se obtienen dos productos: mercurio líquido sin oro por un lado (aunque posiblemente con impurezas) y la amalgama con oro endurecida (Ilustración 3.20). El mercurio líquido que se recupera en este proceso es almacenado y reutilizado en los siguientes procesos.

Es común realizar todo el proceso de deslamado sin ningún tipo de equipo de protección personal, en superficies sin impermeabilizar, y sin ningún tipo de medida para el control de derrames.

**Ilustración 3.19:** imágenes del proceso de deslamado en una de las plantas de procesamiento en la MAPE.



**a)** se muestra la limpieza y barrido que se realiza en las rastras.

**b)** se muestra parte del proceso de deslamado, específicamente el lavado y extracción de amalgama de la rastra.

**c)** se presenta un ejemplo de una amalgama de mercurio y oro extraído durante un proceso de deslamado.

**d)** se muestra la forma en la que se tuerce la tela que contiene la amalgama.



## Mejoras aplicables

- Se recomienda que los sitios de amalgamación se encuentren alejados de centros de población o de cuerpos de agua superficial.
- Se debe manejar el mercurio solo en áreas bien ventiladas o en aire libre, esto para evitar la exposición.
- Cada persona trabajando con mercurio debe tener su equipo de protección personal adecuado, que incluya guantes de látex, delantales de vinilo o polietileno y lentes de seguridad.
- Se recomienda que el proceso de deslamado se realice sobre una superficie impermeable, como un piso de concreto o similar, dentro de una bandeja plástica para controlar derrames.



### Ilustración

**3.20:** Amalgama endurecida de mercurio y oro, obtenida posterior a la torcida con la tela.



## c) Quema de la amalgama

### i En qué consiste la actividad

La quema de la amalgama consiste en calentarla a una alta temperatura, de tal forma que se puede destilar la amalgama y poder recuperar el mercurio condensado, por un lado, y la esponja de oro por el otro.

La temperatura necesaria para la separación del mercurio debe ser superior a los 357°C, dado que este corresponde con el punto de ebullición de dicho elemento. Lo usual es que durante el proceso de quema se alcancen temperaturas superiores a los 400°C.

En algunos países, esta quema se realiza al aire libre, sin embargo, esto se considera como una de las peores prácticas en la MAPE. La otra alternativa es quemar la amalgama dentro de un aparato que permita capturar el mercurio, como una retorta o extractor (quema en circuito cerrado).

### ✓ Condición actual en la MAPE

En la zona MAPE de Abangares, la quema de la amalgama se realiza con retortas de fabricación casera (“hechizas”), las cuales suelen calentarse con leña, carbón o incluso gas (Ilustración 3.21). Una vez que la retorta alcanza cierta temperatura, los vapores de mercurio se condensan y comienzan a salir por el tubo hacia el recipiente con agua en estado líquido. Este mercurio líquido se recupera, mientras que la esponja estaría lista para su venta.

Si bien es cierto, se ha comprobado que la retorta tiene una eficiencia de recuperación relativamente buena, por diversas razones, algunas veces, se dan pérdidas de mercurio gaseoso en el proceso de quema.

**Ilustración 3.21:** Imágenes de retortas utilizadas en la MAPE de Abangares.





## Mejoras aplicables

- En ninguna circunstancia se debe realizar la quema directa de amalgama a cielo abierto; siempre debe usarse una retorta o equipo equivalente para recuperar el mercurio.
- Es de suma importancia revisar frecuentemente el funcionamiento de la retorta, esto con el objetivo de identificar posibles fugas de mercurio por un mal funcionamiento de los sellos. En caso de identificarse signos de oxidación en el aparato, este debe ser sustituido por uno en buenas condiciones.
- Debido al riesgo que constituyen los vapores de mercurio en el proceso de quema, es fundamental que el minero que manipule la retorta cuente con el equipo de protección necesario, que debe incluir, al menos: delantales de vinilo o polietileno, respiradores o mascarillas de carbón activado y guantes.
- Es recomendable utilizar retortas que cuenten con un sistema para la adecuada evaporación y recuperación del mercurio y, en la medida de lo posible, remplazar los sistemas de fabricación casera, “hechizos”, por sistemas mejor estructurados, por ejemplo, las retortas de pipa (Ilustración 3.22).
- La retorta debe ser utilizada en un ambiente con buena ventilación, preferiblemente con un extractor, y ser utilizada por personal capacitado, y con los implementos mínimos de seguridad. Además, dado que la retorta puede contener rastros de mercurio, esta debe ser guardada en un lugar seguro, de tal forma que se eviten las exposiciones a personas.
- Se recomienda aplicar una capa fina de cal, tiza, arcilla o talco al interior de la retorta, antes de que se lo cargue con amalgama. Esto evita que el oro se pegue al fondo y las paredes de la retorta luego de la destilación, generando mejores resultados.
- Las retortas deben abrirse hasta que esta se enfríe, esto para evitar que el vapor de mercurio se escape en el ambiente y provoque exposición.
- Se considera importante llevar un control detallado de las cantidades de mercurio utilizado, recuperado y perdido. Esto permitirá determinar la eficiencia en la recuperación de la retorta y, por ende, la pérdida de mercurio en el ambiente. Para esto se debe pesar la masa de la amalgama previo a la quema en la retorta, también la masa de mercurio condensado y la masa de la esponja de oro.



