



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

Retorta Comunal



Cooperación del Gobierno Suizo

PROYECTO



PEMA

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

RETORTA COMUNAL

Ing. Dr. Felix Hruschka

Junio 2009

Cooperación del Gobierno Suizo

PROYECTO



PEMA

COSUDE - Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
Proyecto PEMA

Philippe Zahner	Director Residente
José Ventura	Oficial Nacional del Proyecto
Guillermo Medina	Coordinador del Proyecto Pema

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2009-07754

© COSUDE

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
Av. Salaverry 3242, San Isidro, Lima 27
Casilla Postal 11-0210, Lima 11
Teléfono: (511) 264-5001
Fax: (511) 264-1387
E-mail: lima@sdc.net
www.cosude.org.pe

Primera edición
Lima, Junio 2009

Impresión: **Acroma Sociedad Anónima Cerrada**
E-mail: Jarpert@gmail.com

Se autoriza la reproducción parcial o total del manual indicando la fuente.

Presentación

El presente libro de sistematización sobre la denominada "RETORTA COMUNAL", que constituye uno de los importantes logros alcanzados por el Ex "Proyecto Gestión ambiental en la minería Artesanal"-GAMA que fue financiado por la cooperación del Gobierno Suizo a través de COSUDE e implementado por la consultora Projekt-Consult GMBH; corresponde a las publicaciones previstas dentro del ciclo de GAMA (hasta el 2008) y que dada su importancia es asumida por el actual Proyecto Especial de Apoyo a la Minería Artesanal-PEMA, igualmente de la cooperación Suiza

El autor de este trabajo es el Dr. Ing^o. Félix Hruschka, Jefe internacional del ex Proyecto GAMA en sus 2 primeras fases (2000-2005) y representante de Projekt-Consult GMBH en el Perú durante la vigencia de GAMA, quien a su reconocida calidad profesional y versación sobre este y otros temas vinculados a la minería artesanal; une su capacidad didáctica que se evidencia en este trabajo

Es grato presentar y poner a disposición del sector minero artesanal, el presente aporte respecto al **uso adecuado del mercurio**, en tanto no se disponga de una tecnología que, a escala operativa; reúna las características de simplicidad, economía y de relativa eficacia, como es el caso de la ancestral amalgamación. Por lo tanto asumiendo el símil utilizado por el autor de que " un León enjaulado representa menos peligro " es recomendable igualmente, utilizar el Mercurio con las máximas medidas de precaución(uso de retortas, entre otras) para eliminar o mitigar sus efectos nocivos

Lima, Junio 2009

Ing^o Guillermo Medina Cruz
Coordinador del Proyecto PEMA

1. Introducción y conceptos básicos

1.1 El proceso de amalgamación

Otros ejemplos de aleaciones (compuestos de otros metales) son el bronce, el acero y muchos otros metales de uso diario. Como aleación el metal resultante, tiene otras propiedades físicas y químicas diferentes al de sus componentes y al de una simple mezcla.

El último paso es la separación de la amalgama en sus componentes, es decir en oro y mercurio, ya que al minero le interesa principalmente recuperar el oro.

Para tal efecto se utiliza tradicionalmente, un proceso llamado "quemado" o en Perú "refogado", que consiste en aprovechar los diferentes puntos de ebullición del oro y mercurio. El punto de ebullición del mercurio es en 357°C. A esta temperatura el mercurio metálico comienza a hervir y se evapora

rápidamente. (Nota: igual como otros líquidos, el mercurio también evapora a temperaturas más bajas, inclusive a temperatura del ambiente). A esta temperatura el oro todavía se mantiene sólido (se funde recién a 1064°C y hierve a 2856°C).

No obstante una "amalgama", como hemos visto, no es simplemente una "mezcla" entre el oro y el mercurio, sino una aleación. De acuerdo a sus propiedades químicas y físicas, a mayor temperatura, la aleación se descompone y a partir de los 357°C se evapora la mayor parte del mercurio. Sin embargo, pequeños porcentajes de amalgama se mantienen estables dentro del oro, inclusive a temperaturas más altas, de tal manera que recién mediante una fundición y refinación del oro, uno puede estar completamente seguro de haber eliminado todo el mercurio.

Este comportamiento de la aleación (su estabilidad parcial encima de 357°C) es el motivo por el cual durante el proceso de quemado o refogado, los mineros o los compradores calientan el oro hasta temperaturas bastante elevadas a fin de que no queden significantes restos de mercurio en el oro. (Es común calentar hasta el "rojo vivo"; algunos acopiadores inclusive los funden para tener absoluta seguridad de comprar solamente el oro).

Diccionario de palabras clave

Aleación

Material de características y propiedades parecidas a las de un metal, formado por la fusión de dos o más elementos químicos, de los cuales al menos uno es un metal: el bronce (cobre y estaño) y el latón (cobre y zinc) son aleaciones, así como el acero (hierro con carbono). Las propiedades físicas y químicas de las aleaciones son específicas y diferentes a los de sus componentes

Amalgama

Aleación de metales, especialmente la formada por el mercurio con otros metales (i.e. con cobre, oro, plata u otros metales).

Mezcla

Una mezcla es la unión de sustancias o metales que no se combinan químicamente entre sí, manteniendo sus propiedades individuales.

Amalgamación

Proceso metalúrgico para la concentración de minerales de oro en el cual un lodo del mineral bruto molido se pone en contacto con mercurio. El oro es atrapado por el mercurio en forma de amalgama, lo cual se separa del barro para su posterior procesamiento, la separación térmica o química de mercurio y del oro.

1.2 La toxicidad del mercurio

Por este motivo, desde que se conoce la peligrosidad del mercurio, se hacen esfuerzos para reducir la exposición de los trabajadores y de la población a este metal. El principal avance de la minería aurífera consistió en la introducción de la

cianuración, como alternativa para eliminar por completo el uso de mercurio.

A ciertas escalas de producción de subsistencia, y sobre todo en la pequeña minería y minería artesanal, se mantiene la amalgamación como proceso tradicional para la recuperación del oro, ya que no requiere mucha inversión y permite recuperar y vender el oro dentro de unas pocas horas después de haber extraído el mineral de la mina.

El uso del mercurio en la minería de subsistencia es inevitable. Siendo relacionada la minería de subsistencia con la pobreza de la población dedicada a ella, la única forma de erradicar el uso de mercurio es la erradicación de la pobreza. Tenemos que tener muy claro, que no existen soluciones tecnológicas al alcance de la población Minera de subsistencia con potencial de reemplazar la amalgamación.

La toxicidad del mercurio constituye un peligro para todas las personas que entran intencionalmente (en el trabajo) o involuntariamente (por vivir en un lugar contaminado) en contacto con el mismo. No obstante tenemos que diferenciar claramente entre la peligrosidad del mercurio y el riesgo de resultar afectado por su toxicidad. Podemos comparar el mercurio con un león. Un león es un animal peligroso, pero si nos mantenemos lejos de él o si el león se encuentra encerrado en una jaula no corremos ningún riesgo de ser devorados. Algo similar pasa con el mercurio. Al mantenerlo lejos, o al encerrarlo bien, podemos reducir considerablemente el riesgo de resultar intoxicados.

La presente publicación tiene como objetivo mostrar tecnologías apropiadas para evitar en lo máximo posible, el riesgo de resultar afectado por el mercurio, haciendo énfasis en el sub-proceso de

separación de la amalgama utilizando retortas comunales.

1.3 La destilación y la retorta

Una retorta es un dispositivo utilizado para la "destilación", que consiste en un proceso de purificación mediante evaporación y condensación. Diferentes sustancias tienen diferentes "puntos de ebullición" (temperatura a la cual un líquido hierve). Encima del punto de ebullición, un líquido se evapora rápidamente. Debajo del punto de ebullición un vapor se condensa y la sustancia vuelve a su estado líquido.

Una retorta consiste, en principio, de un recipiente en el cual se calienta una mezcla de sustancias para elevar su temperatura y acelerar la evaporación y un condensador para enfriar los vapores y llevar la sustancia previamente evaporada, nuevamente a un estado líquido. En la salida del condensador, se tiene habitualmente un recipiente recolector para recuperar el líquido destilado.

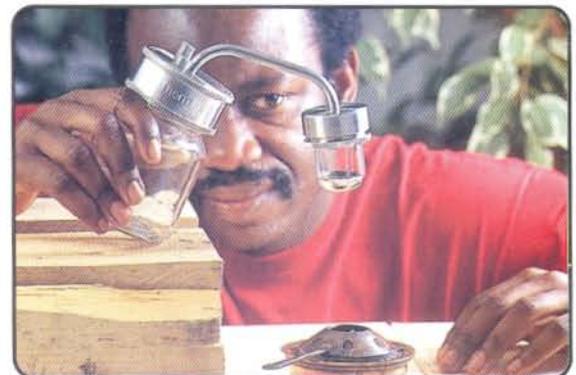
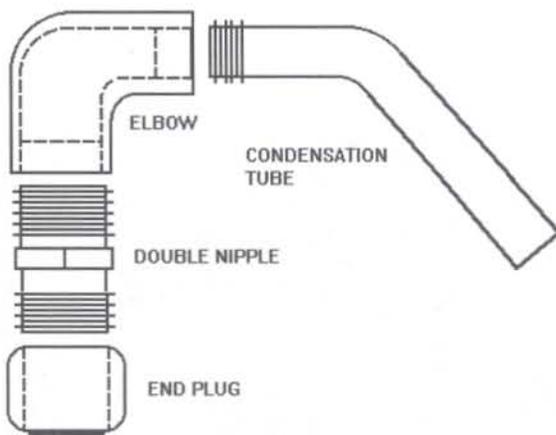
La aplicación más común de la retorta es el alambique para la destilación de alcohol. Se aprovecha la diferencia de la temperatura de ebullición (temperatura en la cual una sustancia hierve) del agua (100°C) y alcohol (78°C). Calentando una mezcla de alcohol y agua a --digamos-- 80°C, a la que el alcohol evapora, mientras el agua permanece en estado líquido. Lo cual permite obtener alcohol destilado.

Un proceso natural relacionado con la destilación es la lluvia. En la superficie de la tierra, aún debajo de la temperatura de ebullición, el agua evapora lentamente. El agua comienza a condensarse en las nubes, y cuando las nubes están demasiado saturadas de humedad, comienzan a descargar el agua en forma de lluvia. El agua de lluvia es en principio agua destilada.

2. Tipos de retortas

2.1 Retortas de circuito cerrado (retorta convencional)

El modelo de retorta más conocido para la minería artesanal, es la retorta de circuito cerrado, del que existe un sinnúmero de diferentes diseños. Entre modelos muy simples contruidos con tubos de gasfitería que cuestan menos de diez dólares, hasta modelos sofisticados de acero inoxidable y hasta modelos hechos en vidrio pírex con calidad de laboratorio químico, resistente al calor, que cuestan cientos de dólares.



RETORTA COMUNAL

No obstante, lo que todos los modelos tienen en común, es su poca aceptación por parte de los mineros artesanales, con excepción de los mineros artesanales “grandes” quienes producen mayor cantidad de oro y lo venden semi-refinado o por lo menos fundido.

Los mineros artesanales “pequeños”, quienes producen solamente unos pocos gramos y que dependen de su comercialización como “oro refogado”, la que habitualmente se realiza con una estimación de la pureza basada en su color, habitualmente no aceptan “la retorta”.



De las conversaciones sostenidas con muchos mineros artesanales de diversos lugares, se colige que tienen una increíble cantidad de justificaciones o excusas por no utilizar retortas cerradas; entre aspectos entendibles hasta prejuicios objetivamente infundados, basados en creencias. Debido a que este tema no es el objetivo de este documento, no se amplía en sus aspectos de carácter

Esto se debe que a veces el oro refogado adquiere en su superficie, una coloración diferente al oro quemado al aire libre, lo cual les perjudica al momento de la comercialización. Hay casos en que el oro “se pone negro” con lo cual su oro ya no es comercializable o solamente logra un precio muy bajo. Si bien el valor real del oro es el mismo (ya que una vez fundido tiene su coloración natural), los compradores de oro utilizan cualquier argumento en la negociación para bajar el precio al mínimo posible. Hay que verlo también desde su punto de vista: ¡No es engaño – es simplemente negocio!.

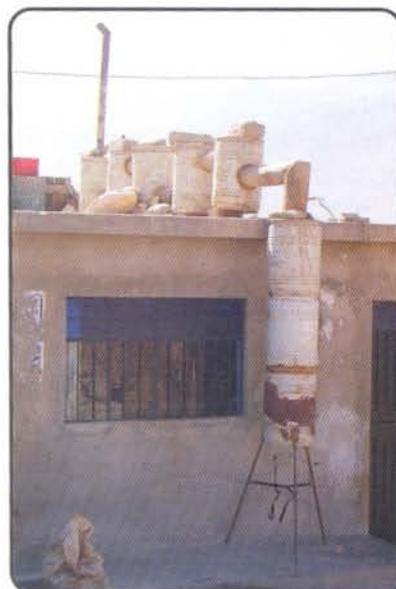


socio-culturales.

