

USO DE MERCURIO EN LA RINCONADA - PUNO

Mario Cuentas Alvarado, Jhon Velarde Ochoa

Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno

, Tel: 51-51-366193, e-mail : mcuentas@unap.edu.pe, jhonco21@hotmail.com .

RESUMEN

La Rinconada es un pueblo minero que se encuentra a los pies de imponentes nevados de la Cordillera Oriental de los Andes del departamento de Puno, a 5 400 m.s.n.m. en el límite territorial con Bolivia; en la actualidad viven aproximadamente 50,000 personas durante el año, en un área de 10 Ha.; En ella se realizan actividades mineras como la explotación y el procesamiento de mineral aurífero, obteniendo como producto final el oro. En el proceso de recuperación de oro mediante la amalgamación, se utiliza con gran intensidad dos equipos, uno de ellos rudimentario, el "quimbalete" y otro el molino. La técnica de amalgamación se utiliza con profusión, debido a su sencillez, razonable eficacia y por la poca inversión de capital.

El mercurio es utilizado ampliamente en la recuperación del oro, muchas veces sin las precauciones necesarias, causando gran efecto contaminante en la atmósfera, aguas, suelos, y en los propios trabajadores y sus familias que lo manipulan. La utilización inadecuada del mercurio en el tratamiento, conduce a la producción de altas pérdidas tanto en forma de mercurio elemental durante el proceso de amalgamación, así como en forma de gas (vapor de Hg) y compuestos inorgánicos durante la separación oro – mercurio, (refogado).

El objetivo del presente estudio fue determinar las pérdidas de mercurio en las etapas de amalgamación y refogado. Para ello, se realizó un balance de masa de mercurio en 5 molinos y 6 "quimbaletes", evaluándose 6 muestras en cada equipo. Los resultados nos indican que las pérdidas de mercurio (vertidos al medio ambiente) en los molinos oscilan entre 6 y 9 g de mercurio para recuperar 1 g de oro; y en el caso de los "quimbaletes" oscila entre 5 y 17 g de mercurio para recuperar 1 g de oro.

Palabras clave: Mercurio, amalgamación, oro, quimbalete, molino, La Rinconada.

MERCURY USE IN LA RINCONADA - PUNO

Abstract

The Rinconada is a mining town that lies at the foot of the imposing snow-capped mountains of the Eastern Cordillera of the Andes of the department of Puno, at 5,400 m.s. in the territorial limit with Bolivia; 50,000 people during the year, in an area of 10 Ha .; It carries out activities such as the exploitation and processing of the gold ore, obtaining gold as the final product. In the gold recovery process through amalgamation, two equipment is used with great intensity, one of them rudimentary, the "quimbalete" and the other the mill. The technique of amalgamation is used with profusion, due to its simplicity, with maximum efficiency and for the little investment of capital.

Mercury is used in the recovery of gold, often without precautions, causing great polluting effect on the atmosphere, water, soil, and on the workers themselves and the families they handle. The inadequate use of mercury in the treatment, the conduction of the production of the high losses, the form of the mercury, the process of the amalgamation, the vapor of Hg and the inorganic compounds during the separation gold - mercury, (refogado).

The objective of the present study was to determine the mercury losses in the amalgamation and reimbursement stages. To do this, perform a mass balance of mercury in 5 mills and 6 "quimbaletes", evaluating 6 samples in each equipment. The results indicate that the mercury losses in the mills oscillate between 6 and 9 g of mercury to recover 1 g of gold; and in the case of "quimbaletes" it ranges between 5 and 17 g of mercury to recover 1 g of gold.

Keywords: Mercury, amalgamation, gold, quimbalete, mill, La Rinconada.

INTRODUCCIÓN

Minería Aurífera y la Rinconada

La minería artesanal y la pequeña minería del oro se caracteriza por la posibilidad de explotar yacimientos pequeños, realizar prospección exitosa sin grandes costos, hallazgo de yacimientos en áreas remotas, creación de puestos de trabajo con empleo de mano de obra poco cualificado, tecnología incipiente, etc; Pero, también por los graves riesgos ambientales,



Fig. 1 Ubicación de La Rinconada

La Amalgamación

La amalgamación consiste en poner en contacto el metal con mercurio líquido para formar una amalgama, es decir una aleación de mercurio con oro o plata, dando lugar a una partícula revestida de mercurio que tiene propiedades semejantes a la de este último. Estas partículas amalgamadas se adhieren unas a otras, de modo similar al de las gotas de mercurio puro, para formar una mayor denominada "amalgama".