**Ilustración 3.22:** Ejemplo de una retorta de pipa de fabricación industrial, para la adecuada recuperación del mercurio.





### 3.2.5 Técnicas de extracción de oro con cianuro

La cianuración no se recomienda para la MAPE, ya que es un proceso industrial complejo que debe realizarse bajo la supervisión de profesionales autorizados y cumplir con los requisitos y autorizaciones establecidas en la legislación nacional.

### 3.2.6 Fundición del doré

#### **i** En qué consiste la actividad

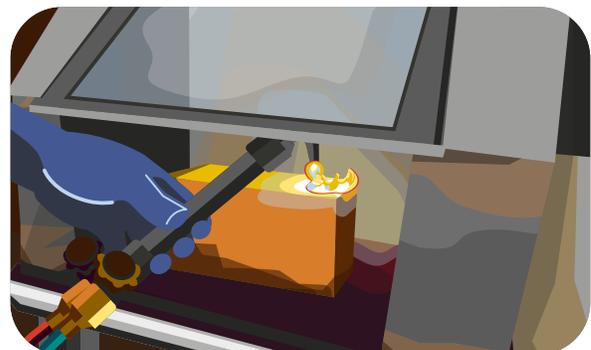
Corresponde a una técnica de limpieza y purificación del oro, la cual se realiza mediante la fundición de la esponja de oro con un soplete usualmente de gas, lo cual permite limpiarla de impurezas.

#### **✓** Condición actual en la MAPE

En algunas ocasiones, los mineros realizan un proceso de fundición de la esponja de oro con el objetivo de limpiar de impurezas la esponja de oro, para lo cual suelen utilizar un soplete con gas (Ilustración 3.23). Sin embargo, independientemente de si el minero realiza este proceso adicional de fundición, en los centros de compra del oro, la esponja siempre es fundida previo a su pesaje final.

Si bien es cierto, la fundición en los centros de compra de oro se da dentro de cámaras de extracción de gases con chimenea, debido a la falta de monitoreo en el sistema, se desconoce si este proceso genera alguna contaminación en el aire.

**Ilustración 3.23:** Imagen de un sistema para la fundición del doré en la MAPE.



**Se muestra un proceso de fundición con soplete en una de las plantas de procesamiento de un minero artesanal.**

#### **⚙️** Mejoras aplicables

Los procesos de fundición que realiza cada minero en su sitio de trabajo deben realizarse en sitios apropiados para tales fines, lejos de viviendas y con ventilación adecuada, y que cuente con cámaras extractoras de gases en buen estado. Así mismo, es de suma importancia que el minero que funda la esponja de oro cuente con todo el equipo de protección adecuado para tales fines.



## 3. EXTRACCIÓN DE ORO EN LA MAPE

### 3.3. Pasivos mineros de la MAPE

#### 3.3.1 Manejo de lamas

##### **i** En qué consiste la actividad

Se entiende por pasivo minero-ambiental aquellos productos secundarios residuales que resultan del procesamiento de la mena. Los más comunes en la minería son los residuos sólidos que resultan de la molienda de la mena, denominado lama, restos de los productos empleados para voladuras como cajas de emulsión, restos de cordones detonantes, trozos de las salchichas de emulsión y el cartón de cartuchos de dinamita o booster.

Producto del empleo de plantas eléctricas en las labores mineras, la generación de residuos como diésel, aceites y repuestos metálicos y plásticos podrían generarse en menor frecuencia. Lo mismo sucede con restos metálicos de rastras y pines de hierro de las rocas empleadas en la molienda.

A pesar de que puede existir esta variedad de residuos producto de la labor minera, a excepción de las lamas, todos los demás no tienen la misma frecuencia de generación. Algunos tardan hasta un año en producir un fragmento de metal resultado de una labor de mantenimiento de una rastra, por ejemplo. Los residuos de las voladuras también serían mínimos. Por esta razón, se consideran las lamas como el más importante por evaluar dentro de los pasivos mineros-ambientales y que será descrito, a continuación.

La lama o cola minera es el material de granulometría fina compuesto de arena fina, limo y arcilla, resultante de la molienda de la mena.

## Condición actual en la MAPE

Directamente relacionado con la MAPE, está la producción de lamas o colas mineras con y sin mercurio. Además, aquellas que fueron tratadas con azogue (mercurio), aún contienen una importante cantidad de oro diseminado, por lo que siguen siendo atractivas en la actividad minera.

