



**PROYECTO GAMA**  
*Gestión Ambiental en la Minería Artesanal*



**FUNDACION MEDMIN**  
*Fundación Medio Ambiente, Minería e Industria*



**- INFORME FINAL -**

**“ASISTENCIA TECNICA PARA EL  
PROCESAMIENTO DE MINERAL  
Y EL USO DE MERCURIO EN UNTUCA”**

*Untuca – Perú*

*Septiembre - 2005*

# **ASISTENCIA TECNICA PARA EL PROCESAMIENTO DE MINERAL Y EL USO DE MERCURIO EN UNTUCA**

## **GAMA - MEDMIN**

### **RESUMEN**

Durante los últimos diez años, MEDMIN ha estado vinculado a un gran número de estudios y proyectos relacionados con el beneficio de menas auríferas y la recuperación de oro.

En este documento se pretende resumir la experiencia y conocimientos acumulados, en un trabajo conjunto con el Proyecto GAMA, para plantear alternativas de tratamiento para mejorar la recuperación de oro a partir de los minerales explotados en la Zona de Untuca, que al igual que muchas otras operaciones de pequeña escala muestra varios problemas, tales como:

- Extracción incompleta (parcial) de los recursos minerales
- Baja recuperación del oro
- Alto impacto ambiental
- Condiciones de trabajo precarios (con poca seguridad)

La eficiencia y recuperación metalúrgicas varían naturalmente con la tecnología aplicada y la experiencia de los operadores. Generalmente, hay pérdidas altas de oro fino liberado y de oro no liberado por molienda gruesa.

La experimentación se llevó a cabo “in situ” y en laboratorio en algunos casos; se trabajó con los mineros fundamentalmente en los procesos de tostación, molienda y amalgamación y manejo del mercurio.

Conscientes de la necesidad de incorporar algunos dispositivos poco usuales en la región de Untuca, se llevaron a la zona una serie de equipos cuya eficiencia técnica está plenamente comprobada.

Sin duda, la clave para realizar cambios es la economía. Es posible combinar menor contaminación con mayor ingreso para los mineros vía capacitación, mejor organización de toda la comunidad e inversiones a pequeña escala.

El Proyecto “ASISTENCIA TECNICA PARA EL PROCESAMIENTO DE MINERAL Y EL USO DE MERCURIO EN UNTUCA” fue patrocinado y financiado por Projekt-Consult GmbH y ejecutado por el Proyecto GAMA y la Fundación MEDMIN.

## ANTECEDENTES

En la región de Puno, República del Perú, existen localidades de carácter eminentemente minero-artesanal, tal es el caso de la comunidad campesina de Untuca, distrito de Quiaca, Provincia de Sandia con una población aproximada de 500 personas que se dedican a la actividad minera.

La forma de trabajo es individual y en pequeños grupos de 3 o 4 mineros, quienes desarrollan su actividad con herramientas básicas. El tipo de mineralización es en mantos y extraen cantidades muy pequeñas de mineral pero con ley alta, los escombros que quedan son también de una ley significativa (20 grs/TM).

En la Concesión San Miguel de Untuca trabajan muy pocos mineros que desarrollan labores con una profundidad de hasta 20 metros. A pesar de ser una formación geológica parecida a la de Ananea, se requiere de un estudio geológico que permita tener una idea más clara de la potencialidad del yacimiento.

Los documentos de la DREM-PUNO, manifiestan que la Comunidad Campesina de Untuca, es Titular de la Concesión Minera San Miguel de Untuca, constituyendo una de las pocas Comunidades mineras que tienen un “aceptable” grado de Organización, el mismo que se traduce en el cumplimiento de la prestación de sus obligaciones mineras, como presentación de la DACs, Reporte de Estadísticas de Incidentes y Accidentes, Producción, Avance Lineal entre otros.

Sin embargo desconocen aspectos relacionados a mejorar su organización, analizando las formas de administración de empresas aplicables al sistema organizativo de la Comunidad Campesina y Comunidad Minera. El sistema de producción es individual porque cada minero extrae una determinada cantidad de carga, la procesa hasta recuperar el oro siguiendo el método tradicional bastante arraigado en la zona.