Por supuesto se admite, que en algunos casos y en algunas regiones, diferentes modelos de retortas de circuito cerrado, han logrado una relativa amplia aceptación. Esto es excelente y en estos casos no hay que preocuparse de la introducción de un sistema de circuito abierto.

2.2 Retortas de circuito abierto (hornos para la quema de amalgama / Retorta comunal)

El concepto de la “retorta de circuito abierto” no es nada nuevo. Siempre hubo esfuerzos –sobre todo de los compradores de oro– para recuperar parte del mercurio contenido en la amalgama, a fin de venderlo como producto adicional. Estos equipos, por lo general, se caracterizan por su diseño casero, siendo construido de materiales disponibles en la zona.



El principio general de todos estos ingeniosos equipos es conducir el gas cargado con mercurio, por un sistema de recipientes, para enfriarlo y lograr de esta manera la condensación del mercurio.

Los diferentes aparatos recuperan algo de mercurio, por lo cual son buenos. Sobre todo es rescatable el esfuerzo de sus inventores en buscar la mejor forma de recuperar el mercurio, en bien de la salud y el ambiente. No obstante en su mayoría, tienen una baja recuperación de mercurio – lo cual no les hace “malas” sino “perfeccionables”.

La presente publicación describe un

modelo de “retorta de circuito abierto” desarrollado y a lo largo del tiempo perfeccionado, en dos proyectos de la Cooperación Suiza (PMSC y GAMA), por parte del personal mismo del proyecto y por varios consultores externos, instalando y probando estos equipos. El largo camino recorrido ha permitido “estandarizar” el equipo ahora conocido en el Perú como Retorta comunal, y optimizar su rendimiento. Pero seamos modestos: “Todo es perfeccionable” (... el automóvil se ha inventado hace más de cien años, pero todavía hay miles de ingenieros dedicados a perfeccionarlo y cada año salen nuevos modelos).

2.2.1 Historia del desarrollo de la Retorta comunal

Diferentes métodos de recuperación de mercurio mediante campanas y filtros de absorción encontrados en Brasil y Venezuela, han sido descritos por M. Veiga en el informe "Introducing New Technologies for Abatement of Global Mercury Pollution in Latin America, UNIDO/UBC/CETEM 1997)

En este momento, los responsables técnicos de los proyectos PMSC/Ecuador y MEDMIN/Bolivia, habiendo realizado muchos esfuerzos para perfeccionar y difundir retortas de circuito cerrado (igual a otras iniciativas similares en ese tiempo), habían llegado al punto de aceptación parcial de estos modelos, por parte de los mineros artesanales. Inspirados por la idea de recuperación del mercurio en circuitos abiertos, Hermann Wotruba en Bolivia y el autor en Ecuador, comenzaron a investigar alternativas sencillas y de fácil construcción por parte de los mineros artesanales, empleando materiales localmente disponibles.

Un modelo desarrollado en Bolivia consistió de un tubo metálico con un ventilador, llenado de canicas de vidrio,

en las cuales el mercurio podía condensar. La idea era buena y funcionó para pequeñas cantidades de amalgama. Después de cada uso había que lavar el equipo para recuperar el mercurio, luego secarlo y volver a armarlo; lo cual requería mucho tiempo y no resultó práctico. La lección importante era que la recuperación dependía directamente del tamaño de la superficie de enfriamiento.

Otros aspectos a tener en cuenta eran, que los ventiladores comerciales hechos de aluminio se gastaban rápidamente, debido a reacciones químicas entre el mercurio y el aluminio y al usar motores eléctricos, el motor debe ser aislado del contacto con el aire con mercurio, ya que cualquier condensación de mercurio en el motor causa un inmediato cortocircuito.

Un siguiente modelo desarrollado en Ecuador intentó la recuperación del gas de mercurio con un sistema similar (usando grava de 2 cm Ø en vez de canicas) con un lavado continuo con agua en contracorriente. La recuperación de mercurio en forma de harina proporcionó la lección, que el "agua es el enemigo del mercurio" y la recuperación debe necesariamente realizarse en seco.



Asimismo resultó insuficiente la masa de grava (piedras duras sub redondeadas) para mantener una temperatura fría durante prolongadas quemas, (el equipo comenzó a calentarse causando la evaporación del mercurio recuperado), y se experimentó problemas con condensación prematura de mercurio en el ventilador trabajando a presión entre el horno y el condensador.



Si bien el equipo funcionó durante varios meses con buena recuperación en la tienda de un comprador de oro, en Portovelo / Ecuador y en una planta de procesamiento (Zaruma – El Pache / Ecuador), y ha sido replicado en Bella Rica / Ecuador, su potencial de réplica sostenible resultó ser muy limitado. Su construcción era demasiado difícil y su costo muy elevado. Asimismo el procedimiento de operación (prender el ventilador, abrir el flujo de agua, realizar la quema, cerrar el flujo del agua,

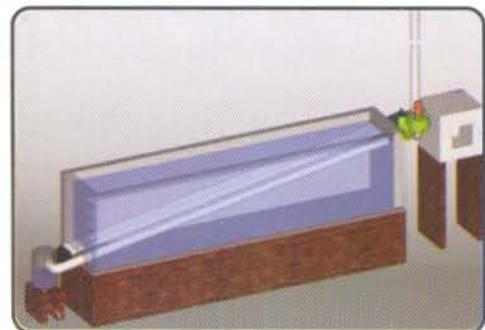


En un siguiente modelo se reemplazaron las piedras por tubos enfriados con agua circulante en su interior, permitiendo un uso prolongado. Asimismo, el ventilador ubicado en la salida del equipo y trabajando a succión, evitaba cualquier fuga de aire y eliminaba la necesidad de tener mucho cuidado en los empaques.



apagar el ventilador) era demasiado difícil. Más de una vez el equipo se "fundió", por haberse olvidado de abrir el grifo de agua.

El siguiente paso decisivo se dio en 1998. Una idea del equipo del proyecto PMSC, de construir un "horno para la quema de amalgama" con materiales de construcción y un diseño general muy similar a la bien conocida retorta cerrada.



RETORTA COMUNAL

La idea tenía como base las lecciones aprendidas, producir un equipo casi "indestructible", que tenga suficiente capacidad de enfriamiento mediante un tanque de agua, suficiente superficie de condensación mediante varios tubos de enfriamiento, y que pueda ser construido por albañiles de la zona, con similar técnica a la que se utilizaba en todas las instalaciones para tanques altos y reservorios de agua. El cierre del proyecto PMSC en 1999, no permitió llevar esta idea más allá de la construcción de un prototipo y algunas pruebas iniciales.

En el año 1999, durante



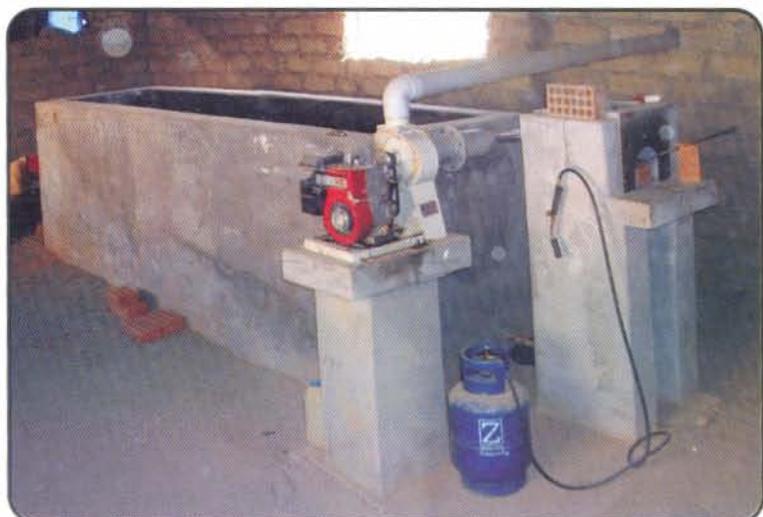
la planificación del proyecto GAMA en Perú, el autor contó la experiencia de Ecuador a los participantes del taller. La ONG ISAT, que ejecutó un proyecto en la comunidad de Huanca del Sur Medio del Perú, retomó la idea, consiguió financiamiento y comenzó a replicar el modelo del horno de amalgama de Ecuador en esta comunidad.

Dado que los mineros conocían el modelo de la retorta cerrada (difundida por el proyecto MAPEM del MEM), eran conscientes de la necesidad de recuperar mercurio con una "retorta", pero similarmente a otras zonas rechazaron un refogado en circuito cerrado, ISAT bautizó el equipo con el nombre de Retorta comunal.

Habiéndose experimentado algunas dificultades con la Retorta comunal de Huanca, que impedían su funcionamiento, tal como por ejemplo, el adecuado suministro de energía para el ventilador eléctrico a través de un generador sobredimensionado, y la mala calidad del mercurio recuperado a través de tubos de hierro galvanizados. A inicios del Proyecto GAMA, un consorcio entre las ONGs ISAT e IDEMAT propuso a GAMA un subproyecto para el rediseño de la retorta de Huanca.

Para el subproyecto de Huanca, se especificó como metas a lograr un costo de inversión del equipo inferior a 1000 US\$ para casos de existencia de energía eléctrica, (e inferior a US\$ 1750 incluida la generación de energía), costos de operación inferiores a US\$ 20 por kg de mercurio recuperado y una recuperación encima del 70%. Con el cambio a un motor de

combustible y cambio de la tubería a acero inoxidable y unos cambios en el trayecto de los tubos de refrigeración y condensación, se logró costos de operación de alrededor de 10 kg y una recuperación del 83%. El parámetro del costo de inversión fue comprobado mediante la instalación de una réplica en la comunidad de Relave en el Sur Medio.



La principal lección aprendida era, que el funcionamiento depende fundamentalmente del compromiso de la comunidad de exigir su uso y de una organización líder (en el caso de Huanca la Asociación de Mineros Artesanales de Huanca – AMAH). De tal manera, en Huanca se logró el compromiso de los cinco compradores de oro de realizar el refogado exclusivamente en el local de la Retorta comunal, para lo cual cada comprador tenía en el local un armario donde guardaban su balón de gas y su soplete. El resultado fue que en este tiempo el 100% de las operaciones de refogado se realizaba usando la Retorta comunal. Sin

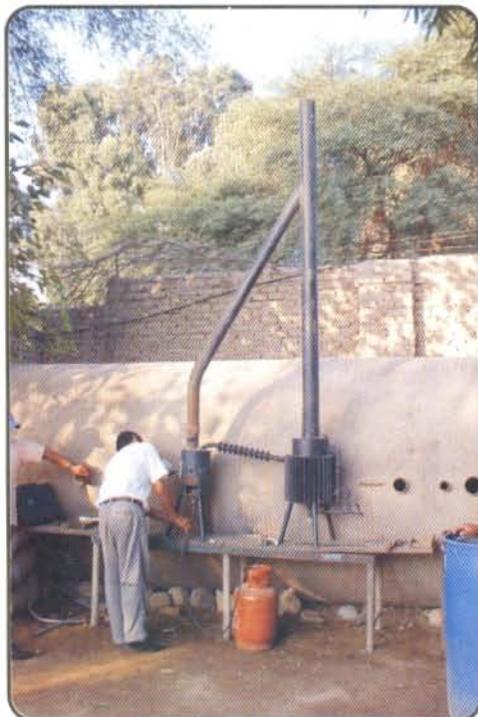
embargo, una vez que por problemas internos la organización AMAH dejó de funcionar, la Retorta comunal cayó en desuso después de poco tiempo. Algo similar también ocurrió en Relave.

No obstante, estas experiencias piloto, habían contribuido a dar a conocer y a comprobar la viabilidad del concepto de la “retorta de circuito abierto”, dando lugar a su difusión masiva en las fases 2 y 3 de GAMA en base a solicitudes de organizaciones y comunidades minero artesanales.

2.2.2 Otros modelos de retortas de circuito abierto

La Retorta de Lajo

Como nota aparte para este capítulo, también hay que mencionar en el contexto peruano, la iniciativa y los esfuerzos de Ricardo Lajo, ingeniero de Nazca, para desarrollar en los años 2003 – 2005 una retorta de circuito abierto que funcionara sin fuente de energía externa, utilizando la fuerza térmica del mismo soplete para conducir los gases a un sistema de refrigeración. Aunque los primeros ensayos habían sido muy prometedores, no se logró una extracción confiable de los gases o mejor dicho, esta dependía mucho de las condiciones climáticas.

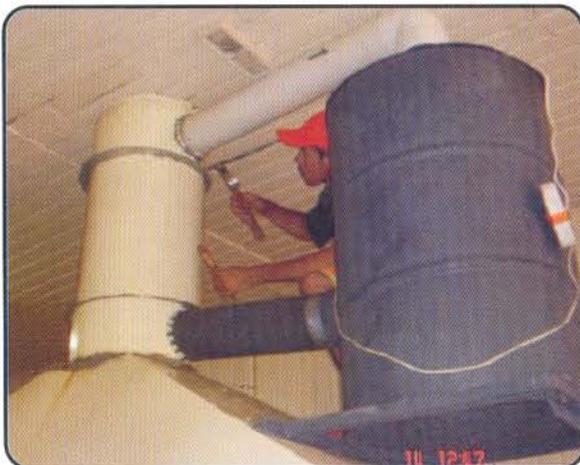
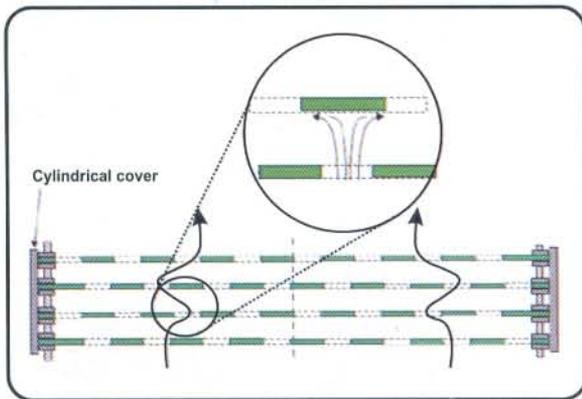


Por otro lado, al paso que se trataba de mejorar el equipo para hacerlo funcionar más establemente, se acercaba a una construcción compleja, cara y difícil de manejar, similar a los primeros modelos del PMSC en Ecuador en los años 1997. Finalmente se abandonó el apoyo de GAMA a esta iniciativa alternativa.

La retorta de US EPA

En 2007 Marilyn Engle presentó en la Reunión Anual de CASM los esfuerzos de la agencia ambiental de los Estados Unidos (USEPA) de diseñar e implementar un recuperador de mercurio

en circuito abierto, basado en una diferente teoría. El gas de mercurio comienza a condensar a relativamente altas temperaturas, formando una neblina (científicamente dicho un "aerosol"). Conduciendo este aerosol (el aire con la fina neblina de partículas de mercurio) por un sistema de parrillas finas, colocadas de tal forma que las partículas de mercurio, al pasar por la parrilla son aceleradas, y desviando después de la parrilla el flujo de aire, chocan bruscamente contra la siguiente parrilla.



Un informe de los ensayos realizados en Brasil fue publicado el 2008. USEPA tiene previsto ensayar el sistema en otras regiones de minería artesanal; - entro otros en el Perú.

La recuperación de mercurio del sistema, que en su construcción es bastante sencillo, llega al 80%, según el informe de USEPA

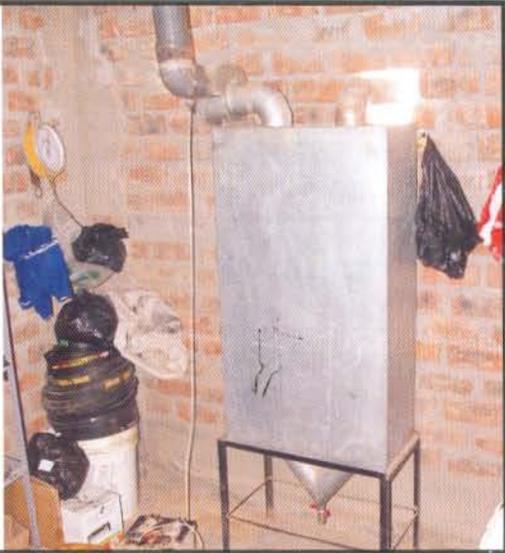
Las mini-retortas de Chaparra

En el pueblo de Chaparra (Sur Medio, Perú), el Gobierno Regional de Arequipa construyó una Retorta comunal, con asesoría técnica de GAMA, obligando a todos los

compradores de oro de realizar el refogado en esta instalación operada por el Municipio, o instalar en sus tiendas recuperadores de mercurio de características similares.

En consecuencia, los compradores, juntos con un taller metal-mecánica local, comenzaron a desarrollar un modelo alternativo, diseñado y construido bajo el mismo concepto que la Retorta comunal, pero más compacta; hecha de metal y operada con ventiladores a batería de 12 V.

Si bien, por su menor tamaño y por tanto menor superficie de condensación la recuperación del sistema es posiblemente menor (el autor no dispone de registros de recuperación para determinar la eficiencia) que en las retortas comunales grandes; no obstante queda rescatable que todas las tiendas de acopio de oro en Chaparra han implementado esta tecnología y han comenzado a recuperar mercurio.



2.3 Comparación de los dos diferentes conceptos

Retorta de circuito cerrado	Retorta de circuito abierto
FUNCIONAMIENTO	
<p>Calentamiento indirecto de la amalgama en un recipiente herméticamente cerrado. Enfriamiento y condensación de vapor de mercurio a estado líquido en la retorta.</p>	<p>Calentamiento directo de la amalgama con un soplete en un horno, en combinación con un ventilador que absorbe una mezcla de gases (aire, CO₂, vapor de mercurio) y lo lleva a un sistema de enfriamiento y condensación.</p>

RECUPERACIÓN DEL MERCURIO

De vapor de mercurio (concentración alta)	De una mezcla de diferentes gases (concentración baja)
Alta recuperación posible por ser circuito cerrado. Aplicando una funda plástica en la salida (circuito completamente cerrado), es teóricamente posible llegar al 100% de recuperación. No siendo posible sobrecalentar el crisol, no se puede eliminar todo el mercurio del oro. Recuperación factible: encima del 95%.	Recuperación más baja que en sistemas cerrados, debido a circuito abierto. No se puede llegar al 100% ya que inclusive a temperaturas ambientales el flujo de aire lleva trazas de mercurio. Recuperación factible entre 80 y 90%.
La recuperación puede ser medida al instante (comparando el peso de la amalgama, del oro y del mercurio recuperado, considerando un re-quemado del oro al rojo vivo al aire libre).	La medición de la recuperación requiere un confiable y minucioso registro de pesos de amalgama, oro y mercurio recuperados durante un prolongado tiempo de algunas

ACEPTACIÓN DE LA TÉCNICA

La destilación de la amalgama con calor indirecto en un recipiente cerrado, es un proceso diferente del refogado con soplete al aire libre, tradicionalmente practicado por los mineros artesanales.	El refogado con soplete dentro del horno es el mismo proceso que el refogado con soplete al aire libre.
Durante la quema no se puede observar el oro.	Se puede observar y por tanto controlar el proceso durante cualquier momento del refogado.
Sobrecalentando la retorta, el oro puede quedar pegado (fundido) en la pared. Se debe terminar el proceso cuando el crisol está al rojo vivo – con lo cual el oro que está dentro todavía no está completamente quemado. Consecuencia: El comprador tiene que re-quemar el oro (al aire libre) para eliminar todo el mercurio.	Se puede calentar el oro al rojo vivo. No es necesario un re-quemado, ya que el oro ha sido calentado al rojo vivo.
Mineros artesanales se quejan de la mayor duración del calentamiento indirecto.	El tiempo de refogado es igual al refogado al aire libre.
El refogado se puede hacer en cualquier sitio (por supuesto excluida la cocina) donde hay una fuente de calor.	El refogado solamente se puede realizar en el sitio de la Retorta comunal.
El ambiente cerrado no permite la oxidación de impurezas y puede ocasionar coloraciones superficiales.	El refogado con soplete oxida impurezas y la superficie del oro muestra su color típico.
El equipo no requiere mantenimiento.	El equipo requiere mantenimiento.
El equipo no requiere otras fuentes de energía a excepción de calor.	El equipo requiere energía eléctrica o de un motor de combustión interna.
La aceptación depende de la concientización individual.	La aceptación depende de la organización y presión social.

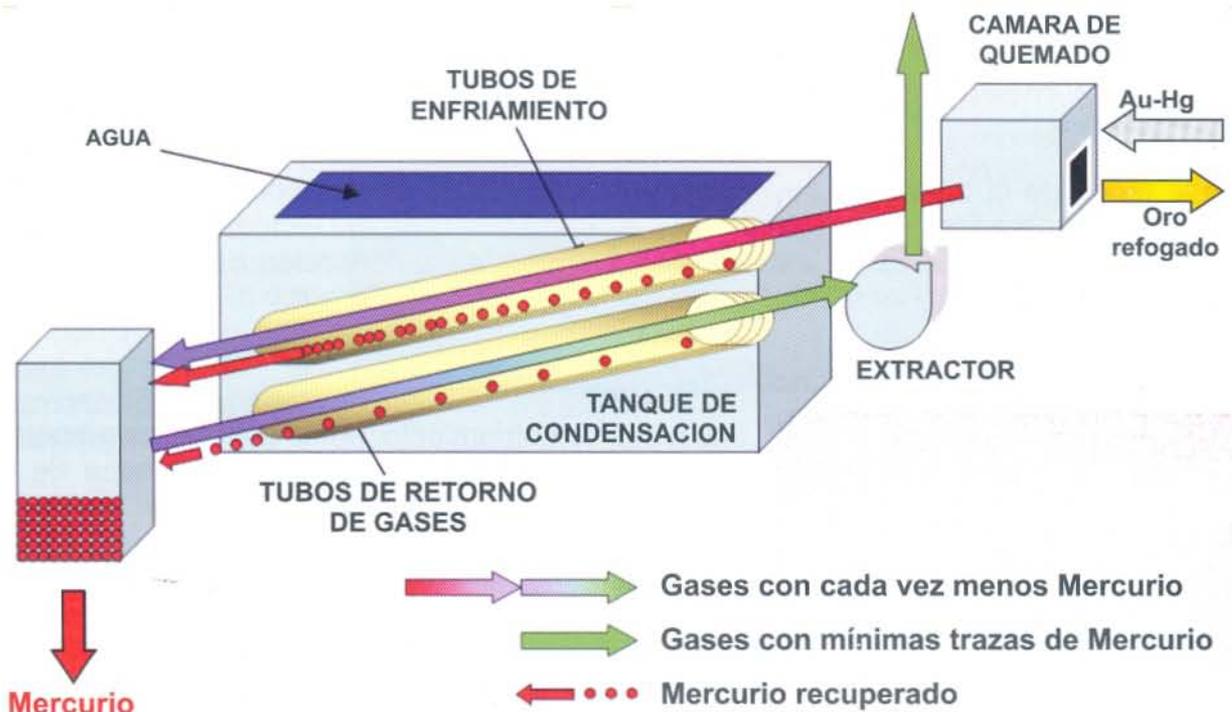
RESUMEN	
Mejor nivel de recuperación del mercurio, aceptando un cambio del proceso tecnológico.	Mejor nivel de aceptación por ser el mismo proceso tecnológico. A costo de una menor recuperación de mercurio.
Su uso depende de concientización individual.	Su empleo depende de organización y control social.
<p>Escenario típico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recuperación del equipo: 95% - Aceptación: 25% (mejor caso) <p>$0.95 * 0.25 = 0.237 = 24\%$ del Hg recuperado.</p>	<p>Escenario típico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recuperación del equipo: 80% (peor caso) Aceptación: 75% <p>$0.80 * 0.75 = 0.6 = 60\%$ del Hg recuperado.</p>

Nota:

En el improbable caso que en un sitio todos los mineros están dispuestos a utilizar la retorta de circuito cerrado y donde realmente la usan en el trabajo diario, ésta es sin duda alguna la mejor tecnología.

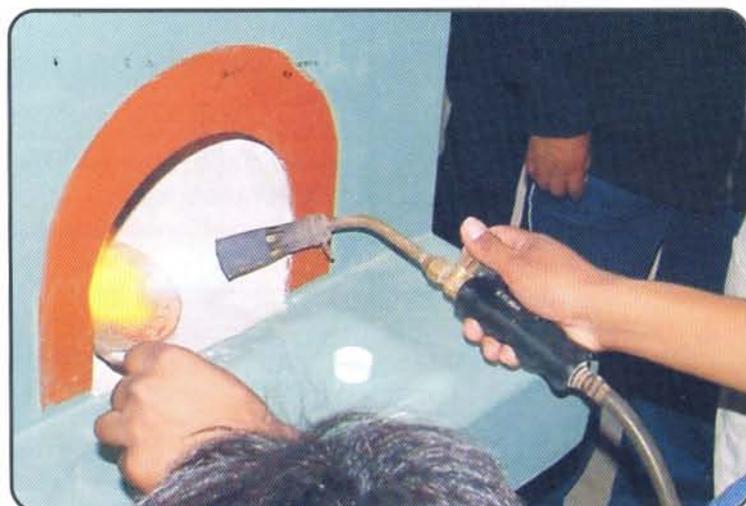
3. Elementos principales y funcionamiento de la Retorta comunal

Los elementos principales y el esquema de funcionamiento de la Retorta comunal son ilustrados a continuación. Los siguientes capítulos hacen referencia a esta figura.



3.1 Cámara de quemado

La cámara de quemado (o el propio horno) puede ser construido de ladrillo revestido con cemento. En esta cámara, el operador realiza el refogado de la misma manera como lo haría al aire libre, a excepción que manipula la amalgama y el soplete, de manera que ambos quedan durante el proceso dentro de la cámara.



Antes de comenzar con la quema de la amalgama, se debe poner en funcionamiento el ventilador para que succione hacia adentro de la retorta, todos los gases (el CO_2 de la combustión del soplete, exceso de aire y vapor de mercurio) y así evitar el escape del mercurio, la contaminación del operador y el ambiente.

En el fondo de la cámara de quemado están empotrados los tubos de enfriamiento, a través de los cuales se succionan los gases. La temperatura de

ebullición del mercurio a $357\text{ }^\circ\text{C}$ – temperatura que se supera en la llama del soplete, pero no en toda la cámara – hace que el mercurio comience a condensarse dentro de la cámara. Por tanto, es importante que el volumen interior de la cámara se construya lo más pequeño posible. Solamente necesita ser suficientemente grande para permitir al operador un manipuleo cómodo de la amalgama. El tamaño pequeño de la cámara permite una rápida evacuación de los gases y menos condensación de mercurio en su interior.



Los tubos de enfriamiento, por lo general, se empotran en la pared posterior de la cámara. Acerca de su ubicación, hay que considerar dos aspectos:

1. El aire saturado con mercurio es (por el peso del mercurio) más pesado que el aire limpio, por tanto baja.
2. El aire caliente es más liviano que el aire frío, por tanto sube.

Ahora: los gases calientes son cargados con mercurio. Por el primer argumento habría que colocar los tubos cerca del piso de la cámara; debido al segundo argumento habría que colocarlos cerca de su techo.

Lo único que queda claro es, que NO se debe empotrar los tubos con un codo en el techo (porque el mercurio condensado en la entrada regresaría a la cámara), y NO se

debe empotrar los tubos muy cerca al piso (porque accidentalmente podrían caer partículas de oro al piso y perderse, al ser arrastrado con los gases a los tubos).

Una buena colocación de los tubos es generalmente, empotrándolo a una altura de aproximadamente 2/3 de la altura de la cámara.

3.2 Tubos de enfriamiento y de retorno de gases

3.2.1 Tubos de enfriamiento

Los gases que salen de la cámara de quemado, son calientes y cargados con mercurio. Los tubos de enfriamiento tienen la obvia función de enfriar los gases, provocando la condensación del mercurio. Por tanto, son hechos de metal, porque es un buen conductor térmico.

La segunda función que cumplen los tubos de enfriamiento, es proporcionar superficie en la cual el mercurio puede condensar. A fin de evitar que el mercurio condensado se ensucie, se debe utilizar tubos de acero inoxidable; así el mercurio ni se contamina con óxidos o con zinc de tubos galvanizados. (No se puede utilizar cobre, porque el cobre se amalgama con mercurio; tampoco aluminio, ya que el mercurio destruye el aluminio).

A fin de tener suficiente superficie de condensación, es recomendable – como hemos visto en el capítulo de la teoría – usar en vez de un solo tubo grueso, varios tubos de menor sección transversal. Por lo

general tubos de 1½"Ø o de 2"Ø, tienen suficiente estabilidad para que puedan ser bien empotrados en el tanque de agua.

El largo de los tubos depende de lo que se consigue en el mercado nacional. Habitualmente los tubos de acero inoxidable de 2" Ø se comercializan en unidades de 4 a 5 metros de largo. Se aprovecha todo el largo de los tubos y se evita soldaduras.



Los tubos de enfriamiento que conectan la cámara de quemado con el recipiente de recolección de mercurio, se empotran en el tanque de enfriamiento de manera que tengan una inclinación hacia el recipiente de recolección. De esta manera, el

mercurio que se condensa dentro de los tubos, comienza a formar pequeñas bolitas, que corren por su propio peso, hacia el recipiente.

3.2.2 Tubos de retorno de gases

Los tubos de retorno conectan el recipiente de recolección con el ventilador.

Los gases que han pasado al recipiente de recolección, a través de los tubos de enfriamiento, tienen una temperatura tibia y la mayor parte del mercurio ya ha precipitado. No obstante, para aumentar la eficiencia del equipo, se añade unos tubos de retorno, cuya principal función es, proporcionar superficie adicional donde los restos del gas de mercurio y eventuales gotitas en forma de neblina fina, puedan adherirse y ser de esta forma capturadas.

Ya que los gases son tibios, para abaratar costos se utiliza habitualmente tubos de PVC para los tubos de retorno.

Igualmente como los tubos de acero inoxidable, los tubos de PVC se comercializan habitualmente en trozos de 4 a 5 metros de largo. Igualmente se aprovecha todo el largo y sobre todo se evita uniones dentro del tanque de agua, a través de los cuales el agua podría ingresar al sistema.

3.3 El tanque de enfriamiento

Todos los tubos que conectan al horno y al ventilador (en un extremo del equipo) con el recolector de mercurio en el otro extremo del equipo, pasan por el tanque de enfriamiento llenado con agua.

El tanque de enfriamiento se construye de ladrillos, interiormente revestido con cemento resistente al agua (empleando aditivos), para que no haya fugas de agua.

El largo del tanque depende del largo de los tubos de acero inoxidable y de PVC disponibles en el mercado. Se construye

lo más largo posible, para aprovechar el largo de los tubos (que en sus extremos tienen que sobresalir del tanque) y evitando uniones o soldaduras.

La altura del tanque depende de la altura del horno (la que debe permitir un trabajo cómodo) y la del recipiente de recolección (que debe ser colocado lo más bajo posible). Entre ambos extremos debe darse una buena inclinación de los tubos, a fin de que el mercurio corra fácilmente hacia el recipiente de recolección.

Hay que tener mucho cuidado en el empotrado de los tubos en el tanque de agua, a fin de que la unión sea hermética y no haya fugas de agua.

El ancho del tanque no es un parámetro crítico. Se escoge para que sea práctico al momento de la construcción, sobre todo al revestir el interior con cemento. Si es demasiado angosto, no permitirá un buen trabajo del albañil. Si es demasiado ancho, es un gasto innecesario.

En algunos casos se ha visto práctico, que cerca del piso del tanque también se empotre un tubo de agua con una llave, para vaciar, limpiar el tanque y cambiar el agua, si fuera necesario. (Aunque esto también se puede hacer con una manguera haciendo un sifón)

Una vez lista la retorta para la operación se llena el tanque con agua.

3.4 El recipiente de recolección de mercurio

El recipiente de recolección se encuentra en la parte más baja de todo el sistema. Todos los tubos en que el mercurio condensa, están inclinados hacia el recipiente, de tal manera que el mercurio que se condensó y formó pequeñas bolitas, corra por su propio peso hacia el recipiente.

El recipiente puede ser fabricado en metal (preferiblemente acero inoxidable) o de plástico que por lo general es mucho más económico. En los primeros modelos se utilizó bidones usados de agua de mesa, cuya ventaja es que tienen un costo mínimo y son transparentes, lo cual permite observar la acumulación de mercurio en su interior. No obstante, con el tiempo el



3.5 Extractor de gases (ventilador)

La pieza clave que hace funcionar la retorta es el extractor en forma de un ventilador radial y su respectivo motor.

Aplica algo especial al ventilador mismo El extractor no requiere mucha potencia – es más – ¡no debe tener mucha potencia!

Como hemos visto en el capítulo teórico, la recuperación aumenta con mayor tiempo de permanencia de los gases en el equipo. Lo que se debe lograr, es que en la entrada del horno se tenga una velocidad del flujo de aire de aproximadamente 0.5 m/s, para asegurar que no haya escapes de mercurio; para esto no se requiere mucha fuerza.

Aplica algo similar al motor si es eléctrico: La gran mayoría de extractores que se consiguen en las ferreterías, son hechos de aluminio. Estos extractores ¡NO SIRVEN! ... Si bien el equipo tiene una buena recuperación, la recuperación no es del 100% y por tanto, los gases que extrae el extractor todavía contienen trazas de mercurio. Como el mercurio destruye el

mercurio también condensa en sus paredes interiores, haciéndoles opacos. Otra desventaja es que su construcción ligera limita su vida útil a unos pocos años.

En su parte inferior, el recipiente debe tener una llave de descarga, que permita la "cosecha" del mercurio recuperado.



aluminio, un extractor hecho de aluminio tendrá muy poca vida útil. Por tanto, lo recomendable es encargar a un taller metal-mecánica, la fabricación de un extractor de acero. Por supuesto un extractor "casero" no tiene la misma fuerza que uno comercial, técnicamente diseñado; pero... ¡no se necesita que tenga mucha fuerza!

Algo similar aplica al motor si es eléctrico: Todos los extractores comerciales tienen el motor directamente acoplado, y muchos utilizan el flujo de aire del ventilador al mismo tiempo, para la refrigeración del motor eléctrico. Estos modelos ¡NO SIRVEN!, por tener una conexión abierta entre el motor y el ventilador, pues con el tiempo las trazas de mercurio ingresan al motor; siendo el mercurio un metal, conduce electricidad; además el mercurio se amalgama con el cobre de los cables eléctricos al interior; en consecuencia se produce un cortocircuito que inutiliza al motor.

En muchos casos (sobre todo por la falta de energía eléctrica disponible) se está utilizando motores de combustión

3.6 Resumen del funcionamiento

Con la descripción de cada uno de los elementos de la Retorta comunal, ya queda en principio claro su funcionamiento. No obstante, para tener la visión general, se puede resumir de la siguiente manera:

- En la cámara de quemado se realiza el refogado de la amalgama con un soplete, de la misma manera como se hace al aire libre. La diferencia es, que los gases no salen al aire libre, sino son absorbidos por un extractor.
- El extractor conduce los gases por un sistema de tubos que sirven para enfriar el gas y de esta manera provoca que el mercurio condense (y se vuelva líquido) en el interior de los tubos.
- Todo el sistema de tubos es inclinado hacia el recipiente de recolección de mercurio, para que se desplace por gravedad.
- En el interior de los tubos, el mercurio condensado forma gotas o bolitas,

interna, acoplados al extractor mediante poleas y una banda (faja), lo que permite calibrar bien la fuerza del extractor, a través de las revoluciones del motor.

Donde existe energía eléctrica es probablemente más económico utilizar un motor eléctrico (menor inversión, menor costo de operación). Considerando lo anteriormente dicho sobre mercurio y equipos eléctricos, es recomendable acoplar el motor eléctrico también en forma externa, a través de un sistema de poleas y banda. Además de proteger el motor, esto tiene la ventaja, que se puede calibrar la fuerza del ventilador a través de diferentes tamaños de las poleas.

que por su propio peso con el tiempo, comienzan a correr hacia el recipiente de recolección. Siendo este el punto más bajo del equipo, el mercurio líquido se acumula ahí y queda atrapado.

- El extractor funciona a succión y es ubicado al final del sistema, donde los gases ya solamente contienen trazas de mercurio. Esto produce que la presión de aire al interior del equipo es menor que la presión atmosférica, por lo cual no existe posibilidad de fuga de gas.
- En la salida del extractor se coloca un tubo que sirve de chimenea, por el que se evacuan los gases limpiados del local de la Retorta comunal.
- No obstante, la Retorta comunal no recupera el 100% del mercurio. Por tanto – como cualquier otra instalación en la cual se maneja mercurio, debe ser instalada en zonas declaradas como industriales, alejadas de áreas urbanas, viviendas, comercio de comestibles o restaurantes, etc.

4. Eficiencia de la Retorta comunal

4.1 Medición de la eficiencia de retortas de circuito cerrado

La eficiencia de cualquier retorta se mide a través de su recuperación. ¿qué porcentaje del mercurio contenido en la amalgama se recupera en forma líquida, lista para ser reciclado?

Para retortas de circuito cerrado (las pequeñas retortas individuales) esto es fácil. Antes de realizar la quema, se pesa la amalgama. Después del refogado se pesa el oro y el mercurio recuperado. Para asegurarse que el oro ha sido bien quemado y no contiene restos de mercurio, se procede al re-quemado.

