

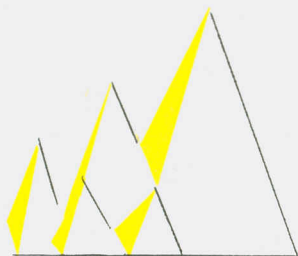


REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio de Minas y Energía



Procesamiento de Minerales Auríferos

Técnicas para la Extracción Aurífera
Procesos de Cianuración y
Almagamación



Cartilla No. 2

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

Directiva

Ministro:

Jorge Eduardo Cock Londoño

Viceministro de Minas:

Silvio Mejía Duque

Secretario General:

Eduardo Afanador Iriarte

Secretaria Privada:

Vivian Cock Ordoñez

Director Técnico de Minas:

Víctor Manuel Rivera Monsalve

Autor

Jorge Vásquez García

Colaboradores:

Manuel Acevedo López

María Chérie González C.

Lilian Rivera Peña

José David Castañeda H.

CONTENIDO

PRESENTACION	I
INTRODUCCION	II
Técnicas para Extracción Aurífera - Procesos de Cianuración y Amalgamación	3
1. El Proceso de Cianuración	6
1.1 Variables que Influyen en la Disolución de Valores	6
2. El Mecanismo de la Cianuración	9
2.1. El Sistema de Cianuración por Percolación	9
2.2 Cianuración por Agitación	11
3. El Proceso de Amalgamación	15
3.1. Factores que Afectan la Amalgamación	16
3.2 Amalgamación en la Pequeña Minería	19
4. Procesamiento de Metales Preciosos en Depósitos Aluviales	19
4.1 Minería Artesanal	20
4.2 Pequeña Minería	21
4.3 Mediana Minería	21
4.4 Gran Minería	22
5. Secuencia Fotográfica que Ilustra los Problemas Metalúrgicos más Comunes que Presentan el Procesamiento de Minerales Auríferos Tanto a Nivel de Filón Como de Aluvión	24
6. Investigación Metalúrgicas Realizadas en el Distrito Minero de Marmato - Caldas	31
6.1 Procesamiento de Minerales en la Zona Alta	31
6.2 Procesamiento de Minerales en la Zona Baja	36

CONTENIDO

FIGURAS

1. Representación Esquemática del Procesamiento de Minerales Filonianos. 4
2. Presentación Esquemática del Procesamiento de Minerales Aluviales 5
3. Planta de Cianuración por Percolación 10
4. Tanque Agitador Pachuca 12
5. Llegada Simultánea de una Partícula de Oro (Rayada) y Otra de Cuarzo a la Interfase Mercurio - Agua 15

DIAGRAMAS

1. Tratamiento y Beneficio de Minerales Auro- Argentíferos por cianuración 14

PRESENTACION

La minería de metales preciosos ha sido históricamente una actividad de gran importancia para el país. La mayor parte del oro, es producido por la pequeña y mediana minería, aunque sin introducir los cambios requeridos en el sistema de procesamiento de los minerales que permitan incrementar el porcentaje de extracción que actualmente se obtiene.

EL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA y la Empresa Minerales de Colombia, S.A., "MINERALCO", firmaron el Acuerdo No. 12, con el propósito de fomentar, difundir y hacer accesible la transferencia de tecnología hacia la pequeña y mediana minería en el área del procesamiento de los minerales auríferos, dentro de un marco de preservación ambiental.

En ese sentido el MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, preparó este documento de PROCESAMIENTO DE MINERALES AURIFEROS, conformado por tres cartillas, con el deseo de que sirva como una guía para buscar el mejoramiento sustancial del rendimiento, mediante una mayor recuperación de los metales preciosos, ofreciendo técnicas que garanticen una verdadera racionalización de la operación minera.

Nuestra meta: "Preservar el medio ambiente sin detener el desarrollo minero."


JORGE EDUARDO COCK LONDOÑO
Ministro de Minas y Energía



INTRODUCCION

A pesar de la importancia que tiene para el país la explotación de los recursos mineros auríferos y de que la pequeña y mediana minería contribuyen con el 80% del total de la producción nacional, se carece de una metodología técnica adecuada para la explotación y el procesamiento de estos recursos mineros, lo que se traduce no sólo en un nivel muy bajo de productividad sino que ha ocasionado efectos negativos para el medio ambiente. Un ejemplo de estos efectos negativos es muy común en la pequeña minería, cuyas contaminaciones por el uso irracional del cianuro y del mercurio pueden disminuirse considerablemente aplicando procedimientos simples y alternativas tecnológicas.

El Ministerio de Minas y Energía ha considerado la necesidad de fomentar el desarrollo de la actividad aurífera, en condiciones técnicas que conduzcan a un aprovechamiento integral del recurso y a la conservación del medio ambiente. En este sentido, esta cartilla sobre "Técnicas para la extracción aurífera". -Procesos de cianuración y amalgamación-, está dirigida a personas y entidades dedicadas a la actividad minera, con la finalidad de orientarlas hacia el mejoramiento de las técnicas que actualmente se emplean en el sistema productivo y que puedan reflejarse en un corto plazo en el incremento de la recuperación de valores .

TECNICAS PARA LA EXTRACCION AURIFERA PROCESOS DE CIANURACION Y DE AMALGAMACION

El oro se extrae en grande escala de vetas o filones y de los depósitos aluviales, llamados placeres. Ver Figuras 1 y 2.

La extracción del oro en forma libre que se presenta en los aluviones y vetas no ofrece dificultades técnicas en términos generales, pues en los primeros la operación se reduce a batir el aluvión, desintegrándolo totalmente obligando toda la carga que se extrae a pasar por largos canalones, con una inclinación tal que permita el paso del agua en donde el oro, junto con las arenas negras (jaguas), se precipita debido a su mayor densidad, quedándose en los rifles o mallas que se colocan en el piso de los canalones, donde forma aleaciones físicas con el mercurio agregado en los primeros tramos de este equipo.

En las vetas el oro libre se recupera luego de triturar y moler finamente el mineral en equipos apropiados como trituradoras de quijadas, molino de bolas, molino de varillas, molinos californianos y molinos antioqueños. El oro liberado puede recuperarse por procesos de concentración gravimétrica (mesas rayadas y batea), como se hace en la Zona Alta de Marmato, Caldas; por amalgamación en etapas discontinuas en pequeños molinos de bolas ("granuladores"), tal como ocurre en pequeños entables en el Nordeste Antioqueño; y por lixiviación con cianuro, luego que este oro libre se combina con el que está asociado a sulfuros polimetálicos previamente concentrados, tal como se opera a nivel de mediana minería en la Compañía Frontino Gold Mines, Segovia, Antioquia y en Mineros Nacionales, Marmato, Caldas.

Los métodos para el tratamiento de la recuperación aurífera a partir de minerales asociados con oro, depende del tipo de mineralización. La mayor parte de los minerales auríferos están comprendidos en 2 clases principales:

- Minerales en los cuales la oxidación de los sulfuros es esencialmente completa. Una parte del oro está libre; otra parte ocurre en la matriz porosa de los productos de oxidación y el resto ocluido por la ganga. Procesos combinados de cianuración y concentración usando flotación recuperan estos tipos de oro.

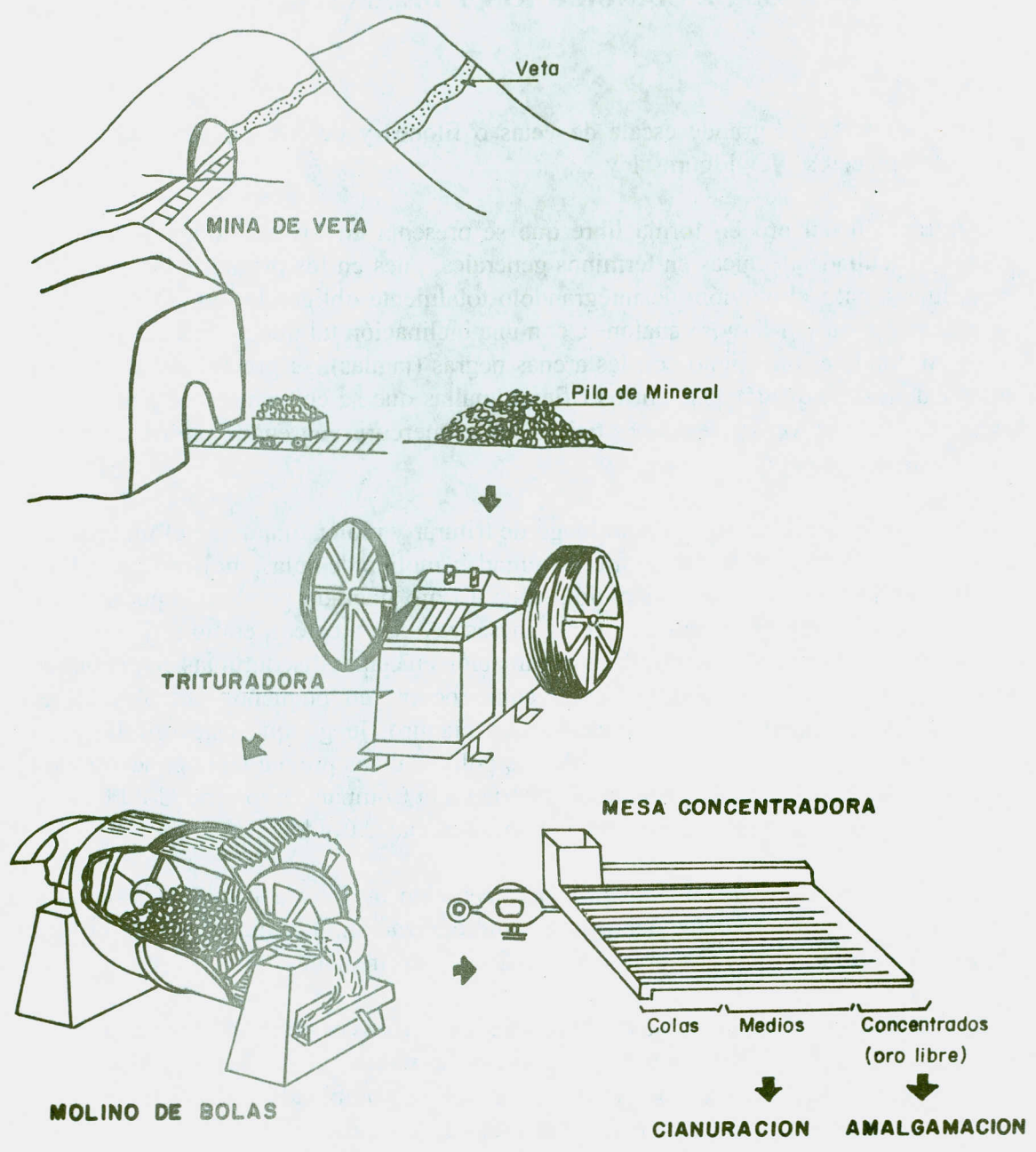


Fig. 1: Representación Esquemática del Procesamiento de Minerales Filonianos .

MINA DE ALUVION

5

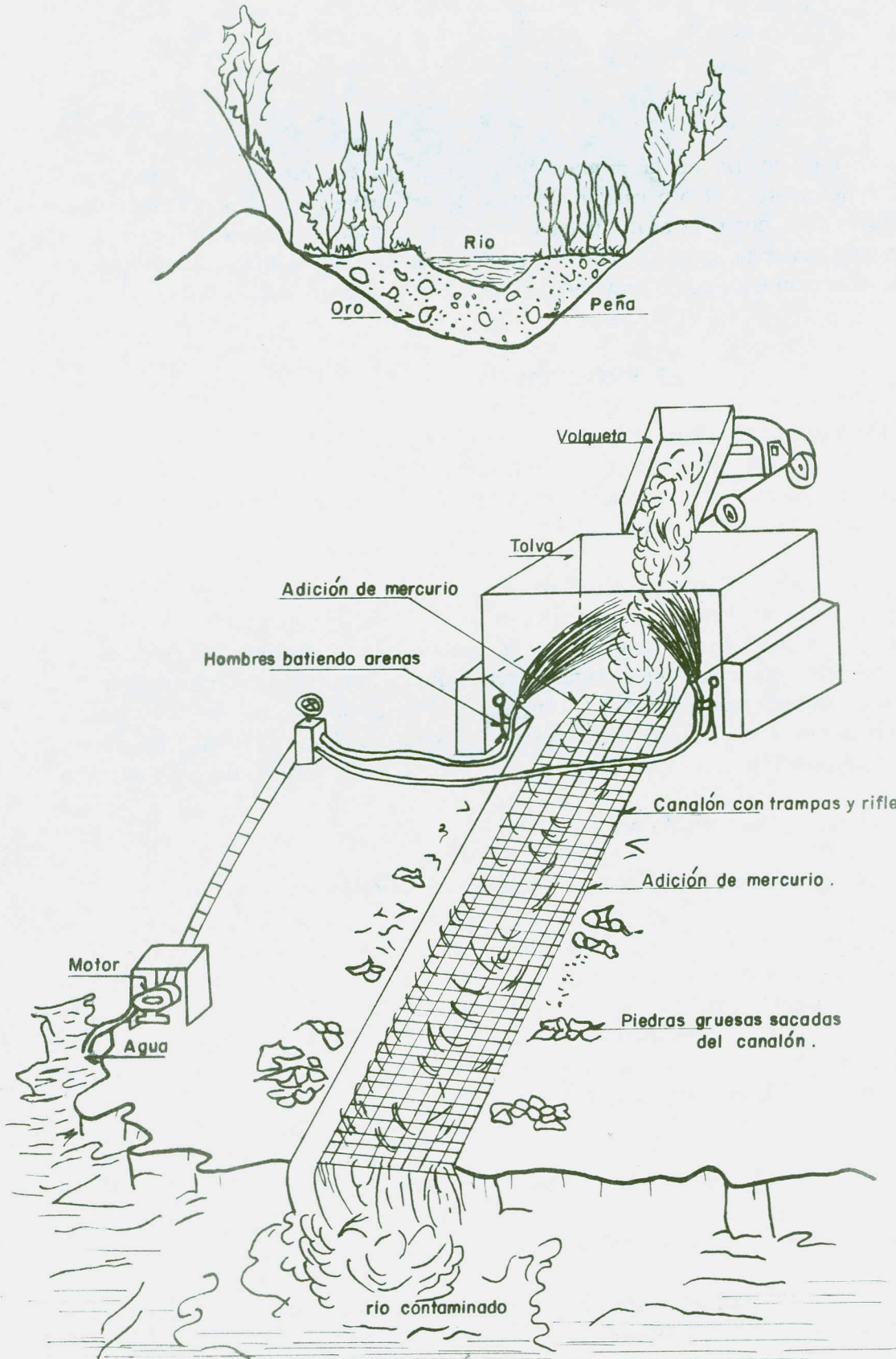


Fig. 2 : Representación Esquemática del Procesamiento de Minerales Aluviales.

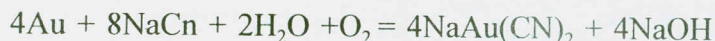
- La mayoría de la producción mundial de oro proviene de este tipo de minerales: parte del oro está libre en su forma metálica y el resto asociado con sulfuros tales como la pirita, galena y arsenopirita en ganga no sulfurada. El oro presente en esta clase de minerales es tratado por métodos combinados de concentración tales como gravimetría, flotación y cianuración .

1. EL PROCESO DE CIANURACION

La habilidad del cianuro para disolver minerales de oro ha sido conocida desde el principio del siglo 19, pero no fue comercialmente explotado hasta finales de 1890. Aún actualmente, la cianuración en sus varias formas continúa siendo el método dominante para la lixