GOBIERNO REGIONAL
DE AREQUIPA

AUTORIDAD REGIONAL
AMBIENTAL

"TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA PEQUEÑA MINERIA Y MINERIA ARTESANAL RECUPERACIÓN DEL ORO"

GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA

AUTORIDAD REGIONAL AMBIENTAL

Área de Ecoeficiencia

TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA PEQUEÑA MINERIA Y MINERIA ARTESANAL RECUPERACIÓN DEL ORO

PRÁCTICAS PARA UNA MINERÍA AURÍFERA MÁS LIMPIA

El crecimiento acelerado de la densidad demográfica poblacional, motivado por el constante incremento del precio del oro, viene alterando la satisfacción de cubrir necesidades de los servicios básicos, conduciendo a situaciones inhumanas, en constantes conflictos (invasiones), asimismo de las consecuencias en el medio ambiente por los procesos poco eficientes e insumos que persisten alterando los componentes ambientales (agua, aire y suelo).

La Pequeña y artesanal minería se utiliza mercurio más por costumbre o por la forma de organización de los mineros que por la necesidad real de los procesos, la búsqueda de una solución integrada del proceso es difícil, si consideramos que existe un dueño del amalgamado y otro de los relaves, asi como muchas otras situaciones.

Para lograr una solución integral no solo es necesario exponer una tecnología más limpia, sinola aplicación de métodos nuevos y cambio de las prácticas.

La Gravimetría en la minería artesanal se torna eficiente para producir preconcentrados que se permitirán en una óptima comercialización, tiene dos bases:

- Una molienda adecuada (generalmente menos fina que para cianuración directa, resultando en enormes ahorros en costos para molienda)
- Utilización de procesos gravimétricos eficientes (generalmente espirales, mesas gravimétricas y/o concentradores centrífugos) para producir un preconcentrado.

Asimismo el uso de agua se puede optimizar con la aplicación de sedimentadores, filtros u otros que nos permiten ahorrar este recurso.

Los procesos combinados aplicados en la Pequeña Minería (gravimetría – cianuración) se tornan eficientes cuando:

- ✓ Se usa una correcta molienda del mineral en bruto y del preconcentrado adquirido después del proceso gravimétrico.
- ✓ La inversión es alta y los costos de operación y compromisos ambientales (monitoreos, neutralización de cianuro y otros) son cubiertos por estos procesos combinados.

La combinación de métodos de concentración (gravimétrica – cianuración) tiene tres bases:

- Una molienda adecuada (generalmente menos fina que para cianuración directa, resultando en enormes ahorros en costos para molienda)
- Utilización de procesos gravimétricos eficientes (generalmente espirales o/y concentradores centrífugos) para producir un preconcentrado
- Molienda fina del preconcentrado (normalmente 10-20% del material bruto) para luego cianurarlo por agitación (que resulta en ahorro alto en costos para reactivos como cianuro, cal, etc.)

La combinación de procesos gravimétricos con cianuración es perfectamente apropiado en la minería industrial, pequeña, mediana y gran minería,

La gravimetría en cualquiera de las categorías nos permite:

- Se evita el uso del mercurio completamente. lo que resulta en:
  - ❖ menos costos,
  - ❖ menos manejo,
  - ❖ menos peligro de robo,
  - ❖ menos problemas de salud y medio ambiente, etc.

CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

La concentración gravimétrica es una manera sencilla, de alta capacidad, y al mismo tiempo de bajo costo y de una eficacia razonable, para separar minerales pesados valiosos de la carga bruta, lo cual explica su extenso uso en la pequeña minería aurífera.

CANALETAS

Las Canaletas es una tecnología muy usada en la minería aurífera principalmente en las operaciones pequeñas de minería aurífera aluvial y en la concentración de mineral primario molido.
Existen miles de minas en todo el mundo que exclusivamente trabajan con canaletas (y bateas). Calculando la capacidad instalada, la canaleta es uno de los artefactos más utilizados para el procesamiento de minerales pesados. Generalmente consisten de un canal, a través del cual fluye la pulpa, y de varios materiales (trampas) para la captura de minerales pesados, los cuales se hunden hasta el fondo, mientras el agua saca hacia afuera a los sólidos livianos. Existen muchas formas y tipos de canaletas,