En este sentido, las actividades de asistencia en Gestión Empresarial futuras, deben tener como objetivo promover la integración vertical de la minería, establecer normas de una minería racional y tecnificada, definir la capacitación como base de la eficiencia y productividad, fortalecer adecuadamente las instituciones de servicio y apoyo a la minería, establecer los parámetros para el desarrollo minero, integrar la dimensión ambiental, crear y fortalecer fuentes de financiamiento para la actividad minera, en resumen, diseñar la imagen, forma, dimensión, operatividad y el manejo sostenible de la actividad minera en Untuca.

El principal problema técnico que confrontan los mineros, se presenta en el procesamiento del mineral, la necesidad de quemar (tostar) el concentrado y procesarlo (molienda-amalgamación) en los quimbaletes.

Este proceso implica invertir bastante tiempo, entre el recojo y secado previo de la “champa” (pasto y hierba silvestre) y luego quemar el mineral durante 12 horas, el tiempo que utilizan en el quimbaleta para moler y amalgamar una determinada cantidad de carga también es considerable.

Tanto el tostado del mineral, como la amalgamación en el quimbaleta y la quema de la amalgama se realiza en forma individual. En la zona existen aproximadamente 100 quimbaletes, concentrados en la zona de Llactapata.

## TRABAJO DE CAMPO

El trabajo se inició con una visita a la zona juntamente al Ing. Iván Benavides, responsable de minería en la Dirección Regional de Energía y Minas de Puno (DREM-PUNO), y el Asesor de la Comunidad Minera Ing. Valerio Huanca, quienes brindaron información muy valiosa para la marcha del proyecto.



*Población minera de Untuca*



*Población minera de Llactapata*



*Zona de derrumbes en el camino entre Untuca y Llactapata*



*Técnicos peruanos y bolivianos, junto a dirigentes mineros visitando la zona*



*Zona de trabajo de los quimbaletes en Llactapata*

La visita de campo, permitió verificar en el terreno todo el proceso que siguen los mineros para obtener como producto final el oro. Todo se inicia con la fase de explotación del mineral, se extraen cantidades relativamente pequeñas de mineral cuya característica principal es su alta ley, el mineral está constituido mayormente por pizarras, cuarzo en menor cantidad y muy pocos sulfuros.



*Pizarra*

El oro está presente en forma de partículas muy finas (granos de tamaño menor a 0.150 mm, 100 # Ty), asociadas principalmente con cuarzo. Para su liberación es necesaria una molienda intensa, la que se logra en los quimbaletes pero en un tiempo bastante largo.

Posteriormente el mineral es sometido a tostación, previamente se pone una capa de piezas de champa seca, luego se esparce encima una determinada cantidad de mineral, se cubre con otra capa de champa, se esparce otra cantidad de mineral, nuevamente champa y así sucesivamente hasta tener todo el mineral (3 – 5 kgs.) cubierto del combustible vegetal. Luego se enciende la champa en la parte inferior, el tiempo de quemado es de 10 a 12 horas y se logra alcanzar temperaturas hasta 850-900 °C. El proceso de tostado es sumamente lento, se aprovechan los fuertes vientos de la zona para que el combustible vaya quemándose gradualmente, se genera bastante humo que contamina el aire. No se utiliza ningún tipo de horno, el quemado se realiza sobre de plataformas de piedra.



*Proceso de quemado del super concentrado con "champa".*



*El proceso de quemado dura varias horas*



*Toma de muestra del material quemado para verificar la presencia de oro*



*Uso de la puruña para verificar el contenido de oro libre en la carga quemada*



*Producto final*



*Mineral quemado*

La champa es un arbusto de la familia de la *Azorella Compacta*, una de sus características principales es que posee buena calda o sea que arde bien y los mineros prefieren este combustible vegetal antes que a los residuos animales (excrementos). La carga tostada es sometida luego a la molienda y amalgamación en los quimbaletes.

