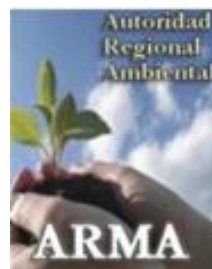




Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal que trabajan con Mercurio

Junio 2014



Preparado para:

Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (ARMA)

Elaboración del documento:

Dr. Oswald Eppers

Asesor Internacional de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ)
Programa ProAmbiente

Equipo de Revisión y Corrección:

**Dra. Gladys Márquez
Chaname**

Jefa del Área de Fiscalización,
ARMA

Ing. Percy Ponce Medina

Consultor del Ministerio de
Energía y Minas

**Ing. Jorge Antonio Delgado
Pacheco**

Especialista en Evaluación
Ambiental, ARMA

Ing. Caterine E. Cardich Salazar

Asesor técnico de la Agencia de la Cooperación
Alemana (GIZ), Programa ProAmbiente

Blgo. Rubén Hernán Apaza Toro

Especialista en Evaluación Ambiental, ARMA

Contenido

Lista de Abreviaturas.....	iv
1. Introducción.....	1
2. Alcance del Trabajo	2
3. Estándares de calidad ambiental de Mercurio	3
4. Impacto Ambiental y de Salud por Mercurio en la PM y MA	5
4.1 Toxicidad del Mercurio.....	5
4.2 Consecuencias de una Exposición al Mercurio	5
5. Procesos de mayor emisión de mercurio en la PM y MA	7
5.1 Procesos de amalgamación.....	8
5.1.1 Amalgamación en "circuito abierto"	8
5.1.2 Amalgamación de concentrados	8
5.1.3 Amalgamación en circuito cerrado	9
5.1.4 Amalgamación en planchas amalgamadoras.....	9
5.2 Procesos aplicados para la separación de amalgama y minerales acompañantes	9
5.3 Procesos aplicados a la separación de mercurio libre y amalgama	10
5.4 Procesos aplicados a la separación de oro y mercurio.....	10
5.4.1 Separación térmica	10
5.4.2 Separación química.....	11
6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental en el Uso y Manejo de Mercurio.....	12
6.1 Almacenamiento de Mercurio	12
6.2 Proceso de Amalgamación y Separación Térmica	12
6.3 Residuos.....	13
6.4 Protección de Suelos y Aguas.....	13
7. Bibliografía	14
ANEXO 1 - Caracterización de materiales contaminados con mercurio	16
1. Clasificación como residuo normal o residuo peligroso.....	16
2. Manejo de residuos contaminados con mercurio	17
2.1 Recuperación de "Mercurio Cansado"	17
2.2 Separación de Mercurio en Relaves por Concentración.....	18
2.3 Estabilización de Residuos.....	18
2.4 Encapsulamiento de residuos contaminados.....	18

Lista de Abreviaturas

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales)
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ARMA	Autoridad Regional Ambiental de Arequipa
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment (Consejo Ministerial de Medio Ambiente de Canadá)
DESA	Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
DFG	Deutsche Forschungsgesellschaft (Asociación Alemana de Investigación Científica)
ECA	Estándar de Control Ambiental
EMGA	Estándar mínimo de gestión ambiental
EPP	Equipo de Protección Personal
FDA	Federal Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos)
FDEP	Florida Department of Environmental Protection (Ministerio de Protección Ambiental de Florida)
GAMA	Proyecto “Gestión Ambiental en la Minería Artesanal”
GECO	Gestión de Conocimientos para la Minería Artesanal
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana)
GREM	Gerencia Regional de Energía y Minas
HDPE	Polietileno de alta densidad
LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
LMP	Límite Máximo Permisible
MAK	Concentración máxima permisible en el lugar de trabajo (Alemania)
MEDMIN	Proyecto “Manejo Ambiental en la pequeña minería”
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio de Ambiente
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera de los EEUU)
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de Salud
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
PVC	Polivinil cloruro
PM y MA	Pequeña Minería y Minería Artesanal
PM	Material particulado
PP	Polipropileno
SEDAPAR	Servicio de agua potable y alcantarillado
STS	Sólidos Totales Suspendidos
TCLP	Toxicity characteristic leaching procedure (ensayo de lixiviación)
TLV	Threshold Limit Value (Límite máximo admisible)
TWA	Time weighted average (promedio sobre el tiempo)
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EEUU
UNEP	United Nations Environment Program (Programa ambiental de las Naciones Unidas)

1. Introducción

El mercurio es un elemento químico que causa preocupación a nivel mundial debido a su capacidad para recorrer largas distancias a través de la atmósfera, su persistencia y su capacidad para acumularse en los ecosistemas y no por último sus importantes efectos negativos sobre la salud humana (UNEP 2013).

A pesar de que aún existen varios procesos industriales donde se utiliza mercurio, la pequeña minería y minería artesanal (PM y MA) del oro es la mayor fuente de liberación intencional de este metal en el mundo. Se estima que en la Región de Arequipa existen alrededor de 60 mil mineros informales (Wotruba, H. et al. 1998), de los cuales muchos utilizan mercurio para la extracción de oro. No existen estadísticas confiables de la cantidad del mercurio usado y liberado en el Perú ni, específicamente, en la región de Arequipa, pero se conoce que son muchas toneladas cada año.

Mediante la amalgamación del oro, los trabajadores mineros se encuentran sometidos a una fuerte exposición a este metal tóxico, liberándolo al aire, suelo y aguas superficiales. La resultante contaminación de los peces por ejemplo ya ha llegado en varios lugares del mundo a niveles muy por encima de los reconocidos como seguros (BRI/IPEN 2013, Ashe, K 2012, Canel, R et al. 2006, Farias, LA et al. 2012), poniendo en riesgo particularmente a niños y mujeres en edad de procrear.

Como respuesta a ésta amenaza global, en enero del año 2012, el Gobierno de Perú, junto a más de 130 países, firmó en Ginebra el “Convenio de Minamata” de Las Naciones Unidas, un convenio jurídicamente vinculante sobre la eliminación paulatina del uso industrial de mercurio y sus compuestos. Además de establecer otras medidas relacionadas con las emisiones de mercurio, el texto del tratado ordena que hasta el año 2020 se cese la fabricación, importación y exportación de productos y equipos con mercurio, incluyendo dispositivos médicos como termómetros y tensiómetros (esfigmomanómetros). La meta es el cierre gradual de todas las minas de mercurio y la prohibición del libre comercio de este elemento y sus compuestos hasta 2020 (UNEP 2013).