Por lo general, una vez transcurrido el tiempo necesario, en la rastra, de la mena en el proceso de molienda, se pasa al deslamado, que representa la separación de lo que constituye la amalgama, de importancia económica prioritaria para el minero, del sedimento fino. Este último es direccionado o canalizado, a pilas o calicatas de variada profundidad y área mediante agua, la cual, por lo general, es devuelta o recirculada al sistema nuevamente.

Las pilas donde se depositan las lamas, en general, no cuentan con diseños geotécnicos que respalden su estabilidad, no cuentan con superficies impermeabilizadas en la parte interna, ni mucho menos cálculos de la tasa de infiltración de la superficie interna que está en contacto directo con las lamas.

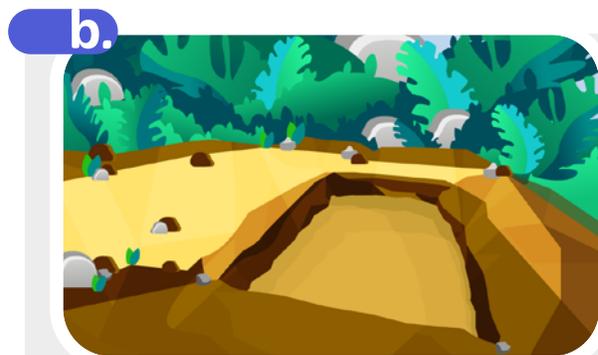
De forma general, las lamas son acumuladas durante gran parte del año en pilas y por tradición y por un poco de dinero son vendidas durante el verano cuando se supone están secas. La venta de las lamas es efectuada sin realizar análisis que determine el contenido de mercurio ni la cantidad de oro que aún contiene.

En la Ilustración 3.24, se incluyen dos imágenes que muestran las condiciones actuales y reales de la forma en que son dispuestas las lamas en las pilas. En ambos casos, no se utiliza cobertura para evitar ingreso de aguas de lluvia que, a su vez, sirva de protección para evitar la caída de animales y seres humanos, no hay impermeabilización de la fosa y existe vegetación en los alrededores. En a) las lamas secas son extraídas y dispuestas al lado sin impermeabilizar el piso, en b) las lamas provenientes de las rastras se movilizan libremente sobre la superficie descubierta de suelo, sin uso de tubería.

**Ilustración 3.24:** Pilas o fosas empleadas para la disposición de lamas luego del proceso de molienda y recuperación de oro con mercurio y sin mercurio.



En a) a un costado se observa lama seca que fue extraída de la pila contigua.

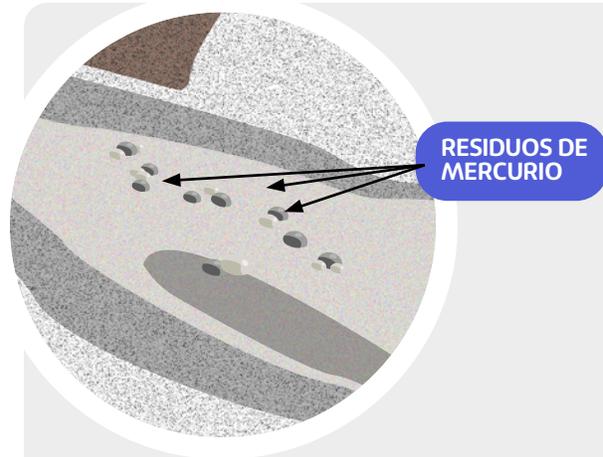


En b), de igual manera, se observa lama al fondo con vegetación circundante, además, ingreso de lama del proceso de beneficiado a la pila sin emplear tubería.



### a) Lamas con mercurio

Se conoce que el mercurio solamente captura entre un 45% y un 55% del contenido total de oro del volumen de mena procesada, así como otros metales como plata y cobre. Pero no solo un importante porcentaje de oro se va con la lama, sino que el mercurio también está presente. Se muestra, a continuación, en la Fotografía 3.25, una imagen ampliada de un cateo realizado a una porción de lama, se notan numerosas partículas como las que son señaladas con las flechas; resalta por un brillo diferente al sedimento que es de un gris opaco, estas corresponden con partículas o acumulaciones de mercurio.



**Fotografía 3.25:** Imagen ampliada de un cateo realizado a una porción de lama, se notan pequeñas porciones de mercurio disgregadas hacia la parte central con el sedimento.

### b) Lamas sin mercurio

Estos residuos tienen la ventaja de que no han sido mezclados con mercurio ni otro químico, por lo general, resultan del lavado previo cuando la mena es proveniente de mina y posee adherido sedimento arcilloso o barro. Estas lamas, por lo general, son direccionadas a las mismas pilas donde son depositadas las lamas que contienen mercurio, por lo que se termina por aumentar el volumen y la potencial contaminación.