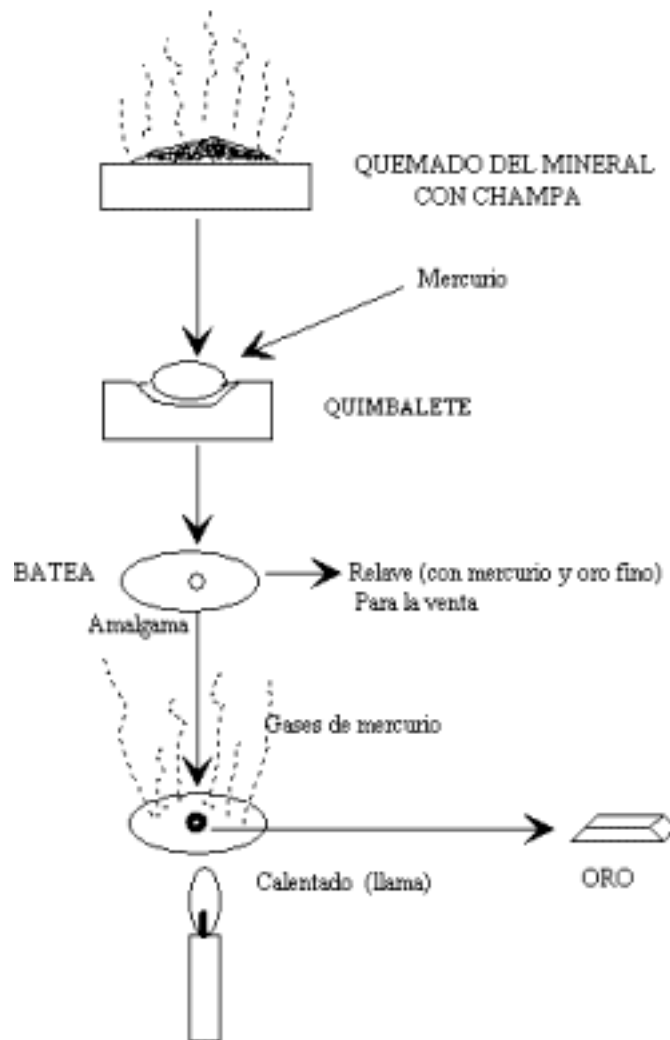


*La molienda y amalgamación es un trabajo lento y tedioso.*

*Trabajo hecho mayormente por niños y mujeres*



## PROCESO TRADICIONAL



La forma usual de tratamiento del mineral aurífero, desarrollado por los mineros en la región se muestra en el diagrama de flujo anterior, la amalgamación se realiza en los quimbaletes paralelamente a la molienda, este tipo de operación es discontinua. La molienda del mineral debe ser lo suficientemente fina para liberar el oro desde su ganga. Si parte de la ganga permanece unida a las partículas de oro, el proceso de amalgamación tiene una eficiencia baja. Cuando el oro se halla acompañado de minerales de arsenopirita, antimonita y otros, el mercurio se atomiza durante la amalgamación y toma la consistencia de harina, la amalgamación no se verifica y el mercurio es recuperado en menos del setenta por ciento.

## **PROBLEMAS AMBIENTALES**

El problema del uso de mercurio en Untuca es evidente, pero se tienen una serie de soluciones que se presentaron a los mineros en el trabajo de campo, en especial el manejo de la retorta para recircular el mercurio, toda la información de trabajos anteriores desarrollados por GAMA y MEDMIN en otras regiones fue valiosa.

Pero, paralelamente al problema técnico de la mejora en la recuperación del oro, se detectaron otros dos problemas no menos importantes: la deforestación de grandes áreas como efecto del uso intensivo del combustible vegetal o “champa”, especie típica de la zona. Los mismos mineros indicaban que debían recorrer distancias cada vez más largas para proveerse de este insumo y la intensa humareda que se produce durante el tostado o quemado del mineral contaminando el aire, el problema es mucho más grave cuando son varios los puntos en los cuales se queman en forma simultánea, tal como se puede observar en las siguientes imágenes:



*La deforestación de grandes áreas para proveer a los mineros de combustible es un problema bastante serio.*



*Quemados simultáneos generan una considerable contaminación del aire*

## **PRUEBAS DE CAMPO**

En base a la experiencia boliviana, el tratamiento que se pretendía aplicar con el mineral de Untuca, era tostar el mineral con quemadores a gas o gasolina, para acelerar el proceso de quemado, moler y amalgamar en tambores cerrados, separar la amalgama de los relaves con hidroseparadores y recuperar el mercurio en retortas.

La tostación, tal como se tenía previsto realizar, es relativamente rápida y sencilla; sin embargo todo dependía de las características del mineral, en ese sentido las pruebas "in situ" para ver como responde la carga a este proceso de tostación fueron muy importantes.

Sin embargo, luego de una caracterización del mineral presente en Untuca, y después de las pruebas preliminares, se pudo evidenciar que el material de la zona era completamente diferente a los minerales bolivianos tratados por medio de este proceso. Los minerales bolivianos tienen un alto contenido de sulfuros, este aspecto facilitaba el proceso de tostación oxidante; en cambio, el mineral de Untuca posee un alto contenido de pizarras y un muy bajo contenido de sulfuros. Desde ese punto de vista la tostación no se justificaba.

Hechas las averiguaciones entre los mineros, estos manifestaron que el proceso de quemado era el que comúnmente se seguía desde hacía muchos años, no sabían o no recordaban quién ni cuando había implementado esta forma de tratamiento de sus minerales. Pero, aclararon también que cuando procedían a moler y amalgamar directamente el mineral sin un paso previo de tostado, el oro no se podía amalgamar.

El siguiente paso del equipo técnico fue validar este hecho, se recibieron varias cargas entregadas por los mismos mineros para realizar las pruebas experimentales correspondientes. Pero, los primeros ensayos con estas muestras permitieron ver que no correspondían a las cargas ricas que normalmente ellos tratan, este hecho es comprensible por la natural desconfianza que tienen los mineros. Al parecer eran cargas de zonas que se estaban evaluando para su posterior explotación. Las cargas traídas por cada minero eran completamente diferentes entre sí, tanto en su composición mineralógica como en el tamaño de grano, esto dependiendo del área de trabajo del cual provenía la carga.

En las pruebas preliminares de verificación de la presencia de oro libre en cada carga, fue difícil detectar la presencia de este metal, se procedió entonces a moler muestras para ser amalgamadas, la recuperación de oro fue mínima, se pudo ver también aunque en muy poca cantidad sulfuros (arsenopirita, antimonita), los compuestos de hierro magnéticos también están presentes, pero fueron separados fácilmente con ayuda de imanes.



*Molienda de muestra mineral para las pruebas experimentales*

Es común encontrar oro recubierto de capas o mineralizaciones de sulfuros, cuarzo u otros que se desean eliminar para obtener el producto que realmente interesa. Aprovechando la solubilidad de los sulfuros en Ácido Nítrico, se procedió a atacar estos, sumergiendo las muestras en solución líquida del ácido mencionado. Los compuestos sulfurosos acabaron desapareciendo más o menos rápidamente, en este caso fue posible ver algo de oro libre, constatándose que la granulometría de este metal es realmente muy fina.

El siguiente grupo de pruebas consistió en tostar el mineral con quemadores a gas por un determinado lapso de tiempo, para posteriormente moler y amalgamar tal como lo hacen los mineros. La primera duda que surgió fue saber si realmente tostar o quemar pizarras ayudaba al proceso, la segunda interrogante fue saber hasta donde era efectivo tostar minerales en un rango sumamente variable de tamaños de grano, desde centímetros hasta micrones, ya que se sabe por experiencia que es más efectivo tostar minerales en granos pequeños, cuanto más fino mejor.



*Tostado del mineral con quemadores a gas, nótese el color del producto tostado.*

Algunos mineros de Untuca, muy gentilmente compartieron toda su experiencia con el equipo técnico de MEDMIN, explicando detalladamente la manera da quemar el mineral y el uso de sus quimbaletes de manera práctica, tal como se puede ver en las imágenes siguientes:



*Un minero de la zona se prepara para quemar el mineral*



*Proceso de quemado, aprovechando los fuertes vientos de la región*



*El trabajo es muchas veces familiar, con participación activa de la esposa*



*El mineral quemado está listo para moler y amalgamar en quimbalete*



*Técnico de MEDMIN replicando el quemado con el sistema de Untuca*

## PRUEBAS DE LABORATORIO

Dadas las limitaciones de material y equipo en la zona de trabajo, fundamentalmente para responder a algunas interrogantes técnicas, fue necesario llevar hasta la ciudad de La Paz una determinada cantidad de muestras minerales para continuar con las pruebas experimentales y validar los resultados.