La cantidad de mercurio contenido en la amalgama es el peso de la amalgama menos el peso del oro re-quemado.

La cantidad de mercurio recuperado, es el peso del mercurio.

La recuperación es el peso de mercurio

recuperado, dividido entre el peso de mercurio contenido en la amalgama.

Ejemplo típico:

Antes del refogado:

Peso de la amalgama: 15.7 g

Después del refogado en la retorta:

Peso del oro: 6.4 g

Peso del mercurio: 8.9 g

Después del re-quemado del oro

Peso del oro: 6.2 g

Recuperación de la retorta: $8.9 / (15.7 - 6.4) = 95.7\%$

Recuperación total del proceso de refogado en la retorta: $8.9 / (15.7 - 6.2) = 93.7\%$

4.2 Medición de eficiencia de retortas de circuito abierto

El cálculo simple, sencillo y rápido de la recuperación en una retorta cerrada, no funciona con retortas de circuito abierto.

Una vez que se pone en funcionamiento un equipo nuevo:

... Después de la primera quema no sale nada de mercurio del recipiente de recolección. Todo ha quedado atrapado en las paredes interiores de los tubos.

... Durante las siguientes quemas en un equipo nuevo, al comienzo, tampoco sale mercurio, las bolitas de mercurio están creciendo al interior de los tubos, pero todavía no tienen suficiente tamaño y peso para comenzar a correr hacia el recipiente.

... Después de haber realizado unas 10 – o quizás una 20 – quemas en el equipo, aparecen las primeras gotas de mercurio en el recipiente.

... Luego en las siguientes quemas a veces no sale nada, a veces sale mucho mayor

peso de mercurio que ha tenido la amalgama que se quemó, porque tal vez en la parte superior de un tubo una bolita de mercurio se ha soltado y al correr hacia el recipiente ha arrastrado, a muchas otras bolitas que ya estaban al punto de correr.

... Es decir, recién ahora el equipo se ha "estabilizado" y más o menos en la medida que se realiza quemas en el equipo, sale el mercurio Pero NO en cada quema el equivalente del mercurio contenido en esta amalgama, sino en forma de promedio.

Es decir: En el curso de una semana sale más o menos la cantidad de mercurio que se ha recuperado en este tiempo; y con mayor tiempo de uso aumenta la exactitud: después de un mes la cantidad de mercurio recuperado en este tiempo, sale con bastante exactitud.

$$\text{Recuperación} = \text{Peso del mercurio} / (\text{peso de la amalgama} - \text{peso del oro})$$

Alternativas:

1. Con un solo equipo simple de medición de concentración del mercurio en el aire, (por ejemplo un medidor de gases con tubos Draeger o Auer), se puede medir la concentración en la chimenea (lo que escapa). No obstante, esto requiere simultáneamente la medición del flujo de aire y sobre todo la medición continua durante todo el proceso de refogado. Porque:

- Si se incrementa el flujo de aire, baja aparentemente la concentración, pero sabemos que con menor tiempo de contacto las pérdidas aumentan; con lo cual la medición nos engaña.
- La evaporación del mercurio de la amalgama no es constante durante todo el tiempo: al comienzo del refogado cuando la amalgama está todavía tibia, es baja; después aumenta mientras se evapora la mayor parte del mercurio; y al acercarnos al rojo vivo ya queda mucho mercurio por evaporar. Tomando solamente una muestra de aire y midiendo el

mercurio en ésta, no es representativo (sería como evaluar todo un yacimiento en base a los resultados del análisis de una sola muestra).

2. Aun, con la utilización simultánea de dos instrumentos "Draeger" – uno después del horno y otro en la chimenea de salida –, no es posible comparar directamente las concentraciones de mercurio, porque la temperatura de los gases inmediatamente después del horno, excede el rango de operatividad del referido instrumento de medición.

3. La única opción viable es la de tomar simultáneamente y durante todo el proceso de refogado, muestras de aire en el horno y la chimenea, y mandar las muestras a un laboratorio químico especializado en el análisis de mercurio. No obstante, esta opción puede descartarse en el contexto de la presente publicación, ya que requiere una tecnología de muestreo avanzada que no está al alcance de las comunidades minero artesanales.

Por tanto en la práctica, la única alternativa viable, es la medición de la recuperación mediante el registro.

5. Implementación de la Retorta comunal

5.1 Construcción de la Retorta comunal paso a paso

5.1.1 Ubicación

Al haber tomado la decisión de instalar una Retorta comunal, lo primero es elegir su ubicación. Hay que tomar en cuenta, que la Retorta comunal es una instalación en la cual se maneja mercurio, por tanto requiere ser instalada en una zona industrial. En caso que no se haya determinado ninguna "zona

industrial", se considerará:

- No instalarla cerca de viviendas, locales de venta de alimentos o restaurantes.
- No instalarla en zonas de inmediato uso agrícola (chacras) o pastoreo.
- No instalarla en una ubicación donde se espera la expansión de la zona urbana en un futuro inmediato.

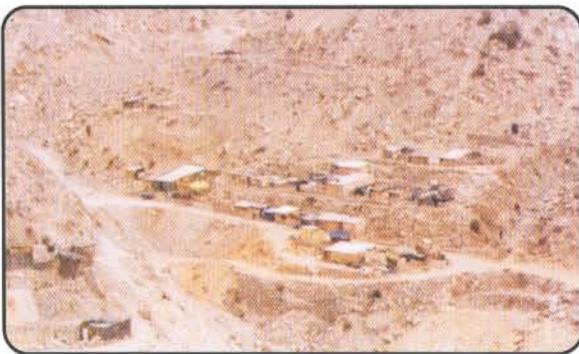
- Determinar la dirección predominante de los vientos en la zona, e instalarla en aquel extremo de la población que asegure que los vientos alejen eventuales vapores de mercurio, desde el pueblo hacia zonas en desuso.

Por otro lado también es necesario que la Retorta comunal no esté instalada demasiado lejos del pueblo y que haya rápido y fácil acceso a pie, lo cual es importante también en relación a la seguridad. Un lugar demasiado apartado o

aislado puede dar lugar a asaltos a los mineros quienes van y regresan a/de la Retorta comunal portando su oro.

Ejemplo: Cerro Rico – Base Rey

La ubicación de la Retorta comunal se encuentra a 100 metros de distancia, al Sud-Este del Centro Poblado, lugar estratégico tomando en consideración la dirección de los vientos predominantes, entre otros factores; para que no causen impactos ambientales negativos –contaminación– en la población, como lo muestran las siguientes fotos:



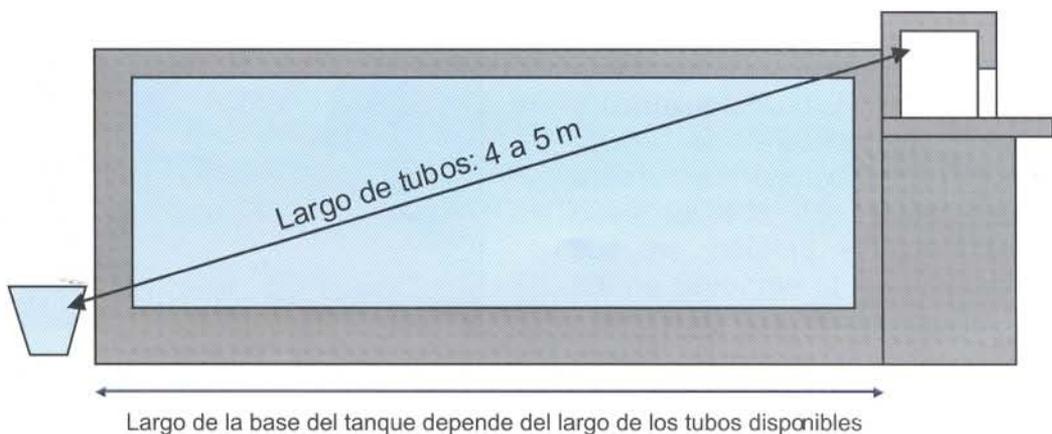
Cerro Rico – Base Rey

Preparación de la base del tanque

Por lo general ha resultado práctico, construir primero las partes principales de la Retorta comunal (como el tanque de agua y el horno), y luego –alrededor de la retorta– el local mismo.

Para la base del tanque se limpia el área y prepara un terreno plano.

Antes de determinar el tamaño de la base del tanque, se debe haber averiguado la longitud de tubos de acero inoxidable y de PVC disponibles en el mercado (habitualmente 4 a 5 metros) y hecho un diseño de la posición del horno y del recipiente de recolección, para determinar el largo máximo del tanque.

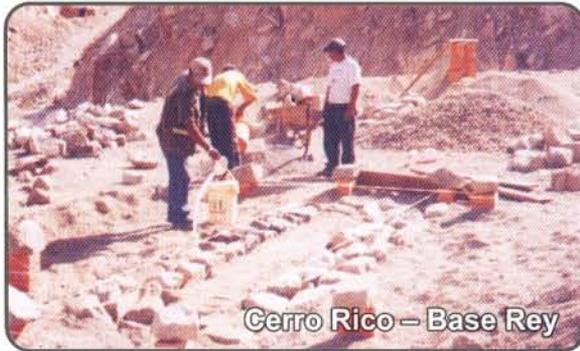


RETORTA COMUNAL

A fin de ahorrar cemento y abaratar costos, se puede utilizar piedras grandes y sólidas, más o menos planas de la zona, como parte del material de construcción.

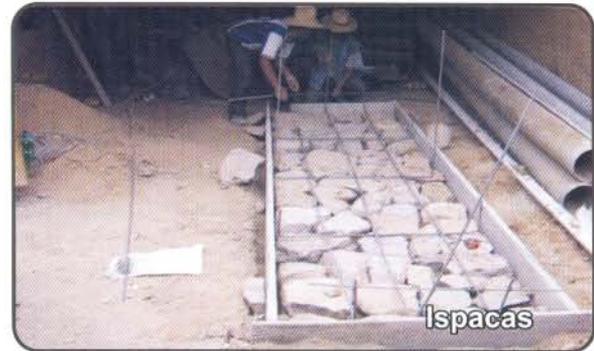
Para darle estabilidad a la base del tanque, y al fundamento de la retorta, se

utiliza concreto armado con fierro de construcción. Los fierros se doblan de tal manera, que permitan luego empotrarlos en las paredes del tanque y dar estabilidad también a las mismas. Construcción del tanque y del horno



Cerro Rico – Base Rey

Preparación de la base en un terreno plano utilizando piedras grandes de la zona



Ispacas

Armado del fundamento con fierro de construcción



Misky

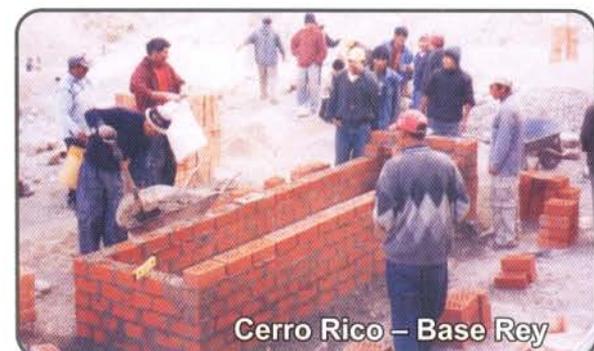
Armado del fundamento con fierro de construcción



Tulin

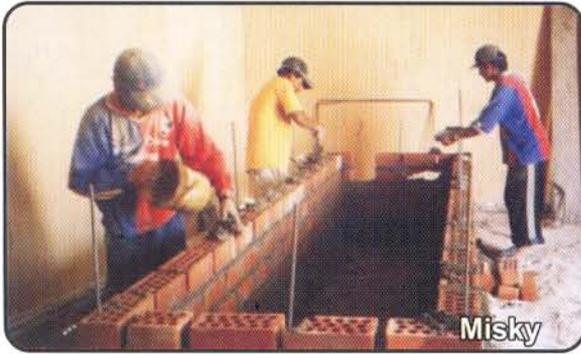
Base terminada

Una vez terminada la base, se comienza con la construcción de las paredes del tanque de agua. Simultáneamente se puede construir el horno. Ambas construcciones se realizan con ladrillos y cemento. Por supuesto es importante que los ladrillos sean de buena calidad. Al construir el tanque de agua, considerando que posteriormente será llenado con agua que por su peso ejercerá una fuerte presión en sus paredes, es importante empotrar en las paredes unos aros de fierro de construcción, amarrados con los fierros previamente empotrados en la base.



Cerro Rico – Base Rey

Construcción del tanque



Construcción del tanque – se nota los fierros vericales que unen las paredes con la base

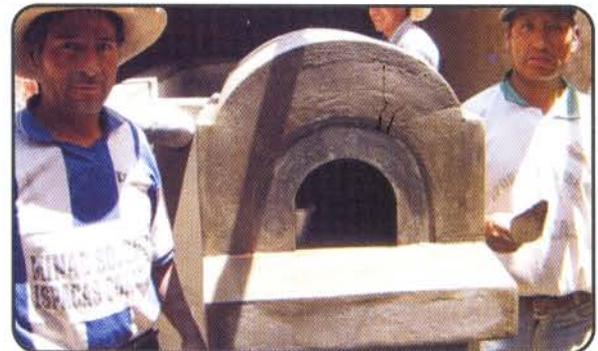


Construcción del tanque – se nota los aros de fierro empotrados para reforzar las paredes del tanque

Para la construcción del horno se ha observado diferentes diseños implementados en diversos lugares. Estos diseños en la mayoría de los casos, no tienen mucho que ver con la funcionalidad de la Retorta comunal, sino aspiran a darle un aspecto estético de acuerdo al gusto de los usuarios y de esta forma incentivar el uso de la Retorta comunal.



Cerro Rico – Base Central



Ispacas

Una funcionalidad diferente se implementó en el caso de la Retorta comunal de Misky, considerando el gran número de mineros artesanales en la zona y su consecuente requerimiento para realizar simultáneamente el refogado por dos usuarios. Para tal efecto se ha equipado la retorta con doble horno, aumentando a la vez su capacidad de enfriamiento de gases, mediante un mayor número de tubos de refrigeración.



Construcción del horno

Ejemplo: Cerro Rico – Base Central

“Los trabajos se realizaron entre los días 04 al 09 de Febrero del 2005, cumpliéndose con todos los objetivos trazados y siguiendo con el plan de trabajo. Los trabajos se realizaron en coordinación con la comisión para la construcción de la retorta y así también con el presidente de ASMACER, Sr. Francés Ayala. Las recomendaciones realizadas a la comisión y ASMACER al concluir con esta etapa del trabajo, fueron el cuidado del tanque de enfriamiento, mojándola permanentemente durante cuatro días seguidos, para un mejor fraguado del cemento y también

5.1.2 Acabado

Hay que darle especial atención al acabado interior del tanque de agua, ya que el mismo debe ser completamente hermético y no permitir fugas de agua. Para tal efecto se le da un acabado con cemento pulido.

Nota. En algunos casos también se revistió el exterior del tanque, para darle un mejor aspecto, pintándolo luego. En otros casos se dejó el exterior del tanque con ladrillo visible.



Cerro Rico
Base Rey

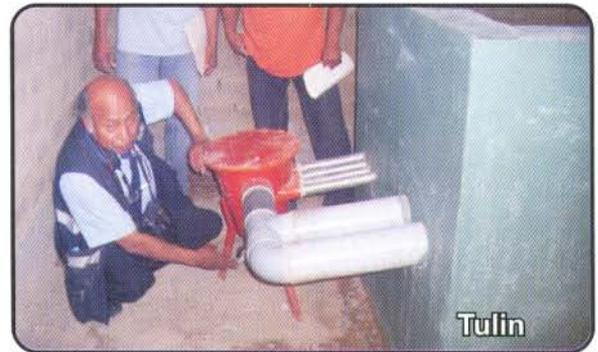
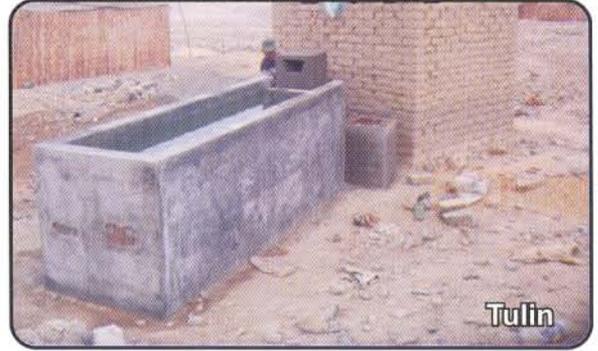
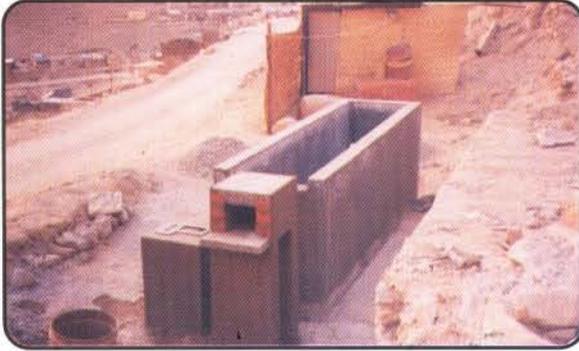
cobertura provisoria con esteras para mitigar el impacto de los rayos solares que podrían perjudicar el acabado.”

(Fuente: informe de consultores GyR).

Ejemplo: Misky

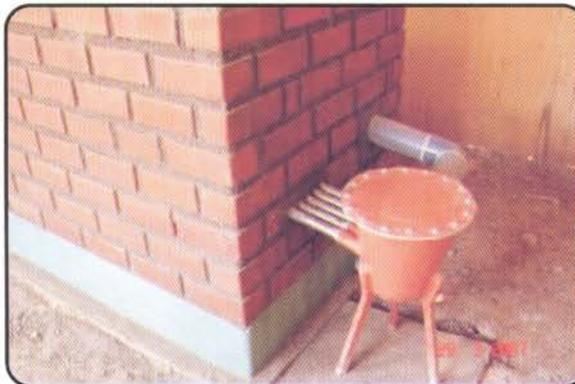
“Los trabajos de construcción de la retorta se realizaron en 8 días (sin instalación de tuberías), se iniciaron con la demarcación y formación de la base estructural de la retorta. Se armó con fierros de 3/8”Ø, una base estructural tanto en el plano vertical así como en el horizontal. Seguidamente se empezó al levantamiento de los muros del tanque de agua, utilizando ladrillos y cemento, hasta una altura de 1.20 metros. A partir de los 20 cm. de muro, se puso unos aros de fierro 1/8”Ø que se amarran con fierros de 3/8”Ø que rodearon todo el perímetro con la finalidad de darle mayor estabilidad ante la previsible presión del agua. Posteriormente se construyó la cámara de quemado con dimensiones exteriores de 65cm de largo x 45cm de ancho y una altura de 32cm y luego las bases del motor / ventilador, con una dimensión de 60cm x 60cm y una altura de 90cm, con una columna interna de concreto armado con fierros de 3/8”Ø, para darle mayor solidez y estabilidad.”

(Fuente: informe de consultores GyR)



Una vez instalada la tubería y bien fraguado todo el cemento, se puede proceder a llenar el tanque con agua, para verificar que no haya fugas. Para esto se deja el agua en el tanque por varios días, a fin de poder detectar inclusive, pequeñas trazas de humedad en las paredes, que son indicios de posibles fisuras en las paredes.

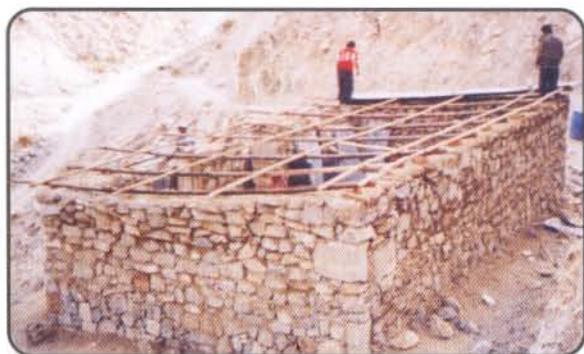
Si no hay fugas de agua, el mismo ya puede quedar en el tanque; si se presentan fugas hay que vaciar el tanque, revisar las partes donde se presentan las fugas y reparar el revestimiento. Es importante realizar esta comprobación



antes de poner la Retorta comunal en operación, ya que una pequeña fuga de agua pronto deteriorará el tanque y será necesaria una reparación mayor, causando una prolongada interrupción de los servicios.

5.1.3 Local

Los últimos pasos que ahora quedan, son la instalación del motor y del ventilador. Por el valor que representan estos equipos y su protección contra robo y deterioro por las condiciones climáticas, se debe ahora finalizar el local alrededor de la Retorta comunal.



Cerro Rico – Base Rey

Ejemplo: Cerro Rico – Base Rey:

El local de la retorta fue construido y terminado el día 19 de marzo del 2005, con materiales de la zona (piedras y barro). Estuvo a cargo de la comisión para la construcción de la retorta y dirigida por el presidente de ASTRAMINA Sr. Lázaro Yauricasa Ramos, mediante faenas de trabajo obligatorias según sus estatutos, hasta la conclusión y techado. El techado consiste de palos y calaminas, dos ellas transparentes: una a la altura de la cámara de quemado y la otra a la altura del recipiente de recolección, para darle mayor iluminación y visión. Presenta dos ventanas y una puerta con marco de madera, cubierta con planchas de cilindros vacíos en los que se comercializa carburo (cuñetes) y clavos para calaminas, asegurados por dos candados para darle seguridad al local de la retorta. A un costado del local de la retorta se construyó una choza para el vigilante de turno, para darles seguridad y protección a los equipos.

5.1.4 Ventilador y motor

Durante el tiempo de construcción de la albañilería de la retorta ya se tenía tiempo suficiente para mandar confeccionar el ventilador y se acople a un motor según las características descritas en el capítulo anterior.

El último paso de la construcción es la instalación del ventilador y su respectivo motor. Adicionalmente se coloca en la salida del ventilador un tubo de PVC que cumple la función de chimenea, y en caso de utilizar un motor de combustión interna, una extensión del tubo de escape hacia fuera del local. La chimenea tiene la función de evitar que los operadores al interior del local puedan inhalar aire contaminado con mercurio, cuyas trazas podrían estar presentes en los gases limpiados. La extensión del tubo de escape del motor tiene la obvia y similar función de evitar que los operadores se envenenen con el monóxido de carbono que el motor produce.



Cerro Rico – Base Rey

5.1.5 Pruebas de funcionamiento

El paso final son las pruebas de funcionamiento y la calibración de la velocidad del motor.

Primero para calibrar bien el motor, se debe realizar pruebas "en vacío", es decir sin realizar refogado de amalgama.

Recuerda: ¡La mejor recuperación se da si el gas fluye lo más lentamente posible por el equipo, dándole al mercurio suficiente tiempo para condensarse en las paredes de los tubos! A la vez, el equipo es seguro para los operadores si en la puerta del horno se da un flujo de aire suficiente para absorber todo el gas hacia el interior del equipo evitando cualquier fuga de mercurio.

La velocidad óptima recomendada para el flujo de aire en la puerta del horno es de 50 cm/s. No obstante, sin instrumentos sofisticados esto es difícil de medir. En la práctica estas mediciones pueden sustituirse realizándolas durante las "pruebas en vacío" quemando sustancias que producen humo y reducir las revoluciones del motor hasta observar la salida de humo o el apagado de la llama del

soplete por falta de oxígeno dentro del horno. Al haber determinado esta velocidad de revolución del ventilador, se le debe acelerar un poquito más, hasta que el funcionamiento vuelva a lo normal. Esta velocidad se debe marcar en el motor y dejarlo calibrado para que siempre funcione a estas revoluciones.

En el caso de motores eléctricos la calibración es más difícil, ya que giran a una velocidad constante que no se puede calibrar. Se supone que al momento de la construcción ya se ha escogido un reductor de velocidad y/o un sistema de transmisión adecuado, para darle al ventilador una revolución aproximada de 0.5 m/s (o algo más, ya que las tuberías y toda la retorta producen una resistencia y frenan el flujo de aire). La calibración se puede realizar reduciendo el flujo de aire probando tapas con diferentes diámetros de abertura en el extremo de la chimenea. Encontrando así también el diámetro óptimo de salida para que la retorta no se "ahogue" (es decir comienza a producir salida de humo o apagado del soplete dentro del horno), se escoge el siguiente diámetro mayor de la tubería, con el que la retorta funciona bien.



Prueba de funcionamiento del motor, realizado por los mineros elegidos para la administración de la retorta.

Una vez, que se considera haber llegado a una buena calibración de la retorta, apagando repetidas veces el motor y prendiéndolo de nuevo, observando que en cada ciclo el motor y por ende la velocidad de succión vuelvan a lo mismo.

Si en cada prueba se da una suficiente, pero no excesiva succión, la retorta está bien calibrada y lista para ser utilizada.

A partir del primer refogado con amalgama se debe comenzar con el registro de recuperación del mercurio.

5.2 Análisis de costos de la construcción

En el anexo se muestra – como ejemplos de implementación – el detalle de costos de la Retorta comunal, agrupados por rubros, de dos casos recientes de implementación en el Sur Medio del Perú.

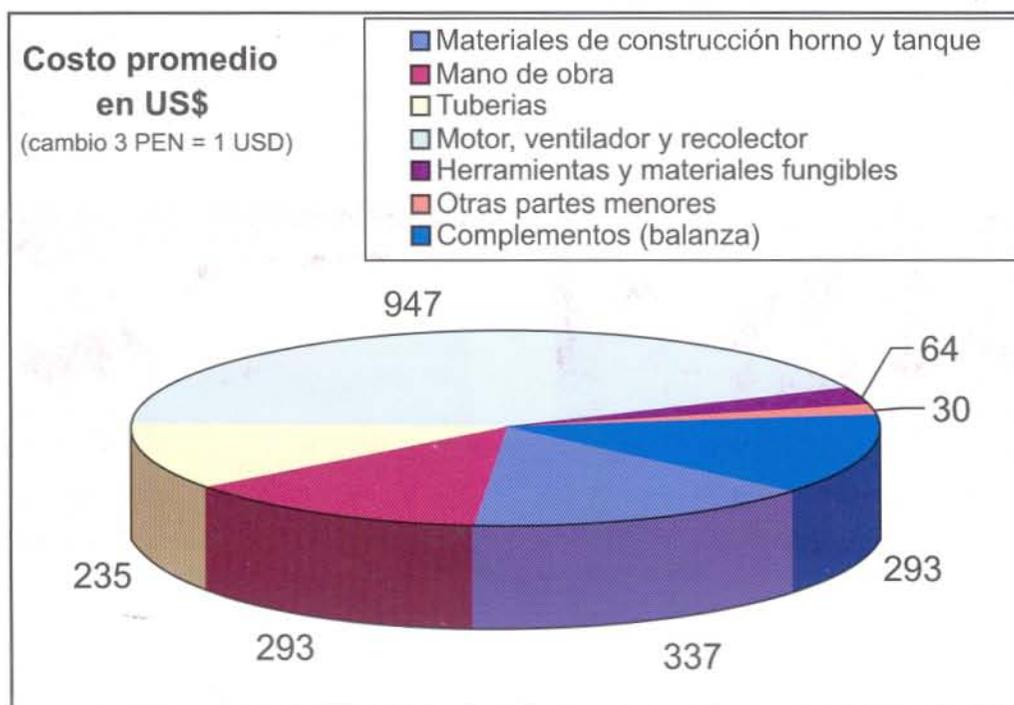
Del resumen en el gráfico de líneas abajo, se puede apreciar, a primera vista, que los ítems más fuertes (con US\$ 947) son

todos los componentes que se tiene que adquirir terminados o mandarlos a fabricar en talleres metal-mecánicas, como son el motor y el extractor, así como la tasa de recolección de mercurio si se opta por una construcción duradera.

Otro rubro fuerte (con US\$ 235) son los tubos de acero inoxidable, que son imprescindibles para garantizar la calidad del mercurio recuperado, apto para su reciclaje.

El costo de mano de obra, que es principalmente el costo del albañil (aprox. US\$ 300) puede ser fácilmente sustituido mediante faenas comunitarias.

El principal rubro típico del modelo de la Retorta comunal es el de los materiales de construcción (US\$ 337 para ladrillos, cemento, aditivos, etc.). Comparando este rubro con el de las piezas mecánicas para las que se requiere talleres especializados. La construcción con materiales de construcción, resulta más económica que si se fabricaría toda la retorta de metal.



La distribución de costos en el gráfico, cuyo detalle se presenta al final de los anexos, también incluye el costo de una balanza electrónica con exactitud de 0.01 gramos. En todas las instalaciones auspiciadas por el proyecto GAMA se ha proporcionado a los operadores una balanza como parte del inventario de la Retorta comunal. Aparte de ser necesario para la determinación de la recuperación de mercurio, esta balanza permite a los mineros pesar su oro y ponerlos en ventaja ante posibles intentos de engaño en el peso por parte de acopiadores de oro.

El costo total de la implementación completa de una Retorta comunal - considerando que se realiza la construcción por parte de la comunidad misma, sin considerar una opcional dirección técnica por parte de profesionales, asciende a aproximadamente US\$ 2,000. Este monto incluye la balanza electrónica. No incluye el costo de la edificación para su funcionamiento.

5.3 Organización comunitaria

Con buena razón en el año 2000 este modelo de retorta de circuito abierto ha sido bautizado como Retorta comunal.

El esfuerzo y el costo de instalación superan la capacidad de un minero individual o inclusive de un pequeño grupo de mineros artesanales. Asimismo, el hecho que el equipo ocupa toda una casa, indica que debe ser considerada una instalación al servicio de toda la comunidad minera.

También desde el punto de vista económico es altamente recomendable que la Retorta comunal sea utilizada por la mayor cantidad de usuarios posibles. Mientras el costo de operación que es principalmente el costo de energía, con un pequeño motor eléctrico o de combustión interna, es muy bajo; el valor del mercurio recuperado aumenta en proporción directa con su cantidad. Más usuarios = más mercurio recuperado.

La organización comunitaria es por tanto, el

elemento clave de la Retorta comunal.

Debido a que el refogado de la amalgama en la Retorta comunal no significa ningún cambio tecnológico del proceso de refogado mismo, y el producto oro sale con las mismas características a las cuales mineros y compradores están acostumbrados, no existen obstáculos de aceptación.

El único cambio que requiere la Retorta comunal, es la disciplina de los usuarios de acercarse al local de la Retorta comunal para realizar ahí el refogado. Este esfuerzo "extra" – según la experiencia de GAMA – puede por lo general ser "recompensado" por el beneficio "extra" de poder ahí pesar el oro en una balanza electrónica de alta precisión; conocimiento que se traduce en una directa ventaja económica al momento de vender el oro al acopiador.

No obstante "alguien" tiene que ser "dueño" de la Retorta comunal, y hacerse cargo de su mantenimiento y cuidado de los equipos, así como facilitar el libre acceso de los usuarios al equipo. Además "alguien" tiene que promocionar el uso de la Retorta comunal, una vez que esté construida y operando. Y finalmente "alguien" tiene que ejercer cierta presión social para imponer la disciplina y la obligación de realizar el refogado exclusivamente en la Retorta comunal.

La experiencia ha mostrado, que la propia idiosincrasia en las comunidades, impide en la mayoría de las veces, que una Retorta comunal sea operada por una persona individual, ya que se sospecha sus motivos de beneficiarse con el mercurio recuperado. Asimismo, si la Retorta comunal es operada por un grupo de personas, por ejemplo por una asociación productiva o empresa de mineros artesanales, la rivalidad entre grupos también crea resistencia de personas que no pertenecen al grupo, para utilizar la Retorta comunal.

Los mejores resultados se han obtenido en los casos que una organización comunitaria que aglomera toda la población, y que actúa "sin fines de lucro", en beneficio de la misma población local, opera la Retorta comunal. A través de la venta del mercurio recuperado, se cubren los costos de operación, y la utilidad puede ser invertida en actividades comunales o inversiones sociales.

Otras opciones viables son la operación y puesta al servicio de la comunidad de una Retorta comunal por parte del gobierno local. Esto por supuesto requiere, que el gobierno local sea debidamente respetada por la población – lo cual depende mucho de su actuación en general y varía de sitio a sitio. Si el gobierno local está bien respetado, tiene además de la presión social voluntaria, las herramientas de ordenanzas municipales para hacer el uso obligatorio de la Retorta comunal, para todos.

5.4 Experiencias con el uso de las retortas comunales

A la fecha se han instalado en el denominado "Sur Medio", 15 retortas comunales, si bien es cierto con distintos resultados en cuanto a continuidad operativa; en términos generales se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Tienen una mayor aceptación entre los mineros artesanales por cuanto son instalaciones que permiten el quemado de la amalgama en circuito abierto, ya sea por el propio productor o un operador supervisado por éste.
- El quemado en circuito abierto, con extractor que no permite la difusión de los vapores de mercurio al ambiente, posibilita por un lado, la visualización directa de la operación por parte del productor lo cual le otorga confianza y por otro lado ya no se producen las pátinas verduscas o marrones que de alguna manera afectaban sus posibilidades de comercialización;
- debido a que la compra-venta del oro "refogado" se realiza teniendo en cuenta su color que es indicativo práctico de la ley o "tenor" del oro.
- por otro lado ya no se producen las pátinas verduscas o marrones que de alguna manera afectaban sus posibilidades de comercialización; debido a que la compra-venta del oro "refogado" se realiza teniendo en cuenta su color que es indicativo práctico de la ley o "tenor" del oro.
- La descarga periódica del mercurio, de la tasa de recolección, permite una comprobación tangible de la recuperación de este elemento y por tanto constituye el soporte eficaz e irrefutable, de las múltiples campañas de sensibilización para el uso adecuado del mercurio utilizando retortas y que hubiera contaminado el ambiente y afectado directamente al operador, con las peligrosas consecuencias que eso conlleva.
- A lo señalado anteriormente se puede añadir ventajas de tipo económico, porque el mercurio recuperado con las retortas comunales actualmente instaladas; alcanza a unos 1,440 Kg/año. (pesados y reutilizados), que podrían ser el doble si se superara las limitaciones de gestión de algunas de las comunidades minero artesanales beneficiadas.
- En las condiciones actuales el valor bruto de los 1,440 Kg/año de mercurio recuperado, representa unos US\$ 70,000 al año, que frente a los aproximadamente US\$ 105,000 invertidos en la construcción de las 15 retortas determina un periodo corto de recuperación de la inversión económica, además de la ventaja ambiental que es lo más importante.
- De otro lado, los locales de las "retortas comunales" constituyen un punto de encuentro de los mineros artesanales, de identificación y empoderamiento con "su retorta", además de los beneficios tangibles tanto ambientales como económicos ya señalados.

6. Anexos

6.1 Aspectos teóricos de la Retorta comunal (La "formula" de la Retorta comunal)

La fórmula general que permite cuantificar y comparar cuantificativamente diferentes sistemas de retortas de circuito abierto, es una fórmula que también se utiliza para torres de refrigeración de vapores en centrales termoeléctricas y/o otras instalaciones industriales similares.

Llamemos – "condensadores"-- a estos equipos, por su función de enfriar gases y lograr la condensación de vapores.

La formula principal es.

$$E = (a * t) / v$$

- E...Coeficiente de enfriamiento
- a....Superficie de enfriamiento [m²]
- t....Tiempo de permanencia del vapor o gas en el condensador [seg]
- v....Volumen del condensador [m³]

De esta fórmula podemos apreciar:

- EL coeficiente E sube si hay mas superficie disponible para la condensación
- El coeficiente E sube si el vapor permanece más tiempo en el condensador y por tanto más tiempo para que los gases de mercurio se condensen (y no salir del equipo como vapor o neblina)
- El coeficiente E baja con mayor volumen, ya que con mayor volumen la distancia a superficies de enfriamiento se agranda.

Por tanto, el objetivo debe ser lograr que la relación a/v (superficie/volumen) sea lo más grande posible, y el tiempo de permanencia del gas en el equipo sea lo más largo posible.

6.1.1 Flujo de gas

Una primera preocupación en el diseño debe ser, que del equipo no salgan gases hacia el operador, y que por tanto la persona que realiza el refogado lo pueda hacer con toda seguridad para su salud.

Para asegurar que no hayan escapes de la Retorta comunal, que es un sistema abierto; se considera suficiente, según buenas prácticas de ingeniería, que en la entrada del gas, donde se encuentra el operador, se cuente con una velocidad mínima de succión de aire de 0.5 m/s.

La dimensión mínima de la abertura en el horno es por lo general de unos 20 cm de ancho y 15 cm de alto, para poder introducir el crisol y el soplete; es decir 0,03 m².

Así se requiere como mínimo un flujo de aire de:

$$0.03 \text{ m}^2 * 0.5 \text{ m/s} = 0,015 \text{ m}^3/\text{s} * 60 \text{ s/min} = 0.9 \text{ m}^3/\text{min} (= 15 \text{ lt/seg})$$

1 kg de gas propano requiere para su combustión alrededor de 7 m³ de aire. El consumo de propano de un soplete es de aproximadamente 10 g/min. Por tanto el requerimiento de aire para la combustión es de 0.07 m³/min, con lo cual los 0.9 m³/min son suficientes. Incluidos los gases de combustión, se puede partir de un flujo de gas de alrededor de 1 m³/min.

6.1.2 Concentración de mercurio

La evaporación de 100 g de mercurio liquido empleando un soplete, demora alrededor de 20 min. No se tiene datos sobre la duración de la quema de amalgama en función de su tamaño.

