



Protocolo para la Implementación de Placas de Cobre

Agradecimientos

Este documento fue elaborado por:

Alfonso Rolando Rodríguez Pinilla | Pure Earth

Lizeth Olaya Zambrano | Pure Earth Colombia

Angie Tatiana Ortega Ramírez | Pure Earth Colombia

Diego Fernando Marín Maldonado | Pure Earth Colombia

Laura Andrea Vera Álvarez | Pure Earth Colombia

Las siguientes personas revisaron y proporcionaron comentarios sobre el documento, y se agradecen profundamente sus contribuciones:

Marcello Veiga | Universidad de Columbia Británica

Dr. Luis Sobral | Centro de Tecnología Minera CETEM/MCTI

Descargo de responsabilidad

Este protocolo está diseñado para su uso en proyectos específicos y puede no ser aplicable de manera universal. Debe adaptarse o modificarse únicamente con la orientación de expertos relevantes para garantizar que satisfaga las necesidades únicas de cada proyecto. Los creadores de este protocolo no asumen responsabilidad alguna por su uso indebido o por cualquier resultado derivado de su aplicación fuera del alcance previsto.

Tabla de contenido

1. Generalidades	4
1.1. Propósito	4
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Alcance	5
2. Desarrollo de la tecnología de las placas de cobre (placas de amalgamación)	6
2.1. Materiales requeridos	6
2.2. Procedimiento de plateado	6
3. Consideraciones generales del proceso.....	10
3.1. Esquemas de posicionamiento de placas.....	10
3.1.1. Módulo tipo canalón.....	10
3.1.2. Módulo tipo cascada.....	11
3.2. Caracterización de relaves	11
4. Montajes de proceso	12
4.1. Montaje de placas en planta de beneficio.....	13
4.2. Montaje de placas en sitios aislados.....	13
4.2.1. Adaptación del espacio físico.....	14
4.2.2. Instalación del montaje	15
4.2.3. Operación del montaje.....	16
5. Consideraciones finales	17
5.1. Análisis de remoción de mercurio	17
5.1.1. Muestreo de relaves	17
5.1.2. Cálculo de porcentaje de remoción.....	18
5.2. Disposición final	19
5.2.1. Residuos de placas de cobre	19
5.2.2. Gestión de relaves procesados	20

1. Generalidades

1.1. Propósito

El uso de las placas de cobre plateadas es una alternativa que busca contribuir a reducir la contaminación con mercurio presente en los relaves o colas mineras generadas por la Minería Artesanal o de Pequeña Escala de Oro (MAPE), los cuales muchas veces están esparcidos en el ambiente causando afectación a las comunidades expuestas. Por ende, esta alternativa contribuye a aquellos gobiernos que están alineados a lo establecido en el Convenio de Minamata.

1.2. Antecedentes

Es importante mencionar que el uso de este tipo de placas en la minería no es nuevo; existe evidencia de su uso desde hace muchos años y en forma ancestral, acompañado de mercurio (cuando estaba permitido su uso), para la captación del oro libre en el material minero. Sin embargo, teniendo en cuenta la problemática ambiental actual que se ha generado por la presencia de mercurio libre en el ambiente a causa de estos relaves, esta tecnología se torna nuevamente en una opción pero con un principio diferente, no para la captación de Oro (Au), sino para la captación de Mercurio (Hg).

Teniendo en cuenta la problemática de los relaves contaminados, especialmente en países como Colombia, Pure Earth ha venido trabajando bajo diversos proyectos financiados por el Departamento de Estado de los Estados Unidos (DoS -US), el Programa planetGOLD en cabeza de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Conservation X Lab y el gobierno de Colombia, para adaptar y optimizar la técnica de las placas de cobre recubiertas de plata, con el objetivo de capturar el mercurio elemental presente en los relaves, acumulándolo en las placas y evitando así su propagación en el medio ambiente.

En el desarrollo de las pruebas piloto del proyecto DoS -US, desde el año 2018 a la fecha se han procesado más de 200 toneladas de relave, evaluando diferentes variables de operación para la optimización de la tecnología, las cuales van encaminadas siempre a la mejora del diseño del módulo de placas y la calidad del proceso de electroplateado. Estas pruebas piloto han arrojado resultados importantes a nivel de recuperación de mercurio llegando a rangos entre el 50-84%, dependiendo de factores como la edad del relave, su composición química y diferentes condiciones de operación en los prototipos utilizados.

Por otra parte, gracias al apoyo de fondos del GEF a través del programa planetGOLD, entre los años 2020 y 2022 se lograron caracterizar 140 relaves, entre los cuales se ubicaron aquellos que poseen las más altas concentraciones de mercurio en 11 departamentos de Colombia. Teniendo en cuenta esta distribución y el difícil acceso de algunos relaves, un avance más se da gracias al “Gran Reto de la Minería Artesanal: la Amazonía” financiado por Conservation X Labs. Dentro de esta participación Pure Earth desarrolló una mejora adicional al módulo de placas trabajado anteriormente, enfocándose en un módulo de fácil implementación y que fuera lo más autónomo posible para poder trasladarlo a este tipo de sitios.

1.3. Alcance

Después de llevar a cabo una exhaustiva revisión técnica y pruebas piloto, Pure Earth, junto con el apoyo del ingeniero Marcello Veiga (quien ha realizado varios estudios (Veiga, 2006) sobre las placas de cobre para la remoción de mercurio en la minería a pequeña escala), ha identificado esta técnica como un medio viable y de bajo coste para recuperar el mercurio de los relaves.

Pure Earth plantea una tecnología que consiste en la preparación de placas de cobre con una película de plata, la cual por sus afinidades químicas tiene la posibilidad de retener la mayor cantidad de mercurio elemental presente en los relaves contaminados. Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen limitantes en la tecnología, como por ejemplo que no está enfocada a la captación de mercurio orgánico ni tampoco a la de mercurio inorgánico; por otro lado, es posible que pequeñas concentraciones de oro libre queden atrapadas en el proceso de captación del mercurio, pero según las pruebas realizadas los porcentajes de variación no superan el 2% de pérdida del oro aún presente en el relave.

2. Desarrollo de la tecnología de las placas de cobre (placas de amalgamación)

La tecnología consiste en el uso de placas de Cobre (Cu) recubiertas con Plata (Ag), y su principio corresponde a la captura de mercurio elemental que se adhiere a las placas gracias a la afinidad que tiene la plata por el mercurio. Estos dos últimos elementos son metales de transición y tienen la característica y la capacidad de formar aleaciones entre ellos, lo que hace posible la captura.

2.1. Materiales requeridos

Para poder hacer la preparación de las placas de cobre es necesario disponer de los reactivos y materiales listados en la **Tabla 1**, teniendo en cuenta que las cantidades presentadas de reactivos son las requeridas para un set de 4 placas.

Tabla 1. Materiales y reactivos para la electrodeposición de plata en cuatro placas de cobre. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

Material	Cantidad
Ácido nítrico (HNO ₃)	300 ml
Nitrato de plata (AgNO ₃)	30 g
Cianuro de potasio (KCN) / Cianuro de sodio (NaCN)	29.5 g
Agua destilada	12 L
Celda de vidrio (35x10x35 cm)	2
Lámina de acero inoxidable tipo 430 calibre 0.9 mm 30x30 cm	2
Agitador de vidrio	2
Papel filtro (caja)	1
Soporte universal	2
Beaker de vidrio 600 ml	4
Beaker de vidrio 1 L	2
Probeta graduada 1 L	1
Espátula	1
Balanza analítica	1
Fuente de poder 12V 30A	1

2.2. Procedimiento de plateado

Las placas requieren una preparación previa antes de su uso. Se sugiere que cada placa tenga unas dimensiones 30 cm x 30 cm x 2 mm, aunque el grosor puede disminuirse hasta 1.5 mm por disponibilidad de proveedores de la lámina de cobre o reducción de costos. Cabe anotar que utilizar un espesor menor de 1.5 mm podría representar una desventaja en el uso de la placa debido a su poca resistencia a la acción mecánica del relave. Un grosor de mas de 2 mm puede dificultad la manipulación de las placas por su peso.

En la Figura 1 se describe la ruta para la preparación de un paquete de 4 placas de cobre. Para cada paso con una letra entre paréntesis se puede encontrar una imagen correspondiente del paso en la Figura 2.



Figura 1. Procedimiento para la preparación de una placa de cobre. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