En este trabajo fue importante examinar la ocurrencia del oro, desde el punto de vista de sus posibilidades de tratamiento metalúrgico, como sigue:

Oro en estado metálico o nativo.

Oro libre asociado a ganga silíceo o cuarzo.

Oro libre asociado a pirita, arsenopirita y otros minerales menores.

Oro formando telururos y otros compuestos minerales menos frecuentes.

Oro en cualquiera de sus formas, asociado a sulfuros metálicos.

Oro formando solución sólida con otros elementos.

La caracterización mineralógica, química y metalúrgica del mineral es determinante para la selección del proceso o procesos de concentración que permitan la mayor y más eficiente recuperación del oro.



*Equipo de amalgamación*



*Equipo de molienda*





*Pruebas de molienda con mineral de Untuca*



*Las molienda tiene por objeto liberar el oro*



*Uso de una chuía mecánica*



*Separación de amalgama de los relaves*



*Pruebas de tamizado para determinar tamaño de grano.*



*Secado de las muestras.*

Los resultados preliminares, mostraron que la tostación no tiene un efecto sustancial en la recuperación del oro, la recuperación está íntimamente ligada a otros factores tales como el tamaño de grano del oro y al grado de molienda que se obtiene en los quimbaletes.

El oro de la zona de Untuca es bastante fino y poroso, esto hace que su densidad aparente sea menor y por lo tanto no se amalgama, flota en el agua (este aspecto fue experimentalmente comprobado) y abandona fácilmente la batea del quimbaleta juntamente al agua de rebalse, de ahí la ley alta de los relaves y el interés de los compradores en estos. El oro muy fino no puede ser amalgamado, es en cambio muy apto para la cianuración. El mercurio atrapa muy bien a los granos de oro cuando estos están libres, limpios y en un rango de tamaño aproximado de 70  $\mu\text{m}$  – 1.5 mm. Si el tamaño de grano es mucho más fino, como en este caso, se presentan problemas en la amalgamación.

Al parecer, la tostación del mineral es una costumbre sumamente arraigada en la zona, pero cuyo fundamento técnico no está demostrado. Los mineros indican que deben necesariamente tostar su mineral por unas doce horas y dejar que las cenizas se enfríen naturalmente, porque si aceleran el enfriamiento por ejemplo con agua, el oro no se amalgama y no se recupera bien, este hecho no tiene una explicación lógica y es mas bien una tradición que ellos la aceptan como verdadera.

Adicionalmente, se contó con otras dos fuentes de verificación que confirmaron que el oro en la zona de Untuca es bastante fino:

- La Empresa está instalando una planta de flotación para recuperar el oro fino (Ref. Ing. V. Huanca). Las partículas cuyo tamaño es superior a 0,2 mm (65 # Ty) no son flotables, debido a su peso, por tanto se puede concluir que la empresa también comprobó que el oro presente en el yacimiento es muy fino.
- Los compradores de relaves verifican el contenido de oro en la carga con una puruña, la cantidad de oro libre en la muestra les da una idea del contenido de oro y en base a este simple ensayo pagan al minero, este oro no pudo ser atrapado por el mercurio y escapó del quimbaleta.



*Después de la molienda y amalgamación en los quimbaletes  
los mineros reúnen los relaves para ser comercializados*

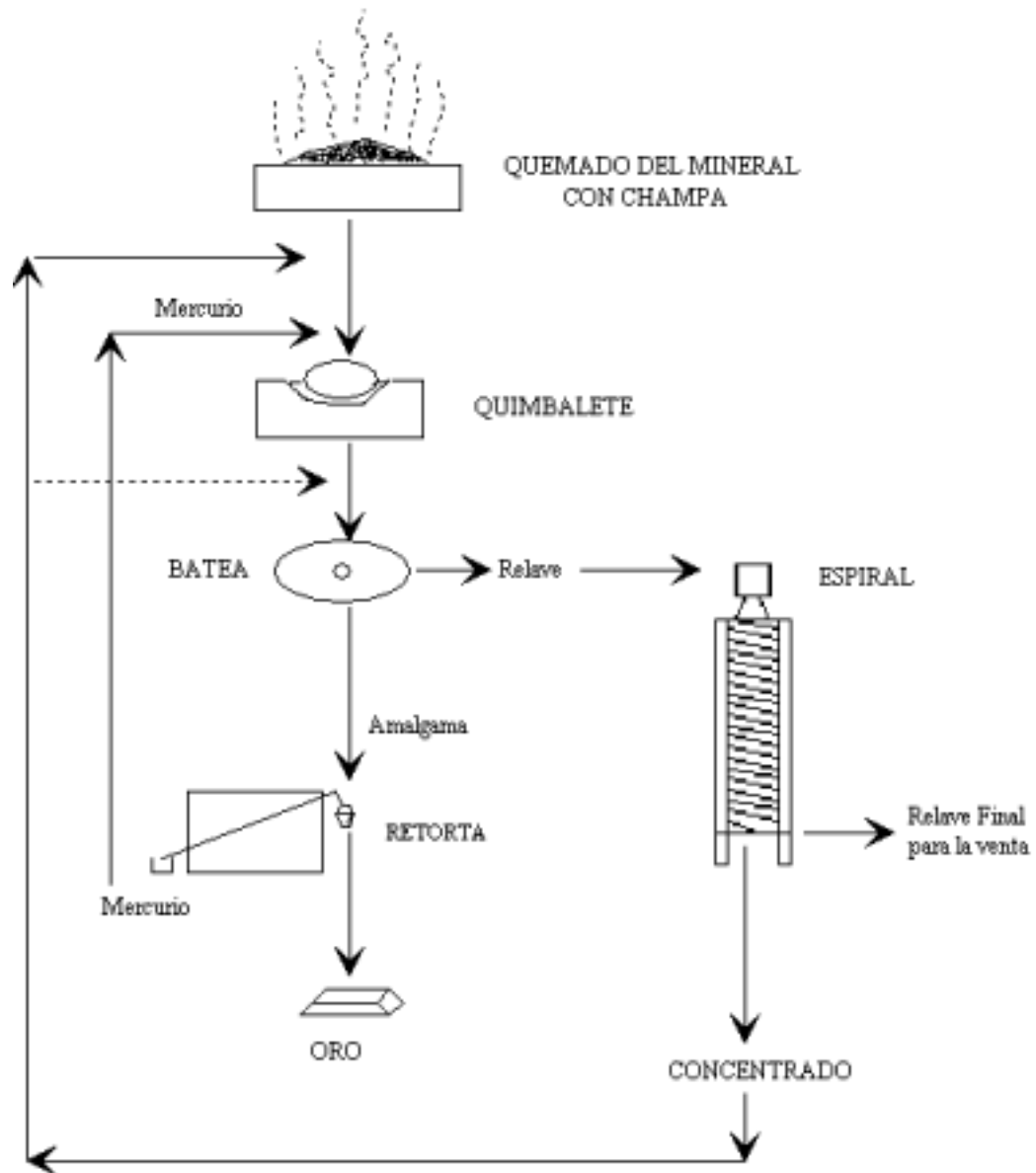


*Sacos conteniendo los relaves listos para su venta.  
Cada saco contiene aprox. 50 kg. de relave*