El mercurio tiene la capacidad de formar amalgama con la mayoría de los metales, excepto el hierro y el platino. El oro, en particular, puede combinar con el mercurio formando una gran variedad de componentes desde $AuHg_2$ hasta Au_8Hg . Las principales amalgamas son: $AuHg_2$, Au_2Hg y Au_3Hg .

Para que el oro se amalgame tiene que estar en contacto con el mercurio, por lo que el oro incluido en otras sustancias (como por ejemplo sulfuros y cuarzo) no puede ser extraído hasta que se realice una trituration y molienda que libere las partículas de oro y permita su contacto con el mercurio.

emisiones y daños en el suelo, el agua (subterránea y superficial), el aire, la flora y fauna y los ecosistemas.

En la Región de Puno, en la zona minera de La Rinconada, 50,000 habitantes viven todo el año en condiciones extremas, dedicados a actividades de minería artesanal y pequeña minería; distribuidos en los poblados de la Rinconada, Ritty cucho y Lunar de Oro, siendo la más poblada La Rinconada.

El yacimiento aurífero está ubicado en la parte Occidental de la Cordillera Oriental, en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina del departamento de Puno. Entre 4,800 a 5,800 m.s.n.m.

El mineral proviene de numerosas vetas ínter estratificadas (mantos) de cuarzo aurífero dentro de la secuencia estratificada de las pizarras, se observa también vetillas de cuarzo (filones) atravesando la formación de pizarras y cuarcitas, donde el oro se encuentra al estado nativo, mayormente en forma macroscópica, a veces en forma diseminada dentro de la roca encajonante (pizarra y cuarcita), y también se puede encontrar asociado a la pirita y pirrotita. [1]

El oro se presenta en la naturaleza en cuatro formas: a) oro libre; b) oro con superficie limpia, fácilmente amalgamable; c) oro con superficie sucia, amalgamable previa limpieza de la superficie, ya sea por lavado con reactivos apropiados o simplemente por restregado en medio acuoso; y d) oro en solución sólida: oro en ganga sílicea (amalgamable sin dificultad después de su fácil liberación por trituración), oro en solución sólida (no amalgamable por tratarse de sulfuros auríferos) y oro combinado (no amalgamable por encontrarse el oro como telurio, por ejemplo La silvanita. $Te_2(AuAg)$, se somete a una tostación, antes de proceder a la amalgamación) [2].

Los factores negativos que influyen en la amalgamación son muchos. Los resultados obtenidos en la amalgamación son insatisfactorios cuando intervienen en el proceso factores negativos de diferente índole que se especifican seguidamente: a) falta de contacto adecuado entre el oro y el mercurio, b) presencia de oro en condiciones desfavorables para la amalgamación, c) oro demasiado fino de comportamiento coloidal o cuando se presenta en laminillas muy delgadas que sobrenadan sin ponerse en contacto con el mercurio, d) cuando el oro se encuentra

como teluro, e) oro enclavado en sulfuros; ej. Pirita aurífera, f) la superficie del oro esta cubierta por una película de materias extrañas, g) el mercurio es impuro, h) mercurio con apariencia de harina (floured mercury), i) pulpa contaminada con grasa, aceite talco, azufre, etc. [3]

La técnica de amalgamación se utiliza con profusión en la minería del oro, debido a la sencillez de esta técnica, razonable eficacia y por la poca inversión de capital.

Antecedentes de la Emisión del Mercurio en el Mundo

La problemática de la pérdida del mercurio durante el proceso de recuperación del oro, ha sido ampliamente estudiado: [4] Van Straaten (2000) indica que en Tanzania por 1 g de oro producido 1.2 – 1.5 g de mercurio son emitidos al medioambiente.

[5] Pantoja (2001) indica, que en la minería del sur de Colombia, se emiten entre 3 Kg a 10 Kg de mercurio por un kilogramo de oro producido. Como valor medio se puede tomar 5 Kg. De mercurio por 1Kg de oro obtenido. En las minas primarias de Brasil y Bolivia que utilizan mercurio directamente en los molinos, para realizar molienda y amalgamaciones simultáneas pierden entre 5 Kg a 10 Kg de mercurio (en casos extremos hasta 25 Kg) para recuperar 1 Kg de oro. La perdidas promedio que ocasionan los mineros informales de Brasil o “Garimpeiros” se han estimado en 2 Kg. Hg/Kg. de oro obtenido.