Por lo general, el volumen de lama sin mercurio es sustancialmente inferior al contaminado, por lo que se recomienda como buena práctica, separar este material una vez realizado el lavado, previo a la molienda y mezcla con azogue. Siempre y cuando no se utilicen posteriormente para amalgamar, estas pueden ser dispuestas donde no sean afectadas por la erosión laminar producto de la escorrentía superficial.

### c) Comercialización de lamas

La práctica de comercialización de lamas es frecuente en algunas zonas mineras y se realiza con el fin de tener a disposición las pilas para el depósito de nuevas lamas, pero principalmente porque estas poseen un alto contenido de oro, por lo que revisten de importancia económica. Sin embargo, su comercialización no diferencia entre aquellas que fueron procesadas con mercurio, de las que no.

Si bien es cierto, el transporte de lamas contaminadas con mercurio representa un riesgo, su comercialización y transporte es más frecuente, ya que por medio de la cianuración puede recuperarse un importante porcentaje del contenido de oro. El proceso de cianuración se realiza sin efectuar ningún proceso de descontaminación previo, potenciando la generación de complejos tóxicos de cianuro y mercurio generalmente gaseosos.



## Mejoras aplicables

Es recomendable utilizar algún tipo de revestimiento en la fosa o pila que se utilice para depositar lamas; el depósito directo sin ningún aislante o material impermeable aumenta las posibilidades de que residuos de mercurio y otros compuestos (incluyendo drenaje ácido) se infiltren a niveles inferiores en el subsuelo, aumentando el potencial de contaminación si en el sitio hay un nivel de agua subterránea cercano a la superficie. Se enlistan algunas sugerencias en relación con el material impermeabilizante por emplear:

- Losa de concreto con malla electrosoldada en la base y block en paredes con columnas de armadura en las esquinas.
- Lona o geotextil impermeable, que no sean por pliegos o trozos y si son así, que estén debidamente unidos sin filtraciones o fugas.
- Pileta de fibra de vidrio u otro material impermeable. Similares a las que se utilizan para piscinas y bañeras.
- Opcional y con supervisión técnica se puede realizar en la fosa o pila una impermeabilización de arcilla debidamente compactada con una lona intermedia o plástico en el fondo, y en paredes lona, geotextil o block.

Claramente, al aplicar alguna de estas sugerencias, se debe tener cuidado al momento de remover el contenido de la pila para no afectar fondo ni paredes. De igual manera, se sugiere implementar cobertor doble propósito, para evitar el ingreso de agua durante lluvias intensas que potencien derrames y para evitar el ingreso de animales y caída de personas, evitando eventuales atrapamientos.

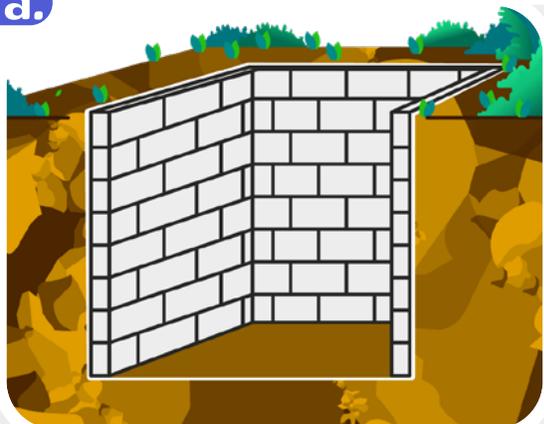
En la Ilustración 3.26, se incluye un esquema de lo que puede ser una pila o fosa de block en paredes y losa de concreto en la base. Al aplicar las otras sugerencias, cambiaría el material empleado, pudiendo ser lona o geotextil, o el recipiente artificial empleado en piscinas.

El uso de varias fosas o pilas en cascada o secuencia es recomendable, siempre y cuando se cuente con el área necesaria, se realice aplicando alguna de las sugerencias citadas y que la conexión entre estas sea por medio de tubería o losa impermeable. Labores de mantenimiento se deben realizar periódicamente, evitar el crecimiento de vegetación para reducir afectaciones por raíces, caída de ramas y materia orgánica. Se deben realizar canales perimetrales que eviten el ingreso de otras aguas ajenas al proceso.

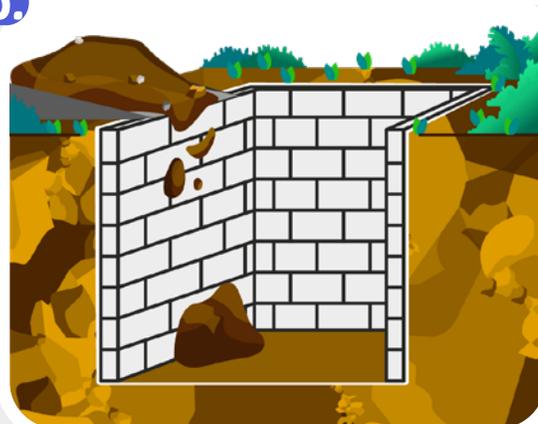


**Ilustración 3.26:** Esquema del diseño de una fosa o pila para depósito de lamas. Las dimensiones varían acorde al espacio que se tenga.

a.



b.