*El comprador ensayando la "ley" de los relaves  
con una puruña*

## PROCESO MEJORADO

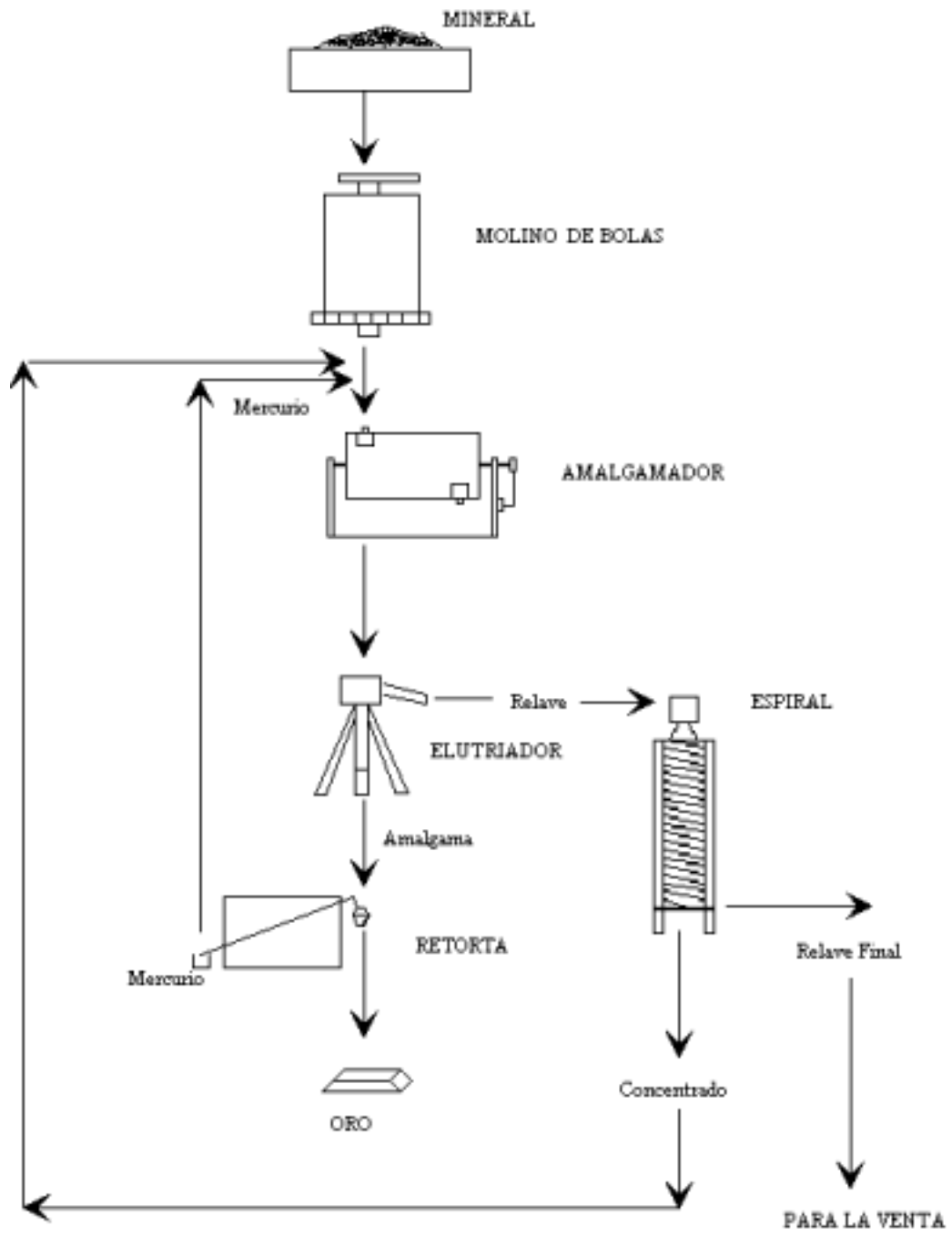


Aquí se ve una espiral Reichert que recupera el oro fino libre en forma de concentrado, que los mineros pierden en sus relaves; este concentrado puede retornar al quimbaleta para una posterior remolienda y amalgamación o en su defecto directamente a amalgamación. La retorta permite recuperar el mercurio de la amalgama y su recirculación al quimbaleta.

Este esquema de procesamiento no solo mejora la recuperación de oro, sino que también facilita el control del mercurio utilizado, un buen porcentaje del mercurio pulverizado en el quimbaleta se recupera en el concentrado de la espiral.

Además, inicialmente no introduce cambios traumáticos en el proceso tradicional porque se mantiene el quemado con champa y el uso del quimbaleta, esto hasta lograr que los mismos mineros se den cuenta por ellos mismos que el quemado del mineral no mejora la recuperación de oro y que la recirculación de mercurio les permite ahorrar dinero, protegiendo simultáneamente el medio ambiente.