[6] Bermeo (2001) indica que en Ecuador se utiliza entre 1.5 y 2 kg de mercurio para la producción de 1 kg de oro.

[7] Wotruba (2002) indica que los valores típicos promedios para emisiones en procesos de concentración en circuitos abiertos es de 1 a 30 kg de mercurio por 1 kg de oro recuperado.

[8] Veiga (2004) indica que en China las perdidas son de 40 partes de mercurio por 1 parte de oro producido, en Bolivia la relación Hg: Au es 5, en Ghana la relación Hg: Au es 4, en Indonesia es de 2.5.

[9] El proyecto GAMA (2000) considera que por cada gramo de oro producido se queman dos gramos de mercurio, estimando que en las zonas de Puno (la Rinconada) y el Sur medio (Ica – Arequipa – Ayacucho), se vierten al medio ambiente 105 tn/ anuales de mercurio, correspondiendo a 85 tn/ anuales de mercurio líquido los vertidos en los relaves y a 20

tn/ anuales de mercurio gaseoso los emitidos durante el refogado.

AMALGAMACIÓN EN LA RINCONADA

El proceso de recuperación de oro mediante la amalgamación se realiza utilizando principalmente dos equipos: uno de ellos rudimentario, que es el quimbaleta (molino amalgamador de piedra) y el molino de bolas. En el año 2002 la cantidad de molinos existentes en La Rinconada era de 38 y de quimbaletes eran 269; lo que nos demuestra la gran intensidad de uso de estos dos equipos.

El mineral producto del minado del yacimiento aurífero es transportado desde los frentes de explotación hasta la zona de bodegas donde se procede al “charpeo”, que viene a ser la trituración de los trozos mas grandes de mineral con combos de 4 lb, escogiéndose el oro visible o “charpas”, el cual es sometido a un proceso de limpieza eliminando el cuarzo obteniéndose de este modo un primer producto para comercializar denominado “charpa de roca”; El mineral ya triturado y seleccionado, por lo general se muele y amalgama en quimbaletes o molinos. El mercurio que no está aleado (mercurio libre) es separado de la amalgama mediante filtración en forma manual. El mercurio evapora a una temperatura de alrededor de 360°C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura suficientemente más alta para evaporar mercurio (“refogado”). El oro permanece en el recipiente como producto final. Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores de gas o sopletes de diferente índole. El producto final es vendido a comerciantes de la localidad. Los relaves del proceso anterior son acumulados en las canchas de relaves de las plantas de amalgamación, para su posterior venta a compradores de Juliaca, Nazca y Chala.

Unidades de Análisis: En el estudio se utilizaron 5 molinos y 6 quimbaletes de la zona de La Rinconada. En cada unidad se realizo 6 ensayos (3 en diciembre de 2004 y 3 en mayo de 2005).

Amalgamación en molinos

Las especificaciones técnicas de los molinos fueron: capacidad de 100 kg, radio del tambor 60 cm, longitud del tambor de 70 a 80 cm y potencia de motor de 8 HP, la mayoría de estos molinos han sido fabricados en la ciudad de Juliaca sin ningún control de calidad.

Antes de iniciarse la molienda se peso la cantidad de mineral con una balanza mecánica. Transcurrida 1 hora y 45 minutos se detuvo la

molienda durante 1 a 2 minutos adicionándose mercurio, para cuyo pesaje se utilizo una balanza electrónica. Cumplido las 3 horas se detuvo la molienda y se procedió a descargar el molino, recuperándose el mercurio libre y la amalgama que por su alto peso especifico se habían depositado en el fondo del mismo.