Por colmatación de una pila y la necesidad de espacio para recibir lama, se recomienda habilitar un espacio contiguo con piso de concreto o lona en la base y con leve pendiente hacia la misma fosa. Esto permite drenar (si contiene humedad) hacia la pila y no contaminar otras áreas, como se observa en la figura anterior, imagen derecha. Una vez drenada la lama y seca, se pueden emplear sacos para almacenar en un lugar seco y que no sea afectado por las lluvias y aparte sin mezclar con lamas que no fueron procesadas con mercurio ni otro químico. Ante esta situación y clara dificultad en el control de la venta de lamas que contienen mercurio, es fundamental que estas sean dispuestas en sitios secos evitando su erosión por aguas de escorrentía.

Lo ideal sería que cada minero disponga de su propia lama en su lugar de trabajo aplicando medidas de seguridad y de contención para que estas no sean movilizadas fuera del área destinada, sea producto de la erosión por lluvias, el viento, paso de maquinaria ni filtraciones en el piso donde se alberga. O, eventualmente, opten por su comercialización, siempre y cuando quien adquiera dicha lama asegure su descontaminación previa.





## 3. EXTRACCIÓN DE ORO EN LA MAPE

### 3.4. Manejo de productos químicos peligrosos

#### 3.4.1 Almacenamiento y manipulación del mercurio

El mercurio debe ser transportado, almacenado, manejado y dispuesto de acuerdo con lo establecido en la legislación vigente. Dentro de las leyes aplicables en el país para el manejo del mercurio, se encuentran: Ley General de Salud (5395), Reglamento para el manejo de productos peligrosos (Decreto Ejecutivo 28930-S), Reglamento Registro y Control Sustancias Tóxicas y Productos Tóxicos y Peligrosos (Decreto Ejecutivo 24099-S), y Reglamento para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos (Decreto Ejecutivo 24715-MOPT-MEIC-S).



#### Almacenamiento:

- No se debe almacenar mercurio dentro de viviendas, zonas de inundación o cerca de cuerpos de agua superficial o de fuentes de agua subterránea (pozos).
- El mercurio debe ser contenido en recipientes herméticamente cerrados, y debidamente etiquetados con su nombre químico, así como una indicación de su toxicidad. Además, debe mantenerse lejos de alimentos y bebidas.
- El lugar de almacenamiento de los recipientes con mercurio debe ser ventilado y mantenerse alejado de luz solar directa. Además, los contenedores que almacenan mercurio deben tener una bandeja o segundo envase que sea capaz de retener el producto en caso de que el primero se rompa. Además, el mercurio debe estar físicamente separado de sustancias inflamables, como combustibles y lubricantes.



## Residuos

- a)** Los residuos que contengan mercurio (lamas, residuos de retorta, etc.) deben ser almacenados de tal forma que no se genere la contaminación del subsuelo y aguas superficiales o subterráneas.
- b)** De ninguna manera, se deben botar restos de mercurio, lamas u otros materiales contaminados con mercurio a quebradas, lechos de ríos, humedales u otras áreas sensibles.



## Protección de suelos y aguas

Para evitar una contaminación del suelo y cuerpos de agua, se recomienda impermeabilizar el suelo del área donde se realizan las operaciones con mercurio, especialmente en el lugar de amalgamación y descarga de lamas. Esta impermeabilización se puede lograr usando una loza de concreto pulido o una geomembrana sintética de un material resistente como HDPE, LDPE, PVC o PP, con un espesor nominal mínimo de 1 mm y una resistencia y flexibilidad adecuada para esta aplicación.

El agua que tuvo contacto directo con el mercurio, de ser posible, debe ser reutilizada en el sistema, y en ninguna circunstancia esta debe ser descargada directamente en cuerpos de agua naturales o al suelo sin tratamiento.



## 4. ACCIONES PARA EVITAR LAS CUATRO PEORES PRÁCTICAS

Según lo establece el punto 1 (b) del Anexo C del Convenio de Minamata, las peores prácticas por eliminar en el proceso de extracción de oro artesanal son:

- i) La amalgamación del mineral en bruto.
- ii) La quema expuesta de la amalgama o amalgama procesada.
- iii) La quema de la amalgama en zona residenciales.
- iv) La lixiviación de cianuro en sedimentos, minerales en bruto o rocas a los que se ha agregado mercurio, sin eliminar primero el mercurio.

En la MAPE de Abangares, la totalidad de los mineros artesanales extraen oro con el uso de mercurio mediante la amalgamación del mineral en bruto, por lo que aplican la primera de las peores prácticas. De manera generalizada, todos los mineros artesanales en Abangares realizan la quema de la amalgama en retorta, ninguno de ellos realiza la quema de manera expuesta, por lo que se puede decir que en la MAPE no se presenta la segunda de las peores prácticas.