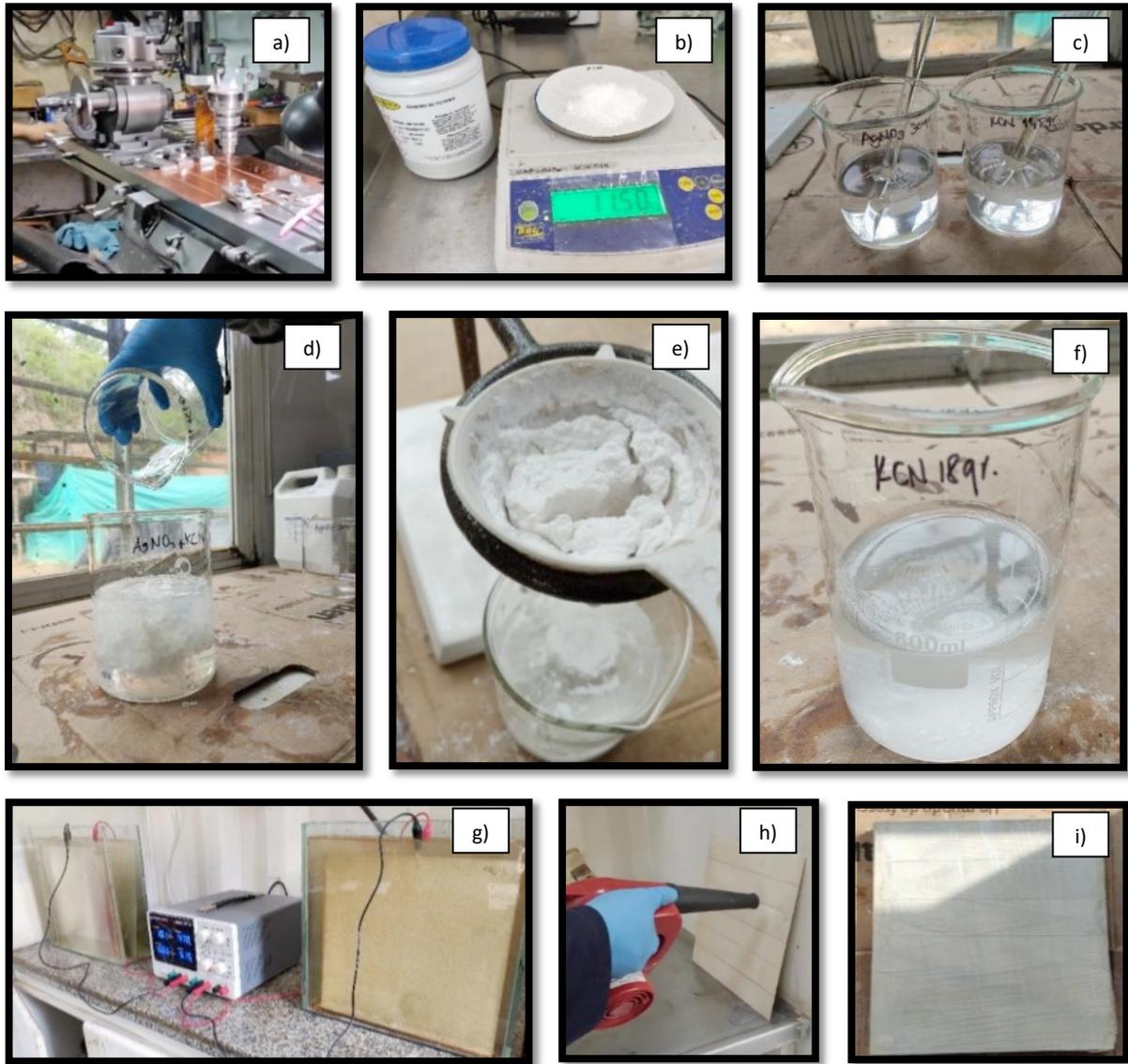


Figura 2. Ruta de preparación de las placas de cobre para la electrodeposición de plata. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

3. Consideraciones generales del proceso

Para el procesamiento de relaves contaminados con mercurio, es necesario realizar un posicionamiento de las placas en forma adecuada de acuerdo con un análisis de visita en campo en el área a tratar. Sin embargo, se han desarrollado una serie de esquemas de posicionamiento que se mostrarán a continuación.

3.1. Esquemas de posicionamiento de placas

Las placas de cobre pueden ponerse en dos diferentes tipos de módulos: canalones y de cascada. A continuación, se explica el mecanismo de acción de cada uno de ellos.

3.1.1. Módulo tipo canalón

Los módulos tipo canalón consisten en dos filas de placas dispuestas a lo largo de una superficie plana, este soporte usualmente es de madera, pero se pueden utilizar otro tipo de materiales más resistentes. Es importante instalar la superficie con un ángulo de inclinación de al menos 15° para que el relave se desplace con ayuda de la gravedad. Con el fin de lograr cierto grado de turbulencia en el flujo, se recomienda instalar una malla metálica sobre las placas, lo que permitirá un mejor contacto del mercurio con la placa y un mayor tiempo de residencia.

A continuación, en la Figura 3 se observa el módulo de canalón con las placas montadas listas para el procesamiento.

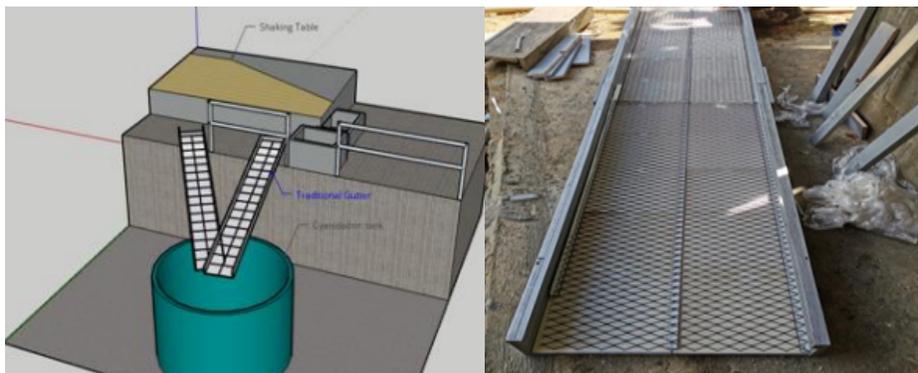


Figura 3. Módulo de canalón **Fuente:** Pure Earth, 2023.

No hay una longitud establecida para los módulos de canalón, ya que depende de la distancia entre los equipos en planta. No obstante, en las pruebas pilotos

desarrolladas se utilizó un total de 30 placas de cobre distribuidas en 2 filas, es decir 15 placas por cada fila utilizada como se observa en la **Figura 3**.

Una de las limitantes de este tipo de módulo corresponde al tiempo requerido para el cambio de nuevas placas durante el proceso, ya que se debe hacer desinstalación de la malla.

3.1.2. Módulo tipo cascada

Este tipo de posicionamiento trabaja con las placas inclinadas dispuestas a cierta altura, permitiendo que exista un choque del relave con la placa en cada uno de los pisos del módulo. En la Figura 4 se muestra un esquema del módulo tipo cascada.

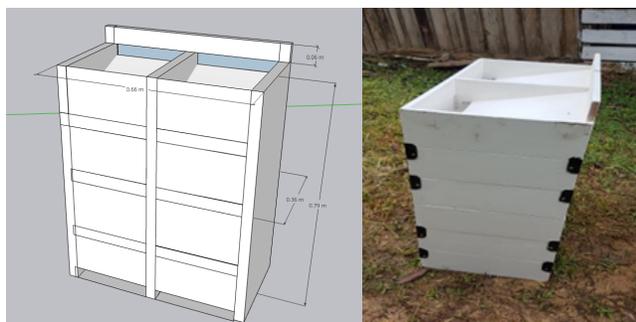


Figura 4. Módulo tipo cascada. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

El tipo de módulo como se muestra en la Figura 4 ha presentado mejores rendimientos que los de tipo canalón debido a que con el choque entre el relave contaminado y la placa de cobre se evidencian gotas de mercurio que quedan amalgamadas en la placa.

Los prototipos desarrollados corresponden a secciones rectangulares para el posicionamiento de 2 placas de cobre, lo que permite que se puedan procesar relaves con un flujo mucho más alto que el de tipo canalón. En este tipo de posicionamiento se pueden unir tantas secciones como se requieran, sin embargo, dentro las pruebas realizadas se han puesto 6 secciones para un total de 12 placas (Ver Figura 4).

La implementación del módulo de cascada o canalón depende principalmente de las instalaciones físicas y de la cantidad de relave a procesar, sin embargo cantidades pequeñas (hasta 1 toneladas o menos) se recomienda el módulo de cascada para mejor eficiencia y para grandes cantidades se recomienda el módulo de canalón.

3.2. Caracterización de relaves

Es recomendable realizar una caracterización previa de los relaves a procesar, por ejemplo, es importante identificar la textura de la roca que se va a someter al proceso: arena, limo o arcilla; esto permite definir las condiciones de flujo y tiempos de proceso. Para ello, se propone el uso del método de tacto¹ para la determinación de la textura del suelo (Wolf, Carson, & Parrish, 1979). A partir de dicho método, se recogen los datos que aparecen en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resultados del método del tacto para la determinación de la textura del suelo. Fuente: Pure Earth, 2023.

Muestra		Características (Sí o No)			Longitud de la cinta (cm)	Nombre de la clase de textura
		Arenoso	Suave	Pegajoso		
0-15cm / 15-30cm	Nombre relave	SI/NO	SI/NO	SI/NO		

La importancia de identificar la textura del suelo que se va a procesar se relaciona principalmente con el tipo de esquema en sitios remotos; entre más arenoso sea, menor esfuerzo requerirá para la agitación, y en el caso contrario, cuando se tiene un suelo arcilloso se requerirá un mayor esfuerzo de agitación.

4. Montajes de proceso

Se proponen dos tipos de montaje para desarrollar los procesos con las placas de cobre, (i) adaptación a una planta de beneficio o (ii) configuración aislada en sitios remotos. Cada uno de ellos dependerá del tipo de condiciones en las que se encuentre el terreno frente a la accesibilidad. A continuación, se muestran algunas generalidades para su aplicación en planta y en campo.

¹ Para un mayor detalle sobre el método del tacto, remítase al siguiente documento dando clic sobre el siguiente [hipervínculo](#).

4.1. Montaje de placas en planta de beneficio

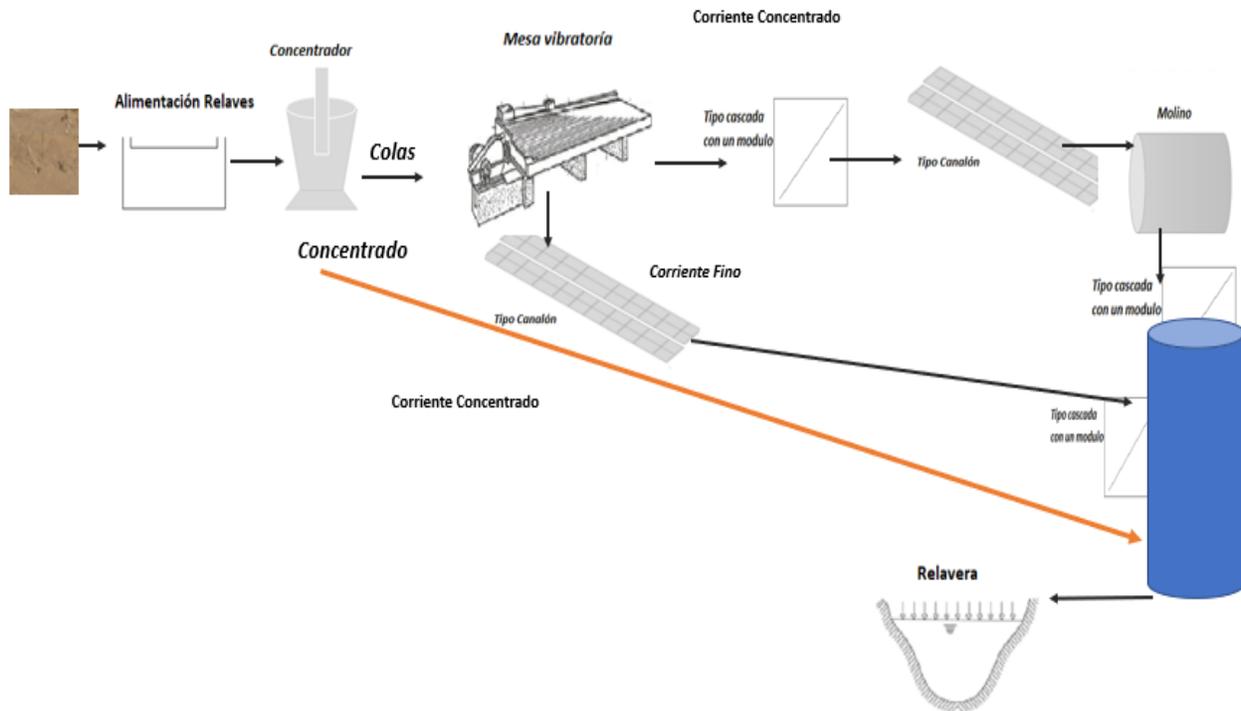


Figura 5. Ejemplo de montaje de placas en plantas de beneficio. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

El arreglo de la **Figura 5** es simplemente un ejemplo, pero se propone a manera de recomendación. Se debe hacer una evaluación previa de la ubicación de los equipos para identificar cuáles son los módulos más apropiados para poner antes y después de cada equipo, sean molinos, mesas vibratorias, entre otros.

Se recomienda llevar a cabo en lo posible este tipo de procesamientos para la descontaminación de mercurio en relaves mineros en plantas de beneficio, ya que puede trabajar con cualquier tipo de suelo sin importar si presenta una textura arcillosa o grandes diámetros de partícula, y puede manejar mayores cantidades de material procesado al día. No obstante, si no es posible adaptar las condiciones de una planta de beneficio para ello, a continuación, se presenta el prototipo propuesto para sitios aislados.

4.2. Montaje de placas en sitios aislados

El prototipo se basa en la circulación de la pulpa de relave, es decir, relave suspendido en agua en una relación 1:6. La pulpa es impulsada del primer tanque con capacidad de 2 m³ por medio de una bomba de 0.67 hp, mientras es agitada en el fondo con una bomba de 1 hp, con el fin de evitar la decantación en el fondo del tanque. La pulpa se

recircula a otro tanque con la misma capacidad (2 m^3). A estas condiciones se tratan aproximadamente 300 kg al día.

El relave contaminado fluye sobre las placas de cobre, las cuales se instalan en el módulo tipo cascada, en medio de los dos tanques. El diseño se expone en la **Figura 6**:

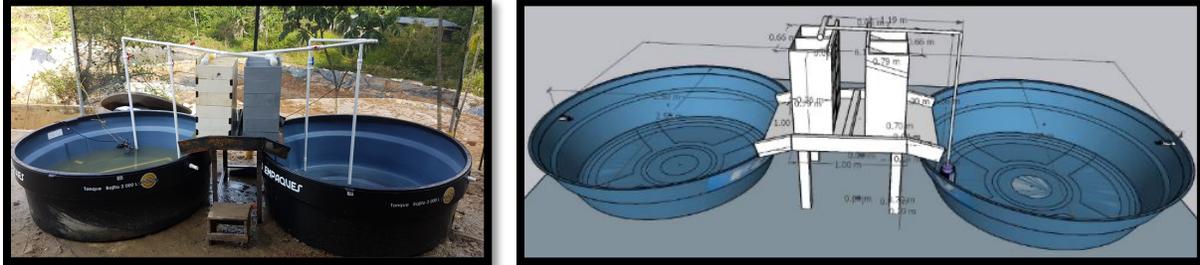


Figura 6. Montaje de placas de cobre en sitios aislados. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

De acuerdo con la **Figura 6**, se observa que es un modelo que permite trabajar de manera muy versátil y rápida, aunque no contempla la extracción de oro en simultáneo. Por otro lado, cabe aclarar que cada módulo de cascada tiene un espacio para 12 placas de cobre, por lo que el montaje total puede requerir 24 placas de cobre, o 12 placas que pueden cambiarse de un módulo al otro al finalizar la recirculación.

Este montaje se puede desarrollar en tres fases, las cuales se explican a continuación:

4.2.1. Adaptación del espacio físico

Se requiere un espacio firme y nivelado; en caso de no contar con él, se debe aplanar y nivelar el piso, para posteriormente asegurar los equipos, y conseguir las condiciones de agua y electricidad requeridas para el procesamiento.



Figura 7. Adaptación del espacio físico para el montaje. a) Aseguramiento de las bombas de sólidos, b) Adecuación del terreno. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

El principal cuidado con las bombas se realiza con una malla, que permite el ingreso de sólidos con un diámetro de partícula menor a los 5 mm. Dicha malla ayuda a que no ingrese material indeseado como ramas de árboles o piedras que puedan estropear el funcionamiento del equipo. Por otro lado, se debe tratar de nivelar lo máximo posible el terreno para la disposición de los tanques, ya que al no hacerlo, se corre el riesgo de romperlos por el peso del relave con el agua, ya que están hechos en plástico.

4.2.2. Instalación del montaje

Acorde al prototipo de la **Figura 6**, se disponen los equipos para la instalación del montaje en campo y se procede con la fase de desarrollo de las pruebas piloto, teniendo en cuenta la lista de materiales que se encuentra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Lista de materiales y equipos para la instalación del montaje en sitios remotos

Equipo	Unidades
Bomba sumergible 1hp	2
Tanques 2 m ³	2
Tubería PVC (m)	70
Módulos de madera	2
Mesa soporte para módulos de madera	1
Generador eléctrico 3.5hp	1
Aceite para motor	1
Combustible (1.6 galones)	1
Agua (2m ³)	1

Teniendo listos los materiales de la **Tabla 3** y la referencia de la **Figura 6**, se procede a instalar el montaje como se observa en la **Figura 8**.

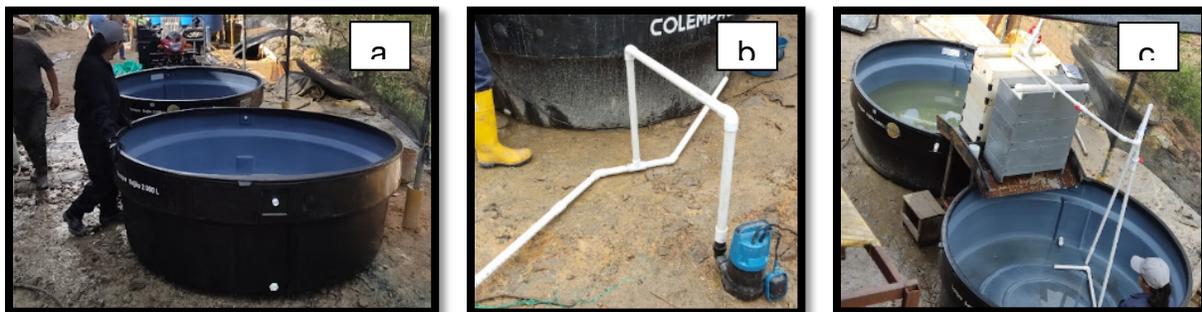


Figura 8. Instalación de montaje en campo. a) Disposición de tanques en campo, b) armar los montajes en PVC para el agitador y la bomba que transporta el relave de un tanque a otro, c) armado de módulos de soporte. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

En esta segunda fase se organizan los equipos en el sitio previamente adecuado para el procesamiento de los relaves.

4.2.3. Operación del montaje

Para el tratamiento de los relaves se recomienda seguir el siguiente procedimiento descrito a continuación.