RETORTA COMUNAL

Así la concentración media de mercurio en el aire, durante la quema en un horno al interior del equipo, puede ser estimada en:

$$100\text{g} / 20\text{m}^3 = 5\text{g}/\text{m}^3$$

6.1.3 Temperatura

Debido a la mezcla del gas de combustión con aire fresco en una relación de 1:10, la temperatura del gas que sale del horno está en alrededor de 100C, es decir debajo de la temperatura de ebullición del mercurio de 379C. Por tanto, es inevitable una condensación espontánea, formándose una "neblina de mercurio" (vapor). Sin embargo, debido a la alta presión parcial del gas de mercurio, una parte considerable sigue en forma de gas y no en forma de vapor.

En la práctica se puede observar, en

muchos casos, perlitas de mercurio pegadas a la pared interior del horno o en su piso. De tal manera que a fin de evitar una evaporación lenta de este mercurio a temperatura del ambiente, y así una contaminación del local en que está instalada la Retorta comunal, es necesario limpiar periódicamente el horno y guardar todo el polvo recuperado en un recipiente bajo agua, acumulándose también ahí buena cantidad de mercurio.

6.1.4 Superficie de enfriamiento

Como hemos visto en la "fórmula principal", la eficiencia de la retorta aumenta con el incremento de la superficie de condensación.

Tubos de enfriamiento de un metro de largo de diferentes diámetros, tienen los siguientes coeficientes de enfriamiento:

Diámetro (1"=2.5cm)	superficie por m de tubo [cm ²]	volumen por m de tubo [cm ³]	tiempo de permanencia de 15 [lt/seg] en un metro	
d	$a = d \cdot \pi \cdot 100$	$V = (d/2)^2 \cdot \pi \cdot 100$	$t = V / 15$	$E = (a \cdot t) / V$
1 1/2"	1150 cm ²	1140 cm ³	0,08 seg	0,079
2"	1570 cm ²	1960 cm ³	0.13 seg	0.105
3"	2350 cm ²	4420 cm ³	0.29 seg	0.157
4"	3140 cm ²	7850 cm ³	0.52 seg	0.209

El aumento de la eficiencia de enfriamiento es directamente proporcional al largo (o al número) de tubos, como se puede ver en la fórmula, o se puede comprobar con un cálculo simple del Coeficiente E de un tubo de 2 m de largo

Diámetro (1"=2.5cm)	superficie por m de tubo [cm ²]	volumen por m de tubo [cm ³]	tiempo de permanencia de 15 [lt/seg] en un metro	
d	$a = d \cdot \pi \cdot 100$	$V = (d/2)^2 \cdot \pi \cdot 100$	$t = V / 15$	$E = (a \cdot t) / V$
2"	3140 cm ²	3925 cm ³	0.26 seg	0.209

El resultado del cálculo demuestra, que un tubo de 2 metros de longitud (o dos tubos paralelos de 1 m) de 2"Ø, tienen la misma capacidad de enfriamiento como un solo tubo de 4"Ø. La ventaja de un tubo de menor diámetro es que aumenta la posibilidad de que una partícula de mercurio choque contra una pared del tubo y se adhiera.

Aplicando un principio similar a lo que conocemos de los radiadores de autos (que consisten de muchos conductos finos para agrandar la superficie, resulta más eficiente usar varios tubos de pequeño diámetro en vez de un solo tubo de diámetro grande.

El diseño anterior mostrado como ejemplo, consiste de 4 tubos de acero inoxidable, de 2"Ø de 4 m de largo, para el enfriamiento y un tubo de retorno de 4"Ø de 4 m de largo de PVC, para ampliar la superficie de condensación.

Su coeficiente es por tanto:

$$(4 * 4 * 0.105) + (1 * 4 * 0.209) = 2.51$$

Una retorta cerrada por ejemplo, aunque tenga una superficie pequeña de refrigeración, tiene un alto grado de recuperación, debido a que el tiempo de contacto del gas con la superficie es prolongado, porque solamente se evapora el

gas de mercurio. Así una retorta con 0.5m de tubo de enfriamiento de 1/2"Ø y con un flujo de gas mercurio de 0.25 lt/seg (tiempo de contacto: 2 seg) tendrá un coeficiente de 6.5, lo cual, en parte, explica la mayor recuperación de los sistemas cerrados. No obstante, la mayoría de sistemas caseros que se puede encontrar, apenas llegan a un coeficiente de 1.0.

6.1.5 Conclusión para el diseño

La capacidad de enfriamiento puede ser caracterizada por el coeficiente de enfriamiento E:

- la capacidad de enfriamiento sube con un incremento de superficie
- la capacidad de enfriamiento sube con el tiempo de permanencia
- la capacidad de enfriamiento baja con el volumen (debido a un menor contacto con la superficie fría)

La superficie de enfriamiento, condensación y el tiempo de contacto con esta superficie se consideran claves para el grado de recuperación.

Así el objetivo es crear --en lo posible-- la mayor superficie de enfriamiento con el mayor tiempo posible de contacto.

6.2 Análisis de costo de instalación en 2 sitios

Retorta AMALE/ Tulin	Cant.	S/.	Retorta Ispacas	Cant.	S/.
Materiales de construccion horno y tanque					
Varillas de fierro de 1/4	6	45.00	Barillas de fierro corrugado 1/4	5	31.50
Varillas de fierro de 3/8	6	93.00	Barillas de fierro corrugado 3/8	5	69.00
Alambre	2 kg	9.00	Kilos de alambra 16	2	8.00
Ladrillos de 17 huecos	500	325.00	Ladrillos King kong 9x12x24	500 pzs	232.50
Bolsas de cemento	20	380.00	Bolsas de cemento	20	370.00
Cemento Refract 1000 c BBQ 5KG	1	10.50			
Sika 1 (4KGS)	2	32.00	Sika 1 (4KGS)	2	33.10
Sika 1 líquido	1	25.20	Sikaflex 11fc gris	2	43.00
Sikaflex 11fc gris	1	21.50	Sikaflex gris	1	14.90
Sikaflex 11fc blanco	1	21.50	Sikadur32 1KG	1	64.11
Sikadur32 1KG	2	65.00			
Sekito 1	1kg	7.00			
Acopio y Transporte de 2m3 Arena Gruesa		40.00			
Acopio y Transporte de 1m3 Arena Fina		30.00			
Acopio y Transporte de 1m3 Piedras de 10 pulgadas		30.00			
Acopio y Transporte de 1m3 Agua		20.00			
Subtotal		1154.70			866.11

RETORTA COMUNAL

Mano de obra

Pozo de refrigeración, horno de quemado, base de motor, extractor	880.00			
Subtotal	880.00			0.00

Tuberías

Tuberías con costura acero inoxidable C-304 1 5/8 x 24.40 mts.	520.71	Tuberías con costura acero inoxidable C-304 1 1/2" X 1 1/2" X 24.40 mts	461.60		
Tubos PVC de 4" clase 5	2	136.00	Tubos PVC de 4" clase 5	4	60.00
Codos de 4" PVC	4	28.00	Codos de 4" PVC	4	12.00
TEE de 4"	2	16.00	TEE de 4"	2	10.00
Tubo de 4"	1	15.00	Tubo de 4"		
Niple PVC 1" x 6"	1	2.30	Niple PVC 1" 1/2x 4"	1	5.50
Niple PVC 1" x 3"	1	1.50	Niple PVC 1" 1/2 x 6"	1	7.90
Valvula Bola Paso Total 1"	1	14.90	Pza PL 1/8	1	10.00
Teflon gas Shurtape amarillo	1	1.99	Pza Plancha 2/16 x 5" diametro	1	4.00
Sombrero Vent Desagur 4" NI	1	10.79	Grillete de seguridad para llave de paso 1/2"	1	17.85
Pegamento PVC 8 OZ dorado	2	17.80	Super bonder gel	1	9.81
1/2 Litro thinner		2.50	Pegadit epoxico rapido bi	1	6.50
Adhesivo Instantaneo Sikepega 3GR	3	4.20	Sellador CPP 1/4GL	1	7.00
Silicona Pegadit premium TR BL	1	4.99			
Pegamento PVC 8 OZ negro med	1	9.50			
Sellador CPP 1/4GL	1	13.80			
Subtotal	799.97		612.16		

Motor, ventilador y recolector

Motor estacionario G200 QAMD, motor n° 9247020, cha	1	1,100.00	Motor estacionario GX120T1 QH motor n° GCAAT - 138	1	960.00
Equipo centrifugo con pacetas reclinables de diametro	1	1,200.00	Extractor centrifugo con entrada lateral de 4" y salida de	1	1200.00
Tasa Recolectora de Mercurio en fibra de vidrio cubierto	1	600.00	Tasa Recolectora de Mercurio en fibra de vidrio cubierto	1	620.00
Subtotal		2900.00			2780.00

Herramientas y materiales fungibles

Lija fierro ASA GRAND 80	2	4.50	Lija fierro ASA GRAND 80	1	4.50
Brocha Tumi 1PG	1	3.50	Lente de protección SPY oscuro	1	17.98
Masking Tape Pegafan 3/4PX40YD	1	2.90	Lente de seguridad clar anti-s 3M	1	10.90
Pila Duracell AA*4	1	10.90	Extens 3M balon primus-AA0201	1	37.59
Pila Duracell AA*4	1	10.90	Empunadura simple jackwall	1	4.80
Aplicador de silicona amarillo	1	11.70	maskarilla desechable RL	1	4.80
Gas para obra (incluido envasa)		80.00	Casco Jockey Verde Estándar	1	5.90
Adaptador 2 a 3 toma usa negro	1	2.51	Quemador llama med/lar jackwal	1	22.99
Casco Jockey Verde Estándar	1	6.90			
Mascarilla desechable RL	3	9.00			
Llaves Allen pulg 7pz redline	1	9.98			
Lente de seguridad clar anti-s 3m	1	11.00			
Lente de protección SPY oscuro	1	8.98			
Supresor de Pico negro 1.20 mt.	1	10.90			
Blocha de 2 1/2	1	4.00			
Extens 3M balon primus-AA0201	1	37.59			
Espatula plas lizcal lisa 4"	1	3.50			
Quemador llama med/lar jackwal	1	22.99			
Empunadura simple jackwall	1	23.59			
Subtotal		275.34			109.46

Otras partes menores

Pint loza anypsa vde ten 1gl	1	36.00	Acople de tubo de escape x 2.5mts x 1.5 mm para mot	1	82.15
Waype Cardado	1	2.90		1	
Esmalte Esmaltek bayo 1/16gl	1	4.61		1	
Candado	1	5.00			
Puente de metal de 25x30cm x 1/8 espesor corte y soldadura de a		50.00			
Subtotal		98.51			82.15

Complementos (balanza)

Balanza electronica AND cap. 100g x 0.01g modelo HL	1	882.34	Balanza electronica AND cap. 100g x 0.01g modelo HL	1	876.98
Subtotal		882.34			876.98

Total	S/.	6990.86	S/.	5326.86
--------------	------------	----------------	------------	----------------

INDICE

1	Introducción y conceptos básicos	1
1.1	El proceso de amalgamación	1
1.2	La toxicidad del mercurio	1
1.3	La destilación y la retorta	2
2	Tipos de retortas	3
2.1	Retortas de circuito cerrado (retorta convencional)	3
2.2	Retorta de circuito abierto (hornos para la quema de amalgama / "retorta comunal")	4
2.2.1	Historia del desarrollo de la retorta comunal	6
2.2.2	Otros modelos de retortas de circuito abierto	9
2.3	Comparación de los dos diferentes conceptos	11
3	Elementos principales y funcionamiento de la retorta comunal	13
3.1	Camara de quemado	14
3.2	Tubos de enfriamiento y de retorno de gases	15
3.2.1	Tubos de enfriamiento	15
3.2.2	Tubos de retorno de gases	16
3.3	El tanque de enfriamiento	16
3.4	El recipiente de recolección de mercurio	16
3.5	Extractor de gases (ventilador)	17
3.6	Resumen del funcionamiento	18
4	Eficiencia de la retorta comunal	19
4.1	Medición de eficiencia de retortas de circuito cerrado	19
4.2	Medición de eficiencia de retortas de circuito abierto	19
5	Implementación de la retorta comunal	20
5.1	Construcción de la retorta comunal paso a paso	20
5.1.1	Ubicación	20
5.1.2	Acabado	24
5.1.3	Local	25
5.1.4	Ventilador y motor	26
5.1.5	Pruebas de funcionamiento	27
5.2	Análisis de costos de la construcción	28
5.3	Organización comunitaria	29
5.4	Experiencias con el uso de las retortas comunales	30
6	Anexos	31
6.1	Aspectos teóricos de la Retorta comunal (La formula de la retorta comunal)	31
6.1.1	Flujo de gas	31
6.1.2	Concentración de mercurio	31
6.1.3	Temperatura	32
6.1.4	Superficie de enfriamiento	32
6.1.5	Conclusión para el diseño	33
6.2	Análisis de costo de instalación en 2 sitios	33