# PROCESO PROPUESTO



Este diagrama de flujo está formado por una etapa de molienda en molino a bolas, amalgamación del mineral molido en un tambor, separación amalgama - relave en un elutriador o hidroseparador, los relaves pasan por una etapa de concentración gravitacional en la espiral obteniéndose dos productos, un concentrado que retorna a la etapa de molienda o a la amalgamación y los relaves finales que recién pueden ser comercializados, esta etapa aumenta la recuperación de oro porque permite captar los valores incluidos en los relaves, los que normalmente se pierden cuando se usa solo el quimbalete. La amalgama del elutriador o hidroseparador pasa por la retorta en la cual se recupera, por un lado el mercurio para recirculación y el oro.

La adición del molino a bolas aumenta la recuperación del oro en el proceso porque permite una mayor liberación del metal de interés en un menor tiempo. La energía necesaria para mover tanto el molino como el tambor amalgamador no resultan ser un problema por que en la zona existen potenciales fuentes de generación de energía, tal como lo demuestra uno de los mineros quien mueve su quimbalete, aprovechando el momento de rotación de una rueda de agua para el impulso mecánico de la maquinaria. Las ruedas de agua son el aprovechamiento más simple de la energía de la corriente de agua, son aptas para el empleo en la zona, debido a sus variadas posibilidades de impulso mecánico directo de maquinaria de beneficio (tritadoras, molinos, jigs, amalgamadores, mesas concentradoras, etc.), las obras hidráulicas son sencillas, son fáciles de construir localmente con materiales del lugar y se caracterizan por sus costos muy bajos de operación, mantenimiento y reparación.

Esta alternativa técnica que resulta ser la más completa, sería aplicada siempre y cuando los mineros de Untuca cambien su sistema de trabajo de individual a un sistema centralizado tipo Cooperativa o Pequeña Empresa incrementando enormemente su capacidad de producción y logrando mayores beneficios.



*Quimbalete accionado por energía mecánica generada por una rueda de agua movida por el agua del río.*



## CONCLUSIONES

El mineral de Untuca está compuesto principalmente de pizarras, cuarzo y sulfuros de As y Sb (en ese orden).

El oro está presente en forma de partículas muy finas, granos menores a 0.15 mm, - 100 # Ty. Tiene un peso específico bajo, es poroso y laminar y puede flotar en el agua.

Si bien el quemado o tostado del mineral permite subir un tanto la recuperación, su efecto no es sustancial.

El Tostado con quemadores a gas, no mejora el proceso de quemado con “champa”, si bien reduce el tiempo de tostado el costo de este combustible es un problema que hay que tomar en cuenta.

El quemado permite eliminar parte de los sulfuros existentes en el mineral.

La liberación del oro depende del grado de molienda que se pueda obtener en el quimbaleta.

El mercurio puede atrapar solamente hasta determinado tamaño de grano de oro (mayores a 70  $\mu\text{m}$ ). Oro más fino es difícil de amalgamar.

Se recomienda activar o limpiar el mercurio antes de ser utilizado en la amalgamación.

Definitivamente, quienes realmente salen favorecidos con el proceso quemado-molienda-amalgamación, son los compradores de relaves, porque reciben mineral tostado, molido, con oro fino libre, y esta carga es ideal porque ya está preparado para un proceso directo de cianuración.

Mientras se siga desarrollando el trabajo de manera individual, es muy difícil introducir mejoras técnicas que permitan mejorar la capacidad de producción de los mineros en la zona.

Desde ese punto de vista la labor de Gestión Empresarial, será muy importante para concientizar a los mineros de que deben unir esfuerzos para mejorar las condiciones de su trabajo y desarrollar una actividad minera sostenible.

Las respuestas a los problemas que se enfrentan al presente en la zona de Untuca, deben ser exploradas y buscadas en un examen y análisis de la disponibilidad de los recursos minerales, los recursos de energía requeridos para la extracción y beneficio del oro y, los efectos en el medio ambiente que acompañan al trabajo minero.



*Camino nuevo entre Llactapata y San Miguel*



*Reunión con los mineros en San Miguel*



*Equipo entregado por el Proyecto a los mineros*



*Minero recibiendo material sobre Seguridad Minera  
y textos referidos a Medio Ambiente*



*Reunión con los mineros en San Miguel*