La mezcla de Hg y amalgama fue pesada y separada mediante exprimido o estrujado manual,

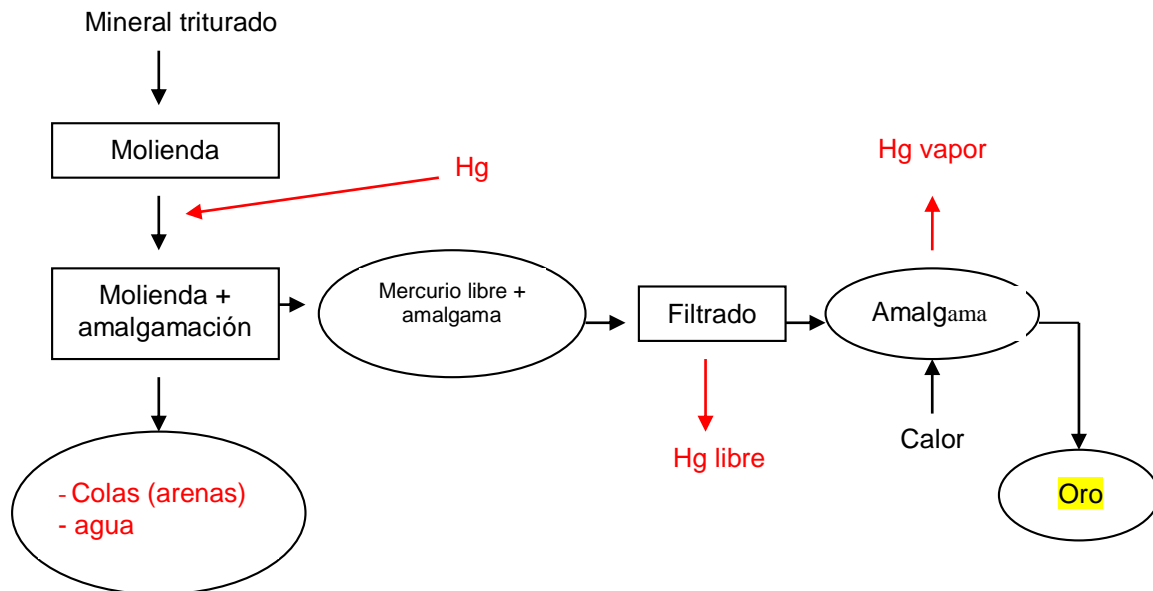


Fig.2. Proceso metalúrgico de obtención de oro en molino

Amalgamación en quimbaletes

El Quimbalete es de piedra dura, generalmente cuarcita, esta constituido por dos elementos: la “hembra” que es la base fija y el “macho” que es el elemento superior y móvil. Su capacidad de molienda es de 15 kg aproximadamente.

En el proceso de molienda en quimbaletes el tiempo no es fijo como en el caso del molino, este depende de la cantidad de mineral a moler y del movimiento de la roca superior del quimbalete (macho).

La adición del mercurio se realiza al inicio de la molienda, pesándose el mercurio con una balanza

utilizando una tela fina donde se confina la mezcla mercurio-amalgama luego de exprimir, la amalgama queda sobre la tela como una masa consistente, mientras que el mercurio libre pasa a través de la tela y se recibe sobre un recipiente apropiado, pesándose ambos productos.

Finalmente se procedió a “refogar” la amalgama, pesándose el oro obtenido.

electrónica y tomando el tiempo con un cronometro.

Cuando se termino la molienda, se procedió a separar el “macho” de la base para poder recoger el mercurio y la amalgama con ayuda de una cucharilla y una pequeña taza, el cual fue pesado.

Posteriormente mediante filtración manual se separo el mercurio de la amalgama, pesándose ambos productos.

Una vez obtenido la amalgama se procede al “refogado”, para así separar el mercurio del oro mediante la volatilización del mercurio. Finalmente se peso el oro.

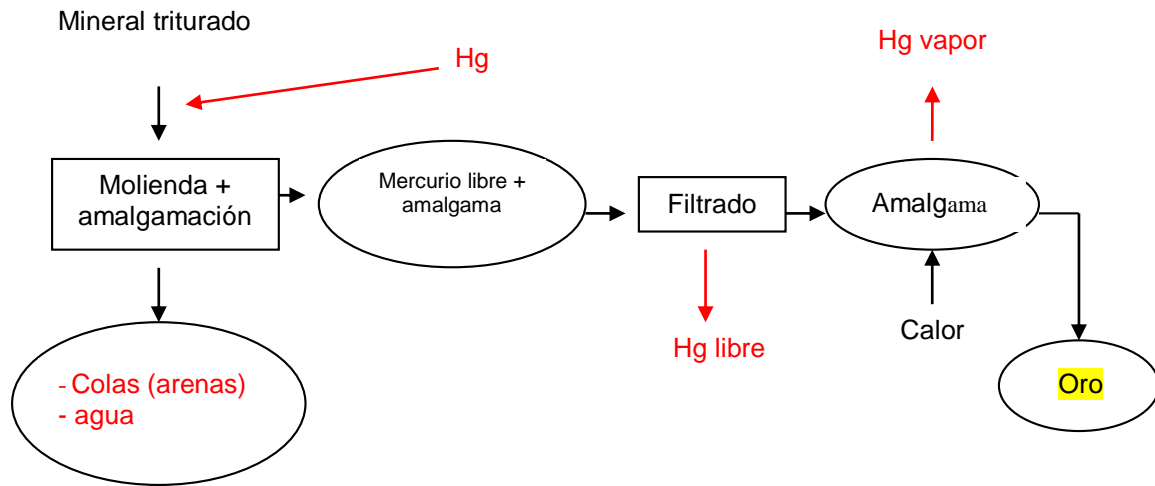


Fig.3. Proceso metalúrgico de obtención de oro en quimbaleta

RESULTADOS

Balance de masa en molinos

La cantidad de mineral que ingreso al molino fue 61.155 kg, utilizándose para la molienda y amalgamación 4.013 gr de mercurio. Luego de la filtración manual la amalgama peso 17.257 gr. La amalgama es calentada hasta evaporar el mercurio, quedando el oro libre con un peso de 7.852 gr.

El mercurio recuperado luego del proceso de molienda y amalgamación peso 3.965 kg (98.8%), vertiéndose 38.71 gr (0.96%) al relave y emitiéndose 9.41 gr (0.23%) a la atmósfera.

Del mercurio vertido al medioambiente, el 21% es emitido a la atmosfera en forma de vapor de mercurio y 79% vertido al relave.

El balance de masa muestra que la relación entre el mercurio vertido al medioambiente y el oro recuperado estuvo en el rango de 6.418 ± 1.465 .

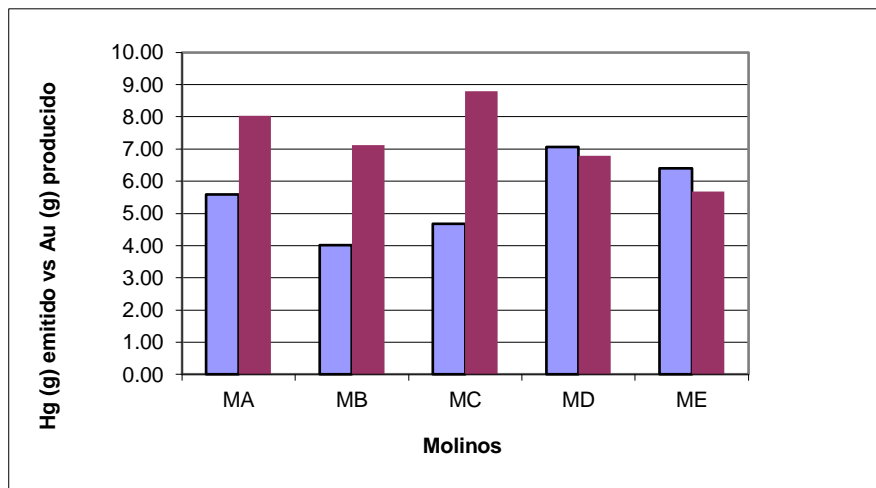


Fig.4 Relación entre la emisión de mercurio y el oro producido en molienda y amalgamación con molinos

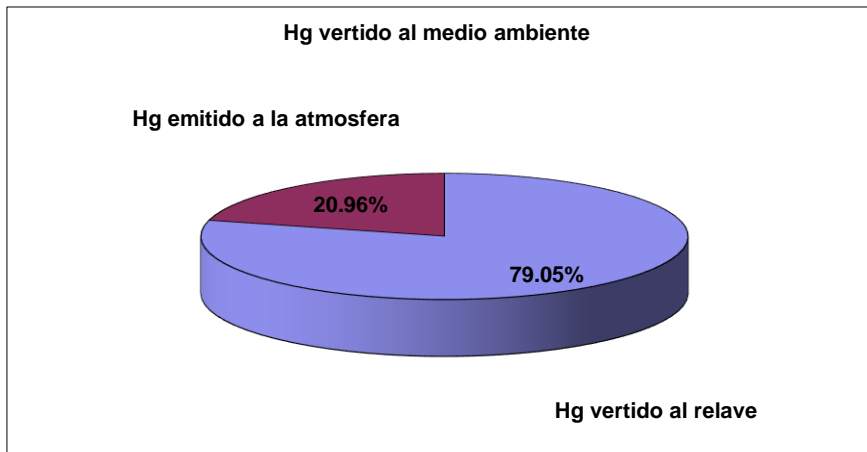


Fig. 5 Emisión de mercurio al medio ambiente en el proceso de molienda y amalgamación con molinos