CANALETAS	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Bajo costo	• Baja recuperación de sulfuros auríferos en minería primaria
• Gran capacidad	• Descarga del producto aurífero en forma discontinua
• Fabricación local	• Requiere mucha mano de obra
• No necesita energía - motor	
• Buena recuperación (en caso de un buen diseñoy manejo y oro liberado)	
• Alto grado de concentración	

Recomendaciones

- Usar canaleta con piso de alfombra (bayetas, frazadas, etc), sin rejillas o Trampas; en esta forma la pulpa fluye con poca turbulencia.
- Buena recuperación del oro fino y obtención de una cantidad reducida de preconcentrado.
- De tener carga con oro fino y grueso, se debe tamizar la carga y tratar cada tamaño en su canaleta respectiva.

JIGS

Permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación producida por diferentes mecanismos. En la minería aurífera primaria los componentes pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros (o por arenas negras en la minería aluvial), en tanto que los livianos son cuarzo y diferentes tipos de roca.

JIBS	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Versátil, se puede adecuar a todo tipo de materiales	• Requiere personal experimentado
• Ajustado sus variables, no requiere de mayor atención	• No recupera oro muy fino
• Recupera oro y sulfuros auríferos • No necesita energía	• Alto requerimiento de agua
• Bien para oro laminado	
• Produce un concentrado rico	
• Descarga continua de productos	
En la minería primaria puede instalarse inmediatamente después del molino primario, para recuperar el oro grueso, el oro laminar o esponjoso y los sulfuros gruesos liberados, para impedir su retorno innecesario al molino en un circuito cerrado, evitando una mayor laminación del oro y la sobremolienda de los sulfuros. También puede utilizarse para el enriquecimiento secundario de productos procedentes de otras etapas.	

Jig tipo "Denver Mineral Jig" en un circuito de molienda

APLICACIÓN DEL JIG

Las posibilidades de uso del Jig en la minería son amplias, particularmente en la minería aurífera puede ser utilizado tanto en la filoniana (de vetas o primaria) como en la aluvial. La experiencia ha demostrado que resulta muy eficiente en la recuperación de oro laminar y esponjoso, donde difícilmente es igualado por otros equipos gravimétricos.

En la minería primaria puede instalarse inmediatamente después del molino primario, para recuperar el oro grueso, el oro laminar, el oro esponjoso y los sulfuros gruesos liberados, para impedir su retorno innecesario al molino en un circuito cerrado, evitando una mayor laminación del oro y la sobremolienda de los sulfuros que son contaminantes potenciales. También puede utilizarse para el enriquecimiento complementario de productos procedentes de otras etapas.

En la minería aluvial puede también utilizarse como concentrador primario en vez o antes de las canaletas o utilizarse para el enriquecimiento complementario de preconcentrados.

Al contrario de las canaletas, los Jigs necesitan operadores bien entrenados para obtener resultados buenos.

Los Jigs se pueden producir localmente en talleres metal-mecánico locales.

MESA CONCENTRADORA

Las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada. La mesa con movimiento longitudinal vibratorio (mesa vibradora) está muy difundida principalmente en la minería del estaño, wolframio y oro. En la minería aurífera se usan especialmente los tipos Wilfley, Deister y Holman. Las diferencias entre unas y otras son mínimas, principalmente en el mecanismo del cabezal, la geometría del tablero y el tipo de enriflado.

La mesa con movimiento longitudinal vibratorio (mesa vibradora) está muy difundida principalmente en la minería del estaño, wolframio y oro.
Se pueden tomar muestras directamente durante la operación, utilizando bateas para oro, por ejemplo. Por lo tanto, la optimización de esta operación se lleva a cabo de una manera simple y puede ser realizada por operadores aprendices.

Las mesas vibradoras permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente. Debido a que el proceso de concentración se lleva a cabo a simple vista sobre la tabla de la mesa, cualquier cambio en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) resulta en cambios en el comportamiento del material, que pueden ser visualizados inmediatamente.

MESA CONCENTRADORA	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Descarga continua de productos	• Requiere supervisión continua
• Permite obtener toda una gama de productos (concentrados, mixtos, colas)	• Peligro de robo de concentrado rico
• Comportamiento visible del material sobre el tablero Bien para oro laminado	• Requiere de alimentación continua.
• Gran flexibilidad	• Requiere energía - motor
• Manejo y supervisión relativamente simple	
• Posibilidad de recuperar valiosos minerales acompañantes	
• Buena recuperación y un alto índice de enriquecimiento, aún en el mineral fino *	
• Poco uso de agua y energía	
Principalmente se puede usar las mesas en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino liberado y muchas veces para la recuperación de piritas/sulfuros auríferas como subproducto comerciales de la carga bruta o de concentrados obtenidos por otros equipos gravimétricos como canaletas y/o espirales.	

* La alta recuperacion depende del tipo de quipo (modelo e ingenieria) asi como del tipo de mineral

Debido a la distribución del material en forma de un abanico sobre la tabla de la mesa, uno puede obtener bandas específicas de mineral de una manera selectiva (algo que no ocurre en las espirales, donde las bandas se sobreponen parcialmente unas sobre otras). De esta manera, uno puede separar, al realizar la regulación correspondiente, un concentrado de oro libre de alta riqueza así como un concentrado de sulfuros, por ejemplo, que contiene oro diseminado, para su posterior tratamiento. Esto implica, por otro lado, que es muy fácil robar el concentrado de alta ley cuando se utilizan las mesas para la fase de limpieza de los minerales.

La efectividad de todas las mesas depende de la homogeneidad del material de alimentación y de la densidad de pulpa, particularmente de la densidad ya que cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente.

APLICACIÓN DE LA MESA CONCENTRADORA

Principalmente se puede usar en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino y muchas veces para la recuperación de piritas auríferas como subproducto comerciable. Este último constituye además un contaminante cuando se descarta en las colas a los ríos y lagunas; su separación o recuperación significa una valiosa contribución a los propósitos de mitigación de este impacto ambiental y un ingreso adicional.

Las mesas sirven también para enriquecer preconcentrados gravimétricos obtenidos por otros equipos (canaletas, espirales, etc.) y para producir concentrados de alta ley (que en algunos casos se pueden fundir directamente).

Las mesas se pueden fabricar localmente en talleres metal-mecánicos locales.

CONCENTRADORES DE ESPIRAL

[3]

Los concentradores de espiral son equipos de concentración utilizados principalmente para la preconcentración de oro y sulfuros auríferos. El típico concentrador de espiral consiste en una canaleta helicoidal con cuatro a seis vueltas. Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea cónica, donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran en el centro. Se puede considerar al concentrador de espiral como una serie de bateas superpuestas y conectadas.

Las partículas más pesadas se reúnen en el fondo, donde la fricción y el lastre actúan para aminorar la velocidad del material. Debido a la forma de espiral del lecho de la canaleta, las fuerzas centrífugas en la pulpa llevan al material más liviano hacia afuera, hacia el borde de la espiral, mientras que el material pesado permanece adentro.

Las espirales pueden ser utilizadas para una variación de tamaño de grano desde 2 mm hasta aprox. 30 mm. Por lo general, las espirales se caracterizan por su alta recuperación, pero también por su bajo factor de enriquecimiento, y es debido a este motivo que las espirales son utilizadas exitosamente en la fase de preconcentración o como "scavenger" (para la recuperación de minerales residuales de valor de las colas). Las espirales no son apropiadas para el enriquecimiento de los

concentrados obtenidos a través de lavado en canaletas. Sin embargo, no hay duda que las espirales pueden ser utilizadas efectivamente incluso como un reemplazo de las canaletas, combinadas con otro equipo para la concentración secundaria de preconcentrados (mesas concentradoras, por ejemplo).

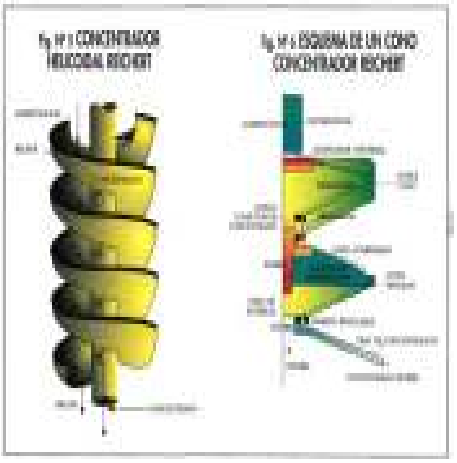
Las espirales permiten tener una **producción continua de preconcentrados**, así como también extraer un producto intermedio (como sulfuros) y son extraordinariamente **útiles para la extracción de lodo del material**, debido que la mayor parte del agua, junto con las partículas ultrafinas, se extrae separadamente.
Las espirales no requieren de impulsión motriz, **requieren poco mantenimiento**, también son resistentes al desgaste mecánico y cada unidad puede tratar hasta 2 t/h, requieren poco espacio y son fáciles de operar.

En comparación con las mesas vibradoras y con los concentradores centrífugos, las espirales son significativamente más económicas.

CONCENTRADORES DE ESPIRAL	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Operación simple y visible	• Necesitan 4 m de altura o una bomba para alimentación.
• No tiene motor	• Producen concentrados relativamente pobres.
• Descarga discontinua de varios productos	• Requieren alimentación continua y densidad de pulpa controlada.
• Buena recuperación de oro y sulfuros hasta 30 um de tamaño.	• Difícil para producción local en buena calidad.
• Gran flexibilidad	• Requieren de una densidad de pulpa entre 30 y 40 %
En espiral se utiliza principalmente para la preconcentración directamente después del molino.	

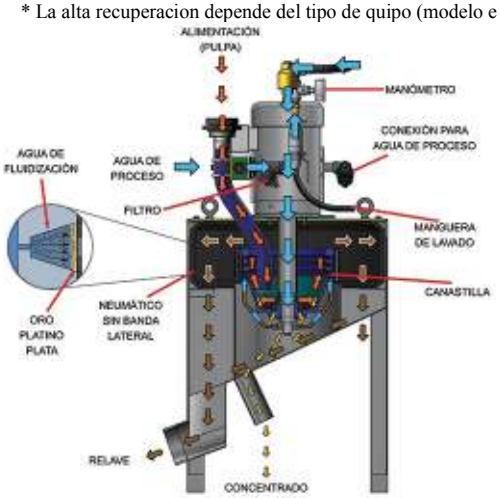
APLICACIÓN DEL CONCENTRADOR DE ESPIRAL

La espiral se utiliza principalmente para la **preconcentración de materiales auríferos**, tanto primarios como secundarios. Otro uso es, para recuperar el oro y las piritas auríferas todavía existentes **en las colas de los ingenios primarios** ("scavenger"). Así se pueden recuperar al máximo los valores remanentes, evitando además la contaminación del medio ambiente con piritas. Por lo demás, se obtiene colas deslamadas (sin partículas finas), que pueden retenerse en pozos de sedimentación, las aguas lodosas se pueden tratar en estanques de decantación (con o sin el uso de floculantes, según el caso) para evitar la contaminación de los ríos. En caso de escasez de agua, se puede recircular la misma. El uso de espirales en la pequeña minería aluvial es restringido por la dificultad de clasificar un gran volumen de carga a < 2mm.



CONCENTRADORES CENTRÍFUGOS

Todos los concentradores centrífugos operan con el mismo principio: básicamente, un recipiente que rota efectúa la separación gravitacional de la carga en un campo centrífugo. Los tipos de concentradores centrífugos más utilizados están basados en el mismo principio pero difieren en su diseño técnico. Las más conocidas son las marcas Knelson y Falcon y algunos de fabricación local (especialmente en Brasil), que generalmente no llegan a la eficiencia de los originales.
Concentradores centrífugos son insuperables para le recuperación de oro finísimo y laminado.
Con las centrífugas se pueden lograr altos factores de enriquecimiento, permitiendo que se funda el concentrado directamente. En los circuitos de molienda, los concentradores centrífugos son utilizados efectivamente para recuperar el oro liberado.

CONCENTRADORES CENTRÍFUGOS	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Buena recuperación de oro fino/ultrafino y Laminado *	• Requiere agua limpia y de presión constante
• Alto grado de enriquecimiento	• Equipo relativamente costoso
• Seguridad contra robo	• Difícil para manejar
	• Equipo no apto para producción local
	• Mala recuperación de sulfuros auríferos
	• Requiere alimentación bien clasificada
Los centrífugos trabajan perfectamente para la recuperación de oro fino de colas de otros equipos gravimétricos.	

* La alta recuperacion depende del tipo de quipo (modelo e ingenieria) asi como del tipo de mineral