Durante los últimos años, se ha dado una movilización de los sitios de procesamiento mineral hacia las afueras de las zonas residenciales. Sin embargo, la quema de amalgama por lo general se continua realizando cerca de casas de habitación, y no necesariamente en los centros de procesamiento mineral.

En cuanto a la cuarta peor práctica, persiste la comercialización de las lamas para cianuración, sin un previo tratamiento de limpieza del mercurio en ellas, como lo exige el Convenio de Minamata.

A continuación, se indican una serie de acciones para evitar las cuatro peores prácticas establecidas en el Convenio Minamata:



Evitar la amalgamación de la mena en bruto, en primera instancia, concentrando la mena previo a 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.

Realizar la quema de la amalgama en un lugar adecuado dentro del área de procesamiento mineral, y en ninguna circunstancia realizar dichas labores en casas de habitación.



Remover el mercurio de las lamas antes de incorporarlas a un proceso de cianuración. Sin embargo, es importante indicar que actualmente no existen métodos estandarizados para este fin, y los que están disponibles requieren de más estudio y desarrollo.

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.



Proporcionar capacitaciones a los mineros artesanales sobre las técnicas de minería con cantidades reducidas de mercurio o sin mercurio.

Identificar los mecanismos técnicos y financieros que ayuden a los mineros con la transición de las peores prácticas a las prácticas de minería con cantidades reducidas de mercurio o sin mercurio.





## 5. PRÁCTICAS PARA LA DISMINUCIÓN O ELIMINACIÓN DEL USO DEL MERCURIO

Seguidamente, se realiza el planteamiento de prácticas que ayudan a reducir de manera paulatina el uso del mercurio en el proceso minero artesanal y, eventualmente, su eliminación por completo.

Los siguientes puntos citan de manera resumida sugerencias que permiten reducir la cantidad de mercurio empleada en la extracción de oro, así como optimizar tiempo y minimizar los desgastes de los equipos que se utilizan. Posteriormente, se describe de manera puntual tres alternativas que deben ser probadas y calibradas en campo con el tipo de mena existente en la zona donde se desea poner en práctica.

### Estudios técnicos y de laboratorio

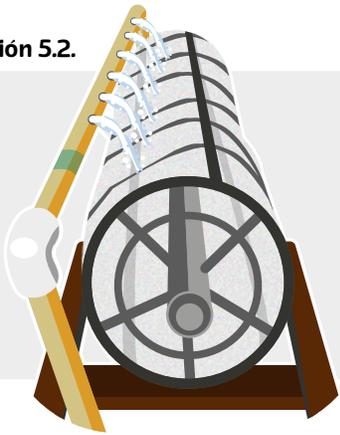
Con miras en un cambio en la actividad minera artesanal y pensando en la transición tecnológica para la recuperación del oro, es importante conocer el yacimiento mineral realizando estudios de campo y guiados por profesionales en la materia. Se busca optimizar el reconocimiento del yacimiento, su disposición en superficie y continuidad en profundidad, así como buscar mejorar en el proceso de extracción, considerando como principal elemento la mena o zona mineralizada.

Previo a la etapa de extracción de la mena, es recomendable realizar análisis de laboratorio de la veta o mineralización, tanto de tipo mineralógico (forma y disposición del oro) como químico para la concentración en la mena. Aportará las estimaciones iniciales y permitirá establecer la cantidad de oro por tonelada de mena procesada.



Ilustración 5.1.

Ilustración 5.2.



## Lavado

Lavar de manera previa el mineral antes de procesar para evitar el ingreso al sistema de lodos y sedimentos puede representar una reducción importante en gastos por insumos y, eventualmente, reducir la cantidad de mercurio usado. Es recomendable separar la lama que se genera de este proceso, en caso de que no sea gestionada con mercurio, para evitar la mezcla con lamas contaminadas con mercurio.

## Cribado o tamizado

Seleccionar el material de mena para el quebrado y molienda realizando un cribado o tamizado previo. Este proceso optimiza ambos procesos, genera ahorros por la reducción del desgaste de estos equipos, además, se obtiene un concentrado que puede ser procesado con otro método libre de mercurio, si se demuestra que es posible.

Separar en el proceso de molienda aquella mena que está constituida por veta únicamente, de aquella que posee una mezcla con material fino como limos y arcillas. El ahorro se tendrá en la reducción en el uso de los equipos de quebrado y molienda que representan ahorros en el consumo de electricidad, así como en la posibilidad de minimizar atrasos y reducción del tiempo en el proceso de quebrado principalmente. En esta actividad se adquiere un concentrado que puede ser tratado directamente con otros métodos libres de mercurio, siempre y cuando la mineralogía y la forma en que está contenido el oro lo permita.