Balance de masa en quimbaletes

El mineral pesado al inicio de la molienda y amalgamación fue 14.662 kg, añadiéndose 801.969 gr de mercurio. Al terminar el proceso se recupero 776.282 gr de mercurio y se peso 4.969 gr de amalgama. Luego del quemado de la amalgama el peso del oro libre fue 2.825 gr.

El mercurio recuperado fue el 96.8% del mercurio usado inicialmente. Se perdieron 23.54 gr (2.94%)

en las colas de relave y 2.143 gr (0.23%) en forma de vapor en la etapa de refogado.

El 89.1% del mercurio perdido es vertido al relave y el 10.9% es emitido a la atmósfera en forma de vapor.

El balance de masa nos muestra una relación de 10.263 ± 5.652 gr de mercurio emitido por 1 gr de oro producido.

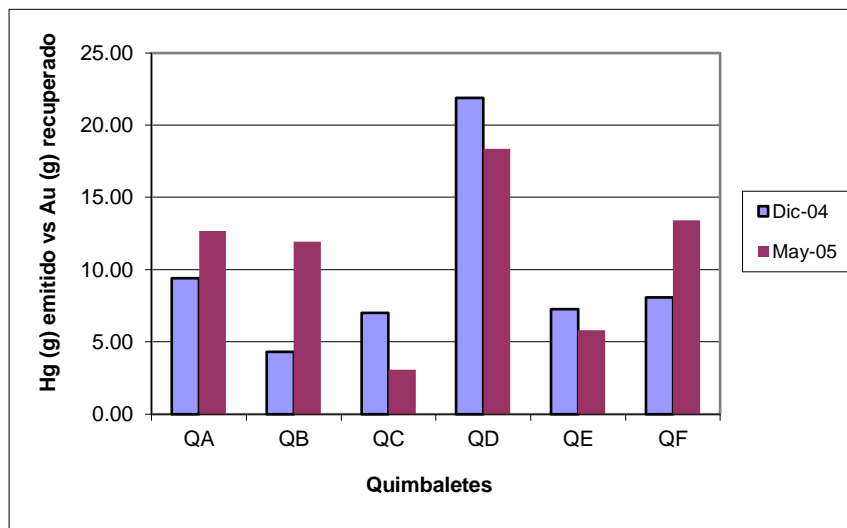


Fig.6 Relación entre la emisión de mercurio y el oro producido en molienda y amalgamación con quimbaletes

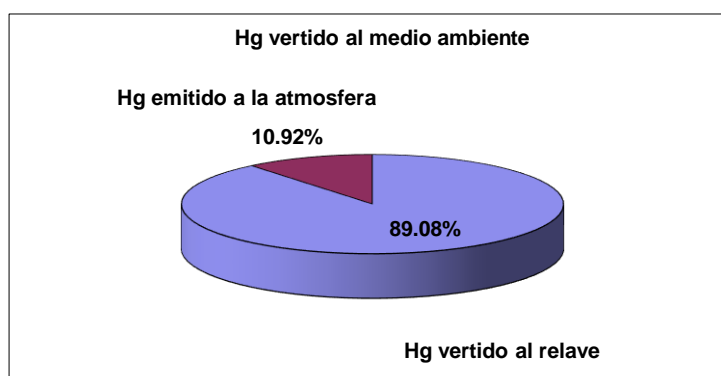


Fig. 7 Emisión de mercurio al medio ambiente en el proceso de molienda y amalgamación con quimbaletes

DISCUSIONES

Los resultados presentados muestran que las pérdidas de mercurio durante el proceso de producción de oro son mayores en los quimbaletes que en los molinos.