En cuanto a las grandes cantidades de mercurio utilizadas por la PM y MA, los gobiernos de países donde existe ésta problemática (incluyendo al Perú), acordaron implementar estrategias para la reducción del uso de mercurio dentro un periodo de tres años (hasta enero 2015). De acuerdo al Convenio, estos países deberán definir e implementar planes para la reducción o eliminación de mercurio en las operaciones mineras, incluyendo:

- prestar apoyo (educación, capacitación, atención de la salud) a los mineros, sus familias y comunidades en el desarrollo de alternativas al mercurio y en relación con los impactos negativos del mercurio;
- subsidiar la adquisición de retortas u otro equipo diseñados para reducir la liberación de mercurio;
- implementar una estrategia de ordenamiento territorial que contribuya a la reglamentación, vigilancia y fiscalización.

2. Alcance del Trabajo

Para la evaluación de los impactos ambientales y la definición de medidas de prevención y mitigación en la minería utilizando mercurio, existen varias guías y manuales del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y de otras instituciones nacionales e internacionales, incluyendo:

- Mejía G.S., Rodríguez Villanueva C. y Mucho Mamani R. (2005), *Guía para Uso y Manejo de Mercurio, Ministro de Energía y Minas.*
- Ministro de Energía y Minas (2005), Orientaciones para hacer Minería, Tomo 5, Pequeña Minería y Minería Artesanal, Uso adecuado del mercurio.
- Tovar Jumpa O., Sánchez WE, Alvarez C.G. (2005), Guías Mineras, Implementación y Uso de Retorta en el Proceso de Refogado, Ministerio de Energía y Minas.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2008), Technical Guidelines on Mercury Management in Artisanal and Small-Scale Gold Mining.
- Rivas, MS, Martínez C. (2003), *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería*, SERNAGEOMIN, Chile,
http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo_mercurio.pdf
- Cueva E, Hruschka F., Paredes Z., Salinas C., Sarango M., Tamay J. (1999), *Manual de Operación Ambiental para la Pequeña Minería*,
http://www.hruschka.com/pmsc/manual/moa_0.html
- Manejo Ambiental en la pequeña minería, Proyecto MEDMIN, Bolivia 1998,
<http://www.gama-peru.org/libromedmin/>

El presente documento con Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (EMGA) no pretende reemplazar estas guías y manuales, más bien está usando la información disponible en estos documentos y complementándola con la propia experiencia profesional e información actualizada de las áreas de fiscalización y evaluación de la ARMA.

3. Estándares de calidad ambiental de Mercurio

En el Perú, hasta la fecha solamente existen Límites Máximos Permisibles (LMPs) y Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para mercurio en efluentes, suelos, aguas superficiales y agua potable. Aún no se ha definido criterios de calidad de aire o contaminación de sedimentos, ni existen lineamientos para una clasificación de un residuo contaminado con mercurio para definir su disposición final (por ejemplo para la evaluación del riesgo de desechos mineros).

Según la Política Nacional del Ambiente (Ley N° 28611) (disposiciones transitorias, complementarias y finales): “En tanto no se establezcan en el país, Estándares de Calidad Ambiental, Límites Máximos Permisibles y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental, son de uso referencial los establecidos por instituciones de Derecho Internacional Público, como los de la Organización Mundial de la Salud (OMS)”.

Para facilitar la definición de LMPs y ECAs para la región de Arequipa, en la Tabla 3.1, se presentan LMPs y valores de referencia internacionalmente reconocidos para la evaluación de impactos causados por mercurio en aire, sedimentos, residuos o alimentos (pescado/mariscos).

Tabla 3.1: Límites máximos permisibles y valores de referencia internacionalmente reconocidos para mercurio

Valor	Organismo o País	Fuente	Comentario
Efluentes			
0.002 mg/L	Perú	D.S. 010-2010-MINAM	LMP como Hg, Valor en cualquier momento
Aguas			
Categoría 1: Poblacional y Recreacional			
0.001 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA como Hg, aguas superficiales destinadas para recreación, contacto primario, riego de vegetales, bebida de animales,
0.002 mg/L			ECA como Hg, Agua superficial tipo A2 y A3 (aguas que pueden ser potabilizadas previo tratamiento)
Categoría 2: Actividades Marino Costeras			
0.00094 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA para la extracción y cultivo de Moluscos Bivalvos (C1), como Hg total
0.0001 mg/L			ECA para la extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (menos moluscos bivalvos) (C2) y otras actividades (C3), como Hg total
Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales			
0.001 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA como Hg, valor protector para riego de vegetales y bebida de animales
Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático			
0.0001 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA como Hg, conservación del ambiente acuático en lagunas y lagos, ríos y ecosistemas marinos.
0.001 mg/L			ECA como Hg, conservación de ecosistemas estuarios costeros
Agua potable			
0.001 mg/L	Perú	Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA	LMP como Hg
Suelos			
6.6 mg/kg	Perú	D.S. 002-2013 MINAM	Suelos en áreas agrícolas, residenciales, parques (Hg total)
24 mg/kg			Suelos en áreas comerciales,

			industriales, extractivos (Hg total)
Sedimentos (de ríos y lagos)			
0.18 mg/kg	EEUU (US EPA, 2013)	NOAA, FDEP	Concentración segura para fauna acuática en agua dulce
0.486 mg/kg	Canadá (CCME, 2002)	CCME	ECA en sedimentos en cuerpos de agua dulce; basado en el Nivel Probable de Efecto (PEL)
0.70 mg/kg			ECA para sedimentos en el mar
Residuos			
Ver Anexo 1			
Pescado/Mariscos			
1 mg/kg	OMS	OMS (2012)	como Hg total
0.11-0.22 mg/kg	EEUU	US EPA	como metil mercurio; solamente una comida por semana recomendada
0.22-0.95 mg/kg			como metil mercurio; solamente una comida por mes recomendada
>0.95 mg/kg			como metil mercurio; consumo no recomendado

4. Impacto Ambiental y de Salud por Mercurio en la PM y MA

4.1 Toxicidad del Mercurio

En la comunidad científica existen pruebas más que suficientes de la alta toxicidad del mercurio y sus compuestos, los cuales son reconocidos como un potente neurotoxina que además del sistema nervioso daña riñones, el sistema cardiovascular, respiratorio, gastrointestinal, hematológico, inmunológico y también el sistema reproductivo (UNEP/OMS 2008). Si ingresa al organismo puede permanecer por mucho tiempo en el cerebro y riñones y, en casos extremos, puede causar la muerte. Un efecto muchas veces subestimado es el peligro inminente para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida (OMS 2012).

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), el mercurio es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de la salud pública (OMS 2012).

Los efectos de mercurio en el ambiente y la salud humana no solamente dependen de la concentración de mercurio, sino de la especiación de este metal, es decir, de la forma química en que se encuentra. Además del mercurio elemental, este metal existe en sales inorgánicas como los cloruros, sulfatos o sulfuros, como también en compuestos organometálicos como el metilmercurio, el dimetilmercurio o el etilmercurio. La toxicidad del mercurio crece drásticamente si el mercurio elemental se convierte en mercurio inorgánico y más aún en mercurio organometálico. Así, las especies de metilmercurio son de unos 10 a 100 veces más tóxicas que los compuestos de mercurio inorgánico. Una vez liberado el mercurio al ambiente, ciertas bacterias pueden transformarlo en dimetilmercurio que luego se acumula en peces y mariscos. Existe también un proceso de bioamplificación donde por ejemplo los grandes peces depredadores tienen más probabilidades de presentar niveles elevados de mercurio por haber devorado a muchos peces pequeños que a su vez lo habrán ingerido al alimentarse de plancton (UNEP 2008, OMS 2012).

El mercurio tiene las siguientes vías de entrada a un organismo:

1. Respiratoria: El vapor de mercurio penetra fácilmente la membrana del alvéolo pulmonar y pasa a la sangre, absorbiéndose un 80-90% de la cantidad inhalada. Esta vía de entrada es la más importante en el campo de la salud ocupacional.
2. Digestiva: el mercurio puede entrar al estómago en forma de polvo contaminado como también en forma de alimentos y agua contaminados. Aunque la mayor parte del mercurio ingerido es expulsado con las heces (90%) y por los riñones (10%), una pequeña fracción es absorbida por el cuerpo y está metabolizada formando compuestos muy tóxicos. La ingestión de sales de mercurio y, en particular, de sus compuestos orgánicos, es más peligroso debido a la superior solubilidad de estas sustancias. La molécula más peligrosa es el dimetilmercurio que se encuentra frecuentemente en peces y mariscos, pescados en acuíferos con aguas y sedimentos impactados con mercurio.
3. Cutánea: La piel sana es considerada una buena barrera para el mercurio metálico, salvo existen pequeñas lesiones que permiten la penetración del mercurio. También las mucosas en boca, nariz, ojos, etc. son más susceptibles para una adsorción de mercurio.

4.2 Consecuencias de una Exposición al Mercurio

El minero que trabaja con mercurio tiene contacto permanente con mercurio, sea la inhalación de vapores o una exposición diaria a mercurio elemental y, por lo tanto, sufre una intoxicación crónica por inhalación de vapores y de polvo contaminado.

Entre los factores que determinan eventuales efectos sobre la salud, así como su gravedad, están los siguientes (OMS 2012):

- la forma de mercurio de que se trate;
- la dosis;
- la edad o el estadio de desarrollo de la persona expuesta (la etapa fetal es la más vulnerable);
- la duración de la exposición;
- la vía de exposición (inhalación, ingestión o contacto cutáneo).

Una intoxicación crónica con mercurio (también llamada Hidrargirismo o Mercurialismo) se manifiesta con diferentes síntomas de envenenamiento. Los vapores de mercurio metálico o el mercurio orgánico afectan diferentes áreas del cerebro y las funciones que se asocian con estas áreas, lo que se manifiesta en una variedad de síntomas. Aparte del gran síntoma del Hidrargirismo que es el temblor, existen otros síntomas típicos:

- dolor de pecho,
- dificultad para respirar, tos crónica
- irritación de los ojos y la piel,
- disminución de agudeza visual, degradación del cristalino
- inflamación de la boca y encías,
- pérdida del apetito,
- náusea, vómitos y gastroenteritis.
- pérdida de la memoria,
- irritabilidad, insomnio
- depresión, melancolía, fatiga.

Trabajadores expuestos durante varios años a niveles atmosféricos a mercurio por encima de unos $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pueden desarrollar signos subclínicos leves de toxicidad para el sistema nervioso central. Se han descrito efectos en los riñones que van de la proteinuria a la insuficiencia renal. Un estudio realizado por el proyecto MEDMIN demostró que un gran número de mineros de la MP y MA está afectado por agudos y crónicos envenenamientos por mercurio (Wotruba, H et al. 1998). Frecuentemente la exposición a mercurio no se limita a los mismos mineros, sino que se extiende a sus familiares. Esto se debe a que en muchos de los casos los mineros artesanales queman la amalgama sobre la estufa de su cocina o en el patio de sus casas, donde tienen la mayor privacidad.

Información más detallada se encuentra en la literatura, por ejemplo resumido por la OMS (OMS 2013).

A continuación, se presentará una breve descripción de los procesos con liberación de mercurio, basándose en los trabajos realizados por el proyecto MEDIMIN (Wotruba, H et al. 1998).

5. Procesos de mayor emisión de mercurio en la PM y MA

Independientemente de las diferencias en el proceso aplicado por distintos costumbres y hábitos, las mayores emisiones de mercurio se están produciendo durante las siguientes operaciones (MEDMIN 1998, Rivas, MS, Martínez, C 2003):

1. El proceso de amalgamación a flujo abierto, realizado en canaletas, molinos/quimbaletes, planchas amalgamadoras, etc., que constituye la mayor fuente de emisiones de vapor de mercurio elemental como de la contaminación de suelos y aguas por mercurio derramado y no recuperable. Después de la amalgamación, parte del mercurio se queda en los relaves (cola) del proceso y contamina suelos, aire y aguas.
2. Contaminación de agua durante amalgamación. Muchas veces no considerado también es la leve solubilidad de mercurio elemental en agua¹ que convierte cualquier agua que tenía contacto con este metal líquido en un efluente con concentraciones de mercurio por encima de los LMPs. La contaminación de agua por metales pesados y arsénico también depende mucho del pH. Si el pH está en un rango normal entre 6 y 9, la mayor parte de la contaminación hídrica es causada por la presencia de partículas suspendidas con concentraciones de metales pesados. Valores de pH por debajo de 6 a menudo son encontrados en áreas con una mineralización sulfurosa. Estas aguas ácidas de minas causan la disolución sustancias tóxicas frecuentemente por encima de los LMPs.
3. Cuando se realiza el plateado o limpieza de planchas amalgamadoras, el mercurio emite grandes cantidades de vapores al aire, causando frecuentemente una intoxicación aguda del trabajador.
4. Durante la "quema" de amalgamas al aire libre (i.e. sin uso de una retorta) se evapora todo el mercurio de la aleación, contaminando la atmósfera. La precipitación de esta forma de mercurio puede contaminar también las aguas y suelos, dando paso a su vez a la formación de compuestos organometálicos muy tóxicos por metabolización en bacterias y plantas.
5. La destrucción de la amalgama con ácidos, por ejemplo ácido nítrico, también genera grandes problemas ambientales por la formación de nitrato de mercurio que es altamente tóxico y peligroso por su alta solubilidad en agua y su potencial de contaminar suelos y aguas.
6. Durante la comercialización de amalgamas, particularmente en los establecimientos de compra de oro (emisiones de mercurio durante refinación del oro).
7. En el transporte y almacenamiento (derrames sistemáticos de mercurio).
8. Desechado de "mercurio cansado". El mercurio por el uso frecuente o intenso (por ejemplo, mercurio varias veces exprimido) se contamina y pierde su poder de amalgamación. Los mineros desechan este "mercurio cansado". De esta manera se convierte en un residuo que puede contaminar suelos y aguas si se maneja de manera inadecuada.
9. Relaves con restos de mercurio frecuentemente son transportados a centros de acopio y procesamiento para la cianuración. Con este método se pretende recuperar los restos de oro que fueron extraídos con el mercurio. Este procedimiento tiene un alto riesgo debido a la potencial formación de compuestos muy tóxicos entre el cianuro y el mercurio (Miller et al. 1996, Coles y Cochrain 2006).

¹ Mercurio elemental tiene una solubilidad de aproximadamente 56 µg/L en agua a temperature ambiente (Toxicological Effects of Methylmercury (2000) / Chemistry, Exposure, Toxicokinetics, and Toxicodynamics, The National Academies | 500 Fifth St. N.W. | Washington, D.C. 20001, National Academy of Sciences, página 32).

La amalgamación en "circuito cerrado" tiene un impacto inferior al proceso "circuito abierto" por una menor evaporación de mercurio a la atmósfera. Sin embargo, los relaves de la amalgamación de concentrados todavía contienen mercurio, en cantidades variables (dependiendo del tipo de carga y proceso de amalgamación utilizado). La amalgamación, por ejemplo, en un barril amalgamador se hace en un "ambiente cerrado" y la amalgamación manual en un "ambiente semi-cerrado". Se advierte que un proceso no puede considerarse completamente como "circuito cerrado" si sus colas contaminadas se vacían al medio ambiente o si hay fugas de mercurio p.ej. por evaporación durante el proceso.

La incorrecta utilización del mercurio se puede dar en todas las fases de la preparación de la amalgama, como en la del quemado o "refogado" de la misma, por lo que se requiere tomar medidas preventivas para su uso y de ser factible utilizar otras técnicas.

Existe una gran variedad de procesos de amalgamación y no es la intención de este documento reemplazar las monografías especializadas en esta materia (ver Sección 2). En lo siguiente, se presentará una breve descripción de los principales procesos de amalgamación con el fin de mejor entender los potenciales impactos ambientales y de salud.

5.1 Procesos de amalgamación

5.1.1 Amalgamación en "circuito abierto"

Durante este proceso, toda la carga (material aurífero) se pone en contacto con mercurio en un flujo continuo de pulpa². Por éste método, generalmente no es posible recuperar todo el mercurio en forma de amalgama, ya que una parte se escapa por los relaves en forma de gotas micro-dispersas de mercurio o en forma de partículas finas o floculas de amalgama, formando un residuo potencialmente peligroso.

El problema se base en moler el material en Quimbaletes u otros molinos (incluyendo el Molino Chileno) juntamente con el mercurio que resulta en la formación de "mercurio molido" o "harina de mercurio", material fino que solamente parcialmente puede ser recuperado por métodos gravimétricos o con planchas amalgamadoras. El resultado frecuentemente es una concentración elevada de mercurio en los relaves que está causando problemas ambientales si se procesa con la cianuración o si está desechado de forma incontrolada.

5.1.2 Amalgamación de concentrados

Durante este proceso, solamente la fracción del material aurífero concentrada en un proceso de concentración (típicamente por gravimetría) está sometida al proceso de amalgamación en un ambiente parcial- o totalmente cerrado.

Este proceso tiene dos importantes ventajas: en primer lugar solamente se requiere una pequeña fracción del mercurio necesario para amalgamar la totalidad del mineral sin concentración. Además, el mercurio puede ser recuperado casi en su totalidad, en contraste a la amalgamación directa en el molino, donde se pierde bastante mercurio por la formación de mercurio micro-disperso.

² En la minería aluvial, muchas veces una parte de la carga bruta (el estéril grueso) se elimina vía clasificación, antes de entrar al proceso de concentración.

Debido a que ninguna concentración es completa y los relaves aún pueden contener importantes cantidades de oro, se puede realizar un segundo procesamiento de los relaves usando el método de cianuración.

5.1.3 Amalgamación en circuito cerrado

La amalgamación de un concentrado en circuito cerrado es la mejor opción ya que tiene varias ventajas: La amalgamación se realiza prácticamente sin la emisión de vapores (por ejemplo, en un cilindro amalgamador), el minero no tiene directo contacto con el mercurio con el peligro de intoxicarse y además, la amalgama y mercurio libre pueden ser recuperados mucho mejor sin la formación de harina de mercurio y la formación de relaves altamente contaminados.

La amalgamación en circuito cerrado generalmente se realiza en cilindros de amalgamación metálicos rotatorios.

5.1.4 Amalgamación en planchas amalgamadoras

Las planchas amalgamadoras se utilizan para la recuperación de oro fino (molino), por lo que son comúnmente usadas para la minería aluvial.

El riesgo para la salud de los trabajadores que manejan planchas amalgamadoras es elevado, ya que el mercurio se evapora más rápido por la gran superficie. La evaporación durante la aplicación de mercurio en las planchas es tan grande, que el peligro de una intoxicación aguda de los trabajadores es significativo.

Debido a que las pérdidas de amalgama, oro y mercurio utilizando planchas amalgamadoras en circuito abierto son altas, éste proceso no se considera recomendable y debería ser evitado.

5.2 Procesos aplicados para la separación de amalgama y minerales acompañantes

Sólo en las placas amalgamadoras se obtiene una amalgama bastante libre de minerales acompañantes. En todos los otros procesos anteriormente descritos, se genera una mezcla de amalgama, mercurio líquido y algunos minerales pesados acompañantes. La amalgama, como "masa pesada", se separa de los otros minerales por métodos gravimétricos. Métodos frecuentemente utilizados para la separación de amalgama son:

- canaletas
- bateas manuales
- bateas mecánicas
- elutriadores (separadores hidráulicos)
- planchas amalgamadoras.
- centrífugas

Las pérdidas de amalgama y mercurio libre en los relaves con estos dispositivos o equipos pueden ser elevadas. En primer lugar se pierde una gran parte de la harina de mercurio formada dentro del molino, que está distribuido en forma microscópica dentro del material y pegada a la superficie de las partículas del mineral. Es por esta razón que es importante efectuar la amalgamación en una manera que reduzca al máximo la producción de harina de mercurio y floculas de amalgama.

5.3 Procesos aplicados a la separación de mercurio libre y amalgama

Dependiendo de la relación mercurio/oro utilizado en el proceso de amalgamación, la amalgama sale "seca" con alto contenido de oro, o "líquida" con poco contenido de oro. Para reducir la cantidad de mercurio molido, es preferible conseguir una amalgama seca. Generalmente en el siguiente paso, el mercurio que no está aleado (mercurio libre) debe ser separado de la amalgama, y en el último paso, el oro del mercurio.

La separación mercurio libre - amalgama, generalmente se lleva a cabo por exprimido o estrujado manual, utilizando una tela fina o cuero, donde se confina la mezcla mercurio - amalgama. Luego de exprimir, la amalgama queda sobre la tela como una masa consistente, mientras que el mercurio líquido libre pasa a través de la tela y se recibe sobre una batea u otro recipiente apropiado. Sin embargo, en estos métodos manuales de separación, el operador se pone en contacto directo con el mercurio y corre peligro de intoxicación. Así también, por la baja presión aplicada al exprimir, esta operación rinde una pobre eficiencia de separación. Por esto, se recomienda usar guantes de goma - o mejor - utilizar métodos mecánicos (prensas, centrífugas, etc.).

5.4 Procesos aplicados a la separación de oro y mercurio

La separación de la amalgama en sus componentes, oro y mercurio, se puede realizar por vía térmica o química. Por lo general, en la pequeña minería se prefiere la separación térmica.

5.4.1 Separación térmica

El mercurio se volatiliza a una temperatura de alrededor de 360 °C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura suficientemente alta para evaporar el mercurio. El oro permanece en el recipiente calentado como producto final.

Desafortunadamente, esta separación térmica es muchas veces practicada de una manera muy directa y elemental, a "crisol abierto" o "quema" abierta, liberando el vapor de mercurio altamente tóxico directamente a la atmósfera. El resultado es una contaminación directa de la atmósfera y poniendo en peligro la salud del trabajador y de la población que habita en el entorno.

Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores a gas o sopletes de diferente índole. La mayor parte del mercurio vaporizado se asienta en los alrededores del lugar de la quema (normalmente el campamento minero), contaminando suelos, alimentos, y seres vivos del lugar. Con el tiempo y las lluvias, el mercurio sedimentado en la capa superficial de la tierra, es transportado a los ríos próximos. En muchos casos, la amalgama se quema dentro de las viviendas o en la cocina del minero.

Existen diversas formas consideradas algo "avanzadas" para realizar esta quema en ambientes semi-cerrados, por ejemplo:

- Dispositivo con un recipiente y un plato;
- sistema cubierto: dependiendo de la región, a veces con una hoja de bananero, papas o un zapallo, colocados sobre la amalgama en la bandeja de quemado, estas ayudan a recuperar parte del vapor de mercurio, por condensación sobre su superficie;

Desafortunadamente la separación oro-mercurio, muy excepcionalmente se realiza en circuito cerrado utilizando una retorta. Sin embargo, existen algunos centros mineros donde utilizan retortas de fabricación industrial o casera.

5.4.2 Separación química

Aparte de la separación térmica existe la posibilidad de realizar una separación química, por ejemplo disolviendo el mercurio de la amalgama selectivamente utilizando ácido nítrico. Si bien la eficiencia de separación de los dos metales es buena porque oro no es soluble en ácido nítrico, los impactos ambientales por la emisión de vapores y soluciones residuales pueden ser considerables por la formación de nitrato de mercurio, una sal que es muy tóxica por su alta solubilidad. Más aún, los operadores del sistema se exponen peligrosamente a la fuerte emisión de gases nitrosos durante el proceso que son tóxicos.

6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental en el Uso y Manejo de Mercurio

Para la reducción de la contaminación ambiental y reducción del peligro para la población y los mineros, debe implementarse procedimientos para un manejo adecuado de mercurio. El mercurio debe ser transportado, almacenado, manejado y dispuesto de acuerdo a reglas mínimas establecidas en la legislación vigente.

6.1 Almacenamiento de Mercurio

- a) El almacenamiento debe estar ubicado en una zona que reduzca el riesgo por posibles emisiones, fugas e incendios. No se permite almacenar mercurio dentro de viviendas, zonas de inundación o en una distancia menor a 100 metros de un cuerpo de agua superficial o fuente de agua potable (incluyendo pozos de agua potable).
- b) Mercurio debe ser contenido en recipientes estables y herméticos, alejados de alimentos y bebidas y debidamente etiquetado con su nombre químico y una indicación de su toxicidad.
- c) El lugar de almacenamiento debe ser bien ventilado para evitar la acumulación de vapores de mercurio. Para minimizar la evaporación del mercurio, se recomienda cubrir el mercurio dentro del recipiente con agua.
- d) Para el almacenamiento de mercurio, nunca se deben usarse pisos de madera, no deben existir fisuras, pues en ellas puede quedar mercurio después de un derrame. Los contenedores deben tener un recipiente bajo ellos que sea capaz de retener el producto en caso de que el primero se rompa.
- e) El mercurio puede ser almacenado dentro del almacén de sustancias peligrosas (ver Documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*). El mercurio debe ser físicamente separado de sustancias peligrosas como combustibles y lubricantes. La separación debe ser realizada con bermas, muros de contención o paredes entre los contenedores que son capaces de evitar el daño de los envases en caso de un derrame o incendio.

6.2 Proceso de Amalgamación y Separación Térmica

- a) Queda terminantemente prohibido el uso de mercurio para la amalgamación, el tratamiento térmico de la amalgama para la separación de oro u otros procesos relacionados en una distancia menor a 100 metros a centros poblados (incluyendo viviendas de mineros), cuerpos de agua superficiales como ríos, arroyos o bofedales, pozos de agua potable, áreas agrícolas, áreas protegidas u otras áreas con receptores sensibles. Se recomienda realizar estas actividades en zonas de exclusión como parques industriales.
- b) Queda terminantemente prohibido utilizar la quema directa de amalgama a cielo abierto por el gran impacto negativo de esta práctica para el medio ambiente y la salud humana. Debe usarse una retorta o equipo equivalente para recuperar el mercurio.
- c) No se debería realizar la amalgamación en quimbaletes, debido al riesgo de la formación de mercurio micro-disperso (“harina de mercurio”) en los relaves que no puede ser recuperado y generalmente convierte la descarga en un residuo peligroso. La amalgamación sólo debería ser realizada en cilindros amalgamadores, canaletas u otras instalaciones que tienen “trampas” para recuperar mercurio en las canaletas de descarga y donde se evita la formación de mercurio micro-disperso que no puede ser recuperado.
- d) Cada minero debe considerar prácticas para reducir al mínimo el uso de mercurio, particularmente la aplicación de una concentración gravimétrica del mineral que puede

reducir drásticamente la cantidad de mercurio requerida para la realización de la amalgamación del concentrado³.

- e) Se debe manejar el mercurio sólo en áreas bien ventiladas o en aire libre para evitar la intoxicación aguda de los trabajadores presentes. Cada persona trabajando con mercurio debe tener Equipo de Protección Personal (EPP) disponible y debe ser capacitado en su uso. De mayor importancia en el proceso de amalgamación y separación del oro por tratamiento térmico de la amalgama es la protección contra los vapores de mercurio (ver por ej. “Guía para Uso y Manejo de Mercurio”, Ministro de Energía y Minas, 2005).

6.3 Residuos

- a) Residuos conteniendo mercurio (relaves, residuos de retorta, mercurio degastado o “cansado”, etc.) deben ser almacenados de tal forma que una contaminación del subsuelo y aguas superficiales y/o subterráneas está impedida. De ninguna manera se permite botar restos de mercurio (“mercurio cansado”), relaves u otros materiales contaminados con mercurio a quebradas, lechos de ríos, bofedales u otras áreas sensibles. Para la caracterización de la peligrosidad de residuos conteniendo mercurio ver Anexo 1.

6.4 Protección de Suelos y Aguas

- b) Para evitar una contaminación del suelo y cuerpos de agua, se recomienda impermeabilizar el suelo del área donde se realizan las operaciones con mercurio, particularmente en el lugar de amalgamación y descarga de relaves. Esta impermeabilización se puede lograr usando una loza de concreto pulido o una geomembrana sintética de un material resistente como HDPE, LLDPE, PVC o PP con un espesor nominal mínimo de 1 mm y una resistencia y flexibilidad adecuada para esta aplicación.
- c) El agua que tenía contacto directo con el mercurio generalmente contiene mercurio disuelto y deberá ser reusado si es posible. Queda prohibido su descarga directa en cuerpos de agua naturales o al suelo sin tratamiento. Más detalles sobre el manejo de aguas residuales industriales de minería se encuentran en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

³ Prácticas recomendables se encuentran por ejemplo en la página web del proyecto GECO (<http://geco.mineroartesanal.com>). La información presentada en la página web de GECO resume partes de los resultados de una investigación de campo con el objetivo de mejorar el proceso del quimbaletéo. <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php?page=Mejoras+del+proceso+de+amalgamacion+en+el+quimbalete&bl=y>

7. Bibliografía

- [1] ACGIH (1998), American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. ACGIH, Cincinnati, USA (1998).
- [2] Ashe, K. (2012). *Elevated Mercury Concentrations in Humans of Madre de Dios, Peru*, PLoS ONE, 7/3.
- [3] BRI/IPEN (2013). *Global Mercury Hotspots*;
<http://www.briloon.org/uploads/documents/hgcenter/gmh/gmhFullReport.pdf>
- [4] Canuel, R., Boucher de Grosbois, S., Atikessé, L., Lucotte, M., Arp, P., Ritchie, C., Mergler, C., Chan, H.M., Amyot, M. y Anderson, R. (2006). *New Evidence on Variations of Human Body Burden of Methylmercury from Fish Consumption*, Environ. Health Perspect., 114/2, pp. 302–306.
- [5] CCME (2002), Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables*. Publicado en: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg;
<http://st-ts.ccme.ca/>
- [6] Coles, C.A. y Cochrane, K., (2006). *Mercury cyanide contamination of groundwater from gold mining and prospects for removal*. Sea to Sky Geotechnique, pp. 1118-1122.
- [7] DECCW (2009). Department of Environment, Climate Change and Water, NSW, *Waste Classification Guidelines, Part 1: Classifying Waste*;
<http://www.environment.nsw.gov.au/resources/waste/091216classifywaste.pdf>
- [8] DFG (1998), Deutsche Forschungsgesellschaft. MAK- und BAT-Werte-Liste, Wiley-VCH Weinheim.
- [9] DIGESA (2006). Dirección General de Salud Ambiental, *Manual de Difusión Técnica N° 01, Gestión de los Residuos Peligrosos en el Perú*.
- [10] Farias, L.A., Fávoro, D.I.T., Pessoa, A., Aguiar, J.P.L., Yuyama, L.K.O. (2012). *Mercury and methylmercury concentration assessment in children's hair from Manaus, Amazonas State, Brazil*, Acta Amazon., 42(2), pp. 279 - 286.
- [11] MEDMIN (1998). *Manejo Ambiental en la pequeña minería*, Bolivia; <http://www.gama-peru.org/libromedmin/>
- [12] MEM, *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros*;
<http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50>
- [13] Miller, J. D., Alfaro E., Misra, M. and Lorengo, J. (1996). *Mercury Control in the Cyanidation of Gold Ores*, Pollution Prevention for Process Engineering: Proceedings of Technical Solutions for Pollution Prevention, Engineering Foundation, New York, NY, USA;
- [14] MINEM, *Guía Ambiental de Manejo y Transporte de Concentrados Minerales*;
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/guias/guaminera-xviii.pdf>
- [15] OMS (2012). Organización Mundial de Salud, *El mercurio y la salud*, Nota descriptiva N°361;
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- [16] ONU (2011), Naciones Unidas, *Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías peligrosas*, Volumen 1;
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/Rev17_Volume1.pdf
- [17] OSHA (2006), Occupational Safety and Health Administration, Occupational Safety and Health Standards 29 CFR 1910.1000; https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9993
- [18] Quispe, S., Luis, J. (2013). *85% de los informales labora en áreas con dueños*, La República, Región Sur, Arequipa.
- [19] Rivas, M.S., Martínez, C. (2003). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería*, SERNAGEOMIN, Chile.
- [20] Saucedo, U.R. (2003). *Recomendaciones técnicas general es para el diseño y construcción de celdas de confinamiento y rellenos sanitarios*, GIZ México, Proyecto Desarrollo Institucional y Gestión de Sitios Contaminados, PN: 99.21.34.3;
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/GTZ/L-Recomendaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20dise%C3%B1o%20de%20confinamientos%20de%20RP.pdf>
- [21] UNEP (2013). *Background to the fifth session of the Intergovernmental Negotiating Committee to prepare a global legally binding instrument on mercury (INC5)*;
<http://unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC5/tabid/3471/Default.aspx>
- [22] UNEP (2008). United Nations Environment Programme (UNEP) y Organización Mundial de Salud (OMS); *Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure*. UNEP Chemicals Branch and WHO Department of Food Safety, Zoonoses and Foodborne Diseases. Geneva, Switzerland, 176 pp.
- [23] UNEP (2013). United Nations Environment Program, *Global Mercury Assessment*;
http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=6282
- [24] US EPA (2007). Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, *Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste and Water.*, Washington, DC.
- [25] US EPA (2013), *Freshwater Sediment Screening Benchmarks*;
<http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/eco/btag/sbv/fwsed/screenbench.htm>
- [26] US EPA (2013), Regional Screening Level (RSL) Soil to Groundwater Supporting Table (TR=1E-6, HQ=1); <http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/>
- [27] Wotruba, H, Hentschel T, Hruschka, F y Priester M (1998), *Manejo Ambiental en la pequeña minería*, Proyecto MEDMIN, Bolivia 1998; <http://www.gama-peru.org/libromedmin/>

ANEXO 1 - Caracterización de Materiales Contaminados con Mercurio

1. Clasificación como residuo normal o residuo peligroso

Un material contaminado con mercurio u otros contaminantes por encima de niveles críticos debe ser manejado de tal forma que evite una contaminación del suelo, aguas y aire. A pesar de que los relaves con contenidos de amalgama a menudo son transportados a centros de acopio y procesamiento para la recuperación de restos de oro por cianuración, el material debe ser almacenado y transportado de acuerdo a los lineamientos establecidos por ley (ver *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*).

La caracterización de un residuo conteniendo mercurio se realiza utilizando la concentración promedio de mercurio en el residuo y la concentración de mercurio en el lixiviado, de acuerdo a los límites establecidos en la Tabla A.1. La clasificación de residuos contaminados con otras sustancias peligrosas como el cianuro o metales pesados está presentada en el Anexo 3 de *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

Tabla A.1 Clasificación de un residuo conteniendo mercurio

Concentración promedio de mercurio en el residuo [mg/kg]	Concentración de mercurio en el lixiviado TCLP [mg/L]	Clasificación del residuo y requerimientos para la disposición final
< 4	No requerido	Residuo no peligroso
4 – <50	< 0.2	Residuo no peligroso
4 – <50	> 0.2	Residuo peligroso que requiere disposición en relleno especial
50 – 200	< 0.8	Residuo peligroso que requiere disposición en relleno especial
50 – 200	> 0.8	Residuo muy peligroso que requiere disposición en relleno especial, luego de una estabilización
>200	No requerido	Residuo muy peligroso que requiere disposición en relleno especial, luego de una estabilización

Si la concentración de mercurio en un residuo está por debajo de 6.6 mg/kg, el material está considerado no contaminado y no se requiere de un ensayo de lixiviación (TCLP)⁴ para determinar la biodisponibilidad del mercurio.

Si la concentración promedio del mercurio en el material excede los 50 mg/kg o en el lixiviado los 0.2 mg/L, el residuo debe estar dispuesto en un sitio seguro con control de lixiviados de acuerdo a requerimientos legalmente establecidos (ver Sección 6 del Documento BPGA para la PM y MA).

En el caso de que la concentración promedio del mercurio excede los 200 mg/kg y/o en el lixiviado los 0.8 mg/L, el residuo es tan peligroso que no puede ser depositado en un relleno de seguridad sin estabilización previa (US EPA 2007). En lugar de una estabilización para su disposición final, existe también la opción de una separación parcial de mercurio por medio de una concentración gravimétrica para reducir de esta manera la peligrosidad del material. Algunas plantas de

⁴ Ensayo de lixiviación por sus siglas en inglés (“Toxicity characteristic leaching procedure”)

cianuración también han instalado trampas de mercurio para recuperar una parte de este metal de los relaves recibidos por empresas de la PM y MA.

Debido a la alta toxicidad de mercurio y de los compuestos que potencialmente se forman entre el mercurio y cianuro, no se recomienda llevar a cabo una lixiviación con cianuro de un relave caracterizado como residuo peligroso, sin previo tratamiento para reducir la concentración de mercurio a niveles por debajo de unos 50 mg/kg⁵.

Dependiendo de la geología y composición de los minerales, los relaves también pueden contener otros metales en concentraciones peligrosas para el medio ambiente y/o la salud de los mineros y poblaciones adyacentes. Si existe una sospecha de que los relaves pueden tener otros contaminantes aparte del mercurio, la autoridad ambiental utilizará criterios adaptados de normas internacionales para evaluar el riesgo ecológico y de la salud (NSW EPA 2009).

2. Manejo de residuos contaminados con mercurio

Cada usuario de mercurio en el proceso de la amalgamación que genera residuos contaminados es responsable de su manejo y disposición adecuada, evitando riesgos no aceptables para la salud humana y el medio ambiente. El seguimiento de la gestión de residuos deberá registrarse mensualmente utilizando la Ficha presentada en el Anexo 2 del Documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*. El cual deberá consolidarse en el informe anual de Seguimiento y Control Ambiental presentado ante la autoridad competente.

Existen diferentes opciones para el tratamiento de relaves u otros residuos con concentraciones de mercurio tan altas que deben ser caracterizados como residuos peligrosos o muy peligrosos que requirieren ser estabilizados antes de su disposición final.

El almacenamiento temporal de residuos contaminados con mercurio u otros contaminantes debe estar protegido del viento para minimizar la formación de polvo fugitivo y la contaminación gradual de las áreas adyacentes. Asimismo, debe evitarse la infiltración de aguas pluviales para evitar la contaminación de suelos o aguas superficiales o subterráneas con lixiviados tóxicos.

2.1 Recuperación de “Mercurio Cansado”

Mercurio que ya no es apto para su uso en la amalgamación puede ser recuperado por destilación usando una retorta o por electrólisis. La destilación elimina las impurezas en el mercurio y se puede recuperar una gran parte del mercurio cansado para su reuso en la amalgamación.

Una alternativa a la recuperación es la estabilización del mercurio mediante amalgamación antes de su disposición en un relleno sanitario. Una técnica económica y segura es la amalgamación usando polvo de zinc hasta la solidificación. La amalgama es suficientemente estable para evitar la liberación del mercurio al medio ambiente en un relleno sanitario. En ninguna circunstancia debe ser dispuesto sin estabilización previa.

⁵ Una discusión más detallada de este aspecto se encuentra en los “Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas utilizando Cianuro en la PM y MA”.

2.2 Separación de Mercurio en Relaves por Concentración

Una opción para el tratamiento de relaves con amalgama y mercurio residual que muchas veces es aplicada en la PM y MA es la venta de estos a Centros de Acopio y Procesamiento para la recuperación del oro residual por cianuración. Mediante métodos adecuados de concentración gravimétrica se puede recuperar una parte de la amalgama y mercurio libre y de esta manera reducir la concentración de mercurio en el material contaminado. Con la venta del material, el minero transmite la responsabilidad de un manejo adecuado de los relaves a las empresas que los procesan. Sin embargo, cada operador tiene la responsabilidad de asegurar que el Centro de Acopio y Concentración a quien vende su relave potencialmente contaminado con mercurio tenga un permiso de funcionamiento y una licencia ambiental.

En ninguna circunstancia se debería utilizar el método de cianuración para la extracción de oro con relaves conteniendo concentraciones de mercurio elevadas. Los relaves de la cianuración con concentraciones de mercurio por encima de 50 mg/kg deben ser tratados como residuos peligrosos y se debe considerar medidas de prevención y mitigación más estrictas para su disposición final. Además, existe el peligro de la formación de sustancias muy tóxicas entre el mercurio y cianuro en este proceso que causa un gran peligro para la salud de los trabajadores y el medio ambiente⁶.

2.3 Estabilización de Residuos

Materiales caracterizados como muy peligroso por su alto contenido de mercurio (ver Tabla A.1) que no pueden ser procesados para reducir el mercurio u otros contaminantes, deben ser estabilizados antes de la disposición en un relleno de seguridad. La estabilización es necesaria para minimizar el impacto ambiental, aún después de la vida útil de una primera barrera que puede ser una geomembrana. El fin de la estabilización es disminuir la movilidad y por lo tanto la biodisponibilidad y consecuentemente la toxicidad del contaminante. Por razones económicas, los tratamientos de estabilización con sulfhidratos, sulfuros o polisulfuros, usando por ejemplo trituradoras o mezcladoras, son los más difundidos internacionalmente (US EPA 2007).

Otros métodos como el lavado de suelos contaminados con ácidos para la disolución y recuperación del mercurio o la termodesorción son alternativas aplicadas con menos frecuencia por sus costos elevados.

2.4 Encapsulamiento de residuos contaminados

La opción de un encapsulamiento de residuos bajo tierra es una opción que siempre debería ser considerada debido a la ausencia de rellenos de seguridad y de otros métodos de tratamiento de residuos contaminados en el departamento de Arequipa. Para el encapsulamiento de residuos conteniendo mercurio u otras contaminantes peligrosos se encuentran definidos en el Sección 6.3 del documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

⁶ Una discusión más detallada de este aspecto se encuentra en los "Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas utilizando Cianuro en la PM y MA".