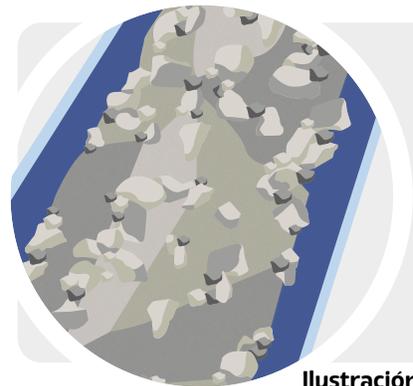


Ilustración 5.3.



Ilustración 5.4.

## Concentrar

Concentrar aquel material arcilloso y residual sin utilizar mercurio. Por su granulometría, podría permitir la aplicación de otro método de recuperación de oro como gravimetría o flotación. Obtener un concentrado moliendo únicamente mena debidamente lavada y cribada. Realizar ensayos a concentrados de mena empleando métodos gravimétricos.



## Amalgamar

Realizar ensayos en el proceso de amalgamación a concentrados, aplicando cantidades inferiores a las que son empleadas actualmente en la MAPE. Se busca reducir, hasta donde sea posible, el uso de mercurio, por lo que se sugiere aplicar cantidades menores y de manera controlada, a concentrados y no a la pulpa completa, como se realiza actualmente en las rastras.

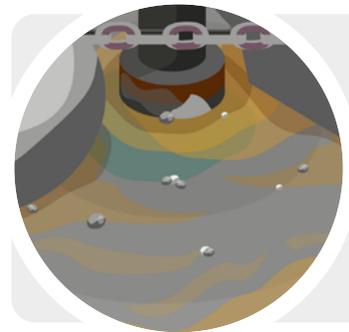


Ilustración 5.5.

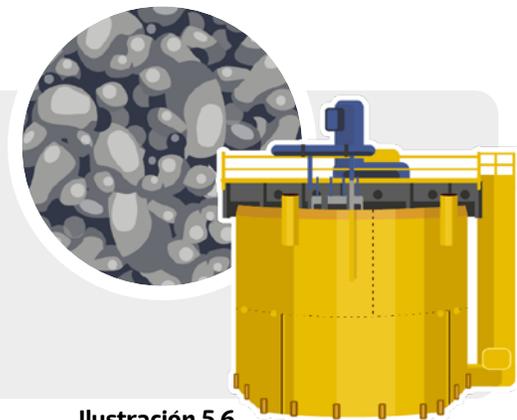


Ilustración 5.6.

## Recuperación de oro

La flotación constituye una de las metodologías más prácticas y con mejores resultados en la obtención del oro. Considerando la figura de la cooperativa de mineros, la implementación de esta tecnología podría ser factible para prescindir del mercurio por completo. Se deberán realizar las evaluaciones respectivas que aseguren su rentabilidad, así como su calibración para el tipo de mena por procesar.

Se sugiere, además, investigar y asesorarse en otros métodos y tecnologías que ya han sido probadas en otros países, que han utilizado otras sustancias químicas, por ejemplo, el cloruro (cloro), proceso denominado Reemplazo de Electrodeposición – Redox (EDRR).



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAP/UN Environment. 2019. Technical Background Report to the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway/UN Environment Programme, Chemical and Health Branch, Geneva, Switzerland. viii + 426 pp including E- Annexes.
- ANDRADE, S. 2008. Guía metodológica de seguridad para ventilación de minas. Departamento de Seguridad Minera, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Chile.
- ARTISANAL GOLD COUNCIL (AGC). 2022. Basic guidelines for interim storage, handing and transportation of mercury in Perú (Version 1.0). Funding from the United States Department of State.
- ARTISANAL GOLD COUNCIL (AGC). 2015. Developing baseline estimates of mercury use in artisanal and small-scale gold mining communities: A practical guide (Version 1.0), Artisanal Gold Council. Victoria, Canada.
- ARTISANAL GOLD COUNCIL (AGC). Sin fecha. Video: El camino dorado – Molienda. En: <http://www.digeca.go.cr/documentos/video-molienda-el-camino-dorado>.
- CENTRO NACIONAL DE PILOTAJE. 2022. Minería subterránea: Nuevo sistema de ventilación y extracción de gases tóxicos de galerías mineras. Desarrollo tecnológico chileno para la pequeña minería. En: <https://pilotaje.cl/mineria-subterranea-nuevo-sistema-de-ventilacion-y-extraccion-de-gases-toxicos-de-galerias-mina/>. Consulta 15 de junio de 2022.
- CNPMLTA. 2019. Guía para el manejo y almacenamiento de mercurio. Proyecto: Construcción de capacidad para la gestión del mercurio en minería artesanal y de pequeña escala en Colombia. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Medellín, Colombia.

- EPP. 2020. EPP para cabeza y rostro. Prevención y Protección durante la faena. Boletín empresarial, Perú.
- EPPERS, O. 2014. Buenas prácticas de gestión ambiental para la pequeña minería y minería artesanal que trabajan con mercurio. Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (ARMA). Perú.
- FULLMINERÍA. 2022. Detector de gases múltiples – MSA. En: <https://fullmineria.com/producto/detector-multigasaltair/>. Consulta 17 de junio de 2022.
- GAVILÁN, P.I. 2019. Estudio sobre la minería artesanal y en pequeña escala: desafíos del sector; el caso de las cooperativas mineras bolivianas. Tesis en Ingeniería Civil de Minas. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción. Bolivia.
- GLOBAL MERCURY PROJECT. 2006. Manual for training artisanal and small-scale gold miners. Project: Removal of Barriers to Introduction of Cleaner Artisanal Gold Mining and Extraction Technologies. Vienna, Austria.
- GOLD-ISMIA. 2021. Good mining practice handbook for small-scale primary gold mining sector. Budi Sulistijo. Planet Gold. Indonesia.
- INDUSTRIAL LA PAZ. 2022. Casa del minero JRA. Bolivia. Lámpara Wisdom KL 8. En: <https://industrialapaz.wordpress.com/lamparas/>. Consulta 17 de junio de 2022.
- LOAIZA, E., ZÁRATE, H. y GALLOSO, A. 2008. Mineralización y explotación minera artesanal en la Costa Sur Media del Perú. INGEMMET Serie E. Minería No. 4, 79p.
- MELLER, P y MELLER, A. 2021. La Empresa Nacional de Minería (ENAMI) de Chile: modelo y buenas prácticas para promover la sostenibilidad de la minería pequeña y artesanal en la región andina. CEPAL-ONU.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. 2015. Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. Decreto 1886. Bogotá, Colombia.
- MMSD. 2002. Abriendo Brecha: Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (IIED). Londres, Reino Unido.
- MORENO, A. y PALACIOS, T. 2017. Tratamiento de drenaje ácido de mina con el uso de zeolita natural a escala experimental. Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), Universidad Central del Ecuador.
- PODER EJECUTIVO No. 40790-S-MTSS. 2017. Reglamento general de seguridad en construcciones. Presidencia, Ministerio de Salud, Consejo de Salud Ocupacional y Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. San José, Costa Rica.
- ORTIZ, A.M. 2022. Buena práctica minera con carretillas. Revista Huila (12). Alianza por la Minería Responsable (ARM). Colombia. En: <https://www.responsiblemines.org/2018/08/el-mercado-de-joyeria-italiana-sin-temor-al-cambio/buena-practica-minera-con-caretilas-12-huila/>. Consulta 16 de junio de 2022.



- PNA. En Edición. Plan de Acción nacional para la extracción de oro artesanal y en pequeña escala en Costa Rica, de conformidad con el Convenio de Minamata sobre el Mercurio. San José, Costa Rica.
- PNUD. 2021. Mejores prácticas aplicables a la Minería de Oro Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE). Proyecto planet Gold Perú y Ministerio de Energía y Minas y Gobierno Regional de Puno. Perú.
- PUGA, J. 2012. Tratamiento de aguas en la industria minero-metalúrgica. Perú. Monografías. En: <https://www.monografias.com/trabajos91/tratamiento-aguas-industria-minero-metalurgica/tratamiento-aguas-industria-minero-metalurgica>. Consulta: 16 de junio de 2022.
- RUMBO MINERO. 2021. Día del Minero. Revista Rumbo Minero Internacional, América Mining. En: <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/feliz-dia-del-minero/attachment/dia-del-minero/>. Consulta 15 de junio de 2022.
- SAENZ, E. 2012. Mina subterránea en Dolores, México, con gran potencial de explotación. Revista Digital Minería Pan-Americana, sección noticias 13-11-2012. En: <https://www.mineria-pa.com/noticias/mina-subterranea-en-dolores-mexico-con-gran-potencial-de-explotacion/>. Consulta 16 de junio de 2022.
- SAFETYCULTURE. 2022. Equipo de protección personal (EPP). IAuditor. En: <https://safetyculture.com/es/temas/seguridad-sobre-el-equipo-de-proteccion-personal/>. Consulta 25 de mayo de 2022.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN). 2008. Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas. Departamento de Seguridad Minera. Chile.
- TELMER, K. and Veiga, M. 2008. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining and the knowledge gaps about them. In: Mason, R., Pirrone, N. (eds) Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere. Springer, Boston, MA. 131-172 pp.
- UN ENVIRONMENT. 2017. Global mercury supply, trade and demand. United Nations Environment Programme, Chemicals and Health Branch. Geneve, Switzerland.
- UNEP. 2021. Guidance document on the management of artisanal and small-scale gold mining tailings. Annex: Sound tailings management in artisanal and small-scale gold mining. Conference of the Parties to the Minamata Convention on Mercury Fourth meeting. Geneve, Switzerland.
- UPME. 2007. Producción más limpia en la minería del oro en Colombia: Mercurio, Cianuro y Otras Sustancias. Ministerio de Minas y Energía. Colombia.