Tabla 1. Resultados Quimbaletes vs Molino

Indicadores	Quimbalete	Molino
Hg (g) perdido molienda amalgamación	23.544	38.713
Hg (g) perdido quema amalgama	2.143	9.405
Hg (g) perdido en el proceso	25.687	48.117
Relacion Hg:Au perdido en la molienda amalgamacion	9.374	5.181
Relacion Hg:Au perdido quema amalgama	0.889	1.237
Relacion Hg:Au perdido en todo el proceso	10.263	6.418
Relación Kg Hg utilizados vs Ton mineral tratado	75.787	65.861
Relación Kg Hg perdidos vs Ton mineral tratado	3.206	0.781
Hg (%) recuperado	96.57%	98.80%
Hg (%) vertido al relave	3.15%	0.96%
Hg (%) emitido a la atm	0.27%	0.23%

La dispersión de los valores en el caso de los quimbaletes se debe a la heterogeneidad de los quimbaletes: dimensiones, tiempo de molienda, experiencia de los operadores (niños, mujeres y jóvenes).

En estos procesos, una parte de la amalgama se queda en el recipiente del molino. Otra parte es perdida en las colas de relave, especialmente en forma de mercurio finamente molido o “harina de mercurio”.

La pérdida de mercurio en forma de vapor durante el proceso de refogado es similar en ambos casos.

Los valores encontrados son similares a los reportados por Pantoja (2001) para la explotación

de minas primarias en el Brasil y Bolivia; y por Wotruba (2002) para emisiones en procesos de concentración y circuitos abiertos.

En la Rinconada el mercurio es utilizado ampliamente en la recuperación del oro, generalmente sin las precauciones necesarias, causando gran efecto contaminante en las aguas, suelos y en los propios trabajadores que lo manipulan, y en sus familias; La utilización inadecuada del mercurio en la producción conduce a la producción de altas pérdidas tanto en forma de mercurio elemental durante el proceso de amalgamación, como en forma de gas (vapor de Hg) y compuestos inorgánicos durante la separación oro – mercurio, (refogado).

El proceso de refogado se realiza en retortas, dichos quemados o rehogados se realiza en los lugares de compra de venta de oro, o en la mayoría de casos en los hogares de los mismos trabajadores mineros, emanando los vapores de mercurio al medio ambiente, obteniéndose el oro refogado listo para su comercialización.

El mercurio recuperado, es nuevamente utilizado para posteriores procesos de amalgamación, sin ningún proceso de destilado ni purificación.

El poblador de la zona minera de La Rinconada es reacio a apoyar cualquier tipo de investigación, pues cree, que los resultados pueden afectar en el futuro su actividad.

Es necesario estimar el volumen de las emisiones de mercurio realizado en la zona de La Rinconada, desde el inicio de la explotación del yacimiento y sus consecuencias en el medioambiente, pues la contaminación afecta a la cuenca del río Carabaya afluente del Lago Titicaca.

La amalgamación en el futuro próximo seguirá siendo el método preferido y aplicado en la minería artesanal y pequeña minería para separar el oro fino de concentrados auríferos por: su fácil

operación, su recuperación relativamente alta, su uso sin maquinaria ninguna o barata y sus costos relativamente bajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Evaluación ambiental territorial de las zonas auríferas de Puno», 1998. [En línea]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/evats/puno/puno.pdf>. [Accedido: 08-jun-2003].
- [2] J. Velarde, «Evaluación técnica de los procesos de amalgamación en quimbaletes y molinos La Rinconada», Universidad Nacional del Altiplano, 2004.
- [3] J. Vargas, *Metalurgia del Oro y la Plata*, 1ra ed. Lima, 1980.
- [4] P. van Straaten, «Mercury contamination associated with small-scale gold mining in Tanzania and Zimbabwe.», *Sci. Total Environ.*, vol. 259, n.º 1-3, pp. 105-13, oct. 2000.
- [5] P. T. Freddy, «Tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionada por mercurio en la minería del oro», en *Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*, 2001.
- [6] A. Bermeo, «Confianza y enfoque integral para mejorar la minería aurífera de pequeña escala: algunas lecciones aprendidas en PRODEMINCA», en *Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*, 2001.
- [7] H. Wotruba, «Procesos de beneficio mineral aptos para la minería en pequeña escala», en *Segunda reunión anual de CASM – “Comunidades y Minería de Pequeña Escala”*, 2002.
- [8] M. M. Veiga y R. F. Baker, «Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners», Vienna, Austria, 2004.
- [9] GAMA, «La contaminación por mercurio», 2001. [En línea]. Disponible en: <http://www.gama.peru.org/es/contenido/01-ma-en-Perú/mercurio.htm>. [Accedido: 10-nov-2003].

Artículo recepcionado: 13.04.2019

Aceptado: 09.05.2017