Figura 9. Desarrollo de las pruebas piloto. a) Cargue de material, b) preparación de la solución de pulpa de relave, c) encendido de equipos de bombeo. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

Para llevar a cabo el procesamiento de los relaves, se tiene en cuenta el siguiente procedimiento:

- Cargue parciales de 50 kg de relave contaminado y mezclado con agua para generar la pulpa hasta suspender los sólidos y deshacer los grumos. Dichos cargues se deben hacer hasta cargar un total entre 300 kg y 500 kg, dependiendo del tipo de material para mantener una relación final de sólidos entre 1:6, en un volumen de 2,000 litros.
- Encender la bomba para realizar la agitación del material cuando ya se encuentre totalmente sumergida, esto con el fin de aumentar la suspensión de sólidos en el tanque. Esta bomba, al igual que la que transporta el material de un tanque al otro, debe estar conectada a una fuente eléctrica de 110 voltios, y en caso de ser una fuente de energía portátil, debe tener una autonomía de al menos 12 kWh.
- Posteriormente, se deben disponer del número de placas requeridas en los módulos, de acuerdo con número de módulos de cascada seleccionados (por ejemplo, para la selección de 6 módulos se requieren 12 placas de cobre).

- Abrir las válvulas que permitan el flujo de material y variar la apertura de la válvula de la salida hasta alcanzar el caudal promedio de 20 l/min.
- Al terminar la circulación de los 2,000 litros de pulpa de un tanque al otro, se debe limpiar el tanque recién desocupado para proceder a recircular el material hacia este. Cada una de las recirculaciones por las placas se denominará “paso”.
- Los procesos se recomiendan a un mínimo de 8 pasos (recirculaciones) de relaves entre los tanques para asegurar un aumento en la retención de mercurio por las placas.

5. Consideraciones finales

Las consideraciones finales incluyen los procesos posteriores al procesamiento de relaves contaminados con mercurio. Es decir, muestreos para análisis de remoción de contaminantes y la disposición final de residuos.

5.1. Análisis de remoción de mercurio

Es importante caracterizar cuantitativamente la remoción del mercurio de los relaves mineros mediante el procesamiento con las placas de cobre. Para tal fin, se deben realizar muestreos compuestos representativos para medir el mercurio mediante equipos de campo o análisis de laboratorio.

5.1.1. Muestreo de relaves

Con el fin de realizar una correcta medición del mercurio retenido por las placas, es importante desarrollar un esquema adecuado y una estrategia de muestreo a manera de que sea representativo, ya que normalmente se deben tomar muestras compuestas para el análisis de mercurio en cada procesamiento. Para ello, se recomienda tomar muestras periódicamente (cada 15 a 20 minutos), para su posterior secado y medición con el equipo portátil de fluorescencia de rayos X (XRF), de estar disponible. A continuación, en la **Figura 10** se observa el procedimiento de muestreo para cuantificación de mercurio en los relaves procesados.

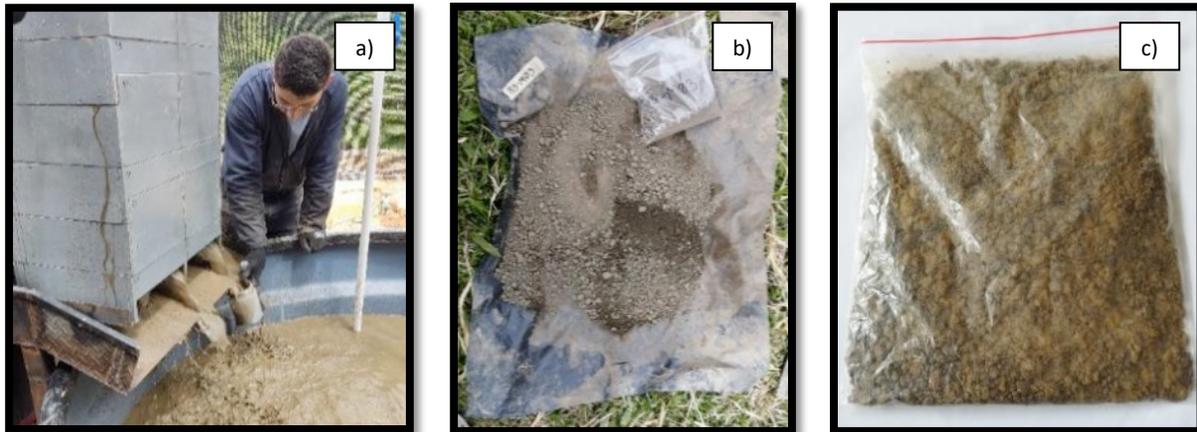


Figura 10. Proceso de muestreo de relaves. a) Toma de muestra, b) secado de muestra, c) preparación de la muestra para medición con XRF. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

Se recomienda realizar un muestreo del relave antes de ser procesado, es decir seco, con el fin de poder determinar la concentración de mercurio inicial y tener un punto de comparación con el mercurio recuperado a lo largo de la operación.

Cabe aclarar que el secado de la muestra puede durar hasta 8 horas o más, debido al contenido de humedad, ya que el material se trabaja con un 15% de sólidos aproximadamente, y este no puede ser secado en hornos o estufas porque puede evaporar el mercurio, haciendo que se afecte la medición.

5.1.2. Cálculo de porcentaje de remoción

Para determinar el porcentaje de remoción de mercurio o rendimiento de las placas se recurre a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento de placas} = \left(\frac{C_{Hg,i} - C_{Hg,f}}{C_{Hg,i}} \right) * 100\%$$

Donde,

$C_{Hg,i}$: Concentración inicial de mercurio

$C_{Hg,f}$: Concentración final de mercurio

Las concentraciones de mercurio o cualquier otra sustancia de interés deben ser medidas previamente con equipos de campo como el XRF o mediante análisis de laboratorios. También cabe aclarar que la anterior ecuación no sirve solamente para determinar remoción de mercurio, sino también para determinar el comportamiento de otros compuestos a lo largo de los procesamientos con las placas de cobre.

En el caso que se requiera determinar el rendimiento de las placas en una planta de beneficio, se debe aplicar en cada una de las zonas donde se tenga un módulo de cajón o un módulo de cascada, para identificar la parte operativa con mayor retención de mercurio; aunque también puede calcularse el rendimiento global para identificar la concentración total de mercurio removida de los relaves. En caso de tener más de una corriente de salida del proceso, se debe usar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento de placas} = \left(\frac{m_i * C_{Hg,i} - m_i * C_{Hg,f1} - m_i * C_{Hg,f2}}{m_i * C_{Hg,i}} \right) * 100\%$$

Donde,

m_i : masa de la corriente i (1, 2 o 3)

$C_{Hg,i}$: Concentración inicial de mercurio

$C_{Hg,f1}$: Concentración final de mercurio en la salida 1

$C_{Hg,f2}$: Concentración final de mercurio en la salida 2

Pruebas pilotos con más de 300 toneladas de relaves procesados han demostrado hasta una eficiencia del 84% en la reducción de la concentración inicial mercurio en condiciones ideales. Por otro lado, la edad del relave es un factor fundamental en la eficiencia de las placas, ya que relaves viejos (5 años o más de generados) poseen gran cantidad de óxidos que disminuyen la vida útil de las placas y reducen su eficiencia debido a la falta de adherencia a la placa.

5.2. Disposición final

La disposición final es la última etapa de la tecnología para el manejo de los relaves resultantes de la minería de oro. Se generan principalmente dos tipos de residuos, los cuales necesitan un tratamiento diferente: residuos de placas de cobre y residuos de relaves. A continuación, se explica el tratamiento de cada uno de ellos.

5.2.1. Residuos de placas de cobre

La vida útil de las placas está determinada por la saturación de la placas por mercurio, las cuales se categorizan como Residuo Peligroso o RESPEL y así poder cumplir con la disposición final acorde a las regulaciones de cada país, lo que en muchas ocasiones corresponde a su disposición en celdas de seguridad. En la **Figura 11** se puede observar el final de la vida útil de las placas de cobre.



Figura 11. Placas de cobre saturadas de mercurio. **Fuente:** Pure Earth 2023.

Para esta disposición se recomienda envolver en papel plástico, para evitar el contacto directo con la piel. Deben ser entregadas a una empresa que realice la gestión de residuos peligrosos diligenciando los formatos y realizando los pagos correspondientes.

5.2.2. Gestión de relaves procesados

Los residuos de relaves producto del proceso de recuperación de mercurio deben ser dispuestos en relaveras, que consisten en piscinas con una barrera impermeable que impide la diseminación de compuestos tóxicos hacia el medio ambiente. En la **Figura 12** se observa el ejemplo de una relavera.



Figura 12. Panorámica de piscinas o relaveras, lugar donde se ubica el material de relave inerte. **Fuente:** Pure Earth, 2023.

En dichas relaveras se espera a que se degraden ciertos compuestos como el cianuro, y posteriormente se cargan en bultos para transportarlos a empresas que requieran los sólidos para continuar extrayendo oro o producir placa huella.

6. Referencias

- CNN Español. (24 de 09 de 2021). *¿Cuál es el costo de la electricidad en un mundo afectado por el cambio climático?* Obtenido de CNN Mundo:
<https://cnnespanol.cnn.com/2021/09/24/costo-electricidad-mundo-afectado-cambio-climatico-orix/>
- Rodriguez, A., Ortega, A., Marin, D., Vera, A., & Veiga, M. (2024). Homemade copper-silver plates as an alternative for cleaning mercury-contaminated tailings from artisanal and small-scale gold mining in Colombia . *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, 13, 12-24. doi:10.18488/13.v13i1.3681
- Veiga, M. H. (2006). Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2004.08.010
- Wolf, D., Carson, E., & Parrish, D. (1979). *Notes: A replica method of determining stomatal and epidermal cell density*. Obtenido de Agronomy.org:
<https://www.agronomy.org/files/publications/nse/pdfs/jnr008/008-01-notes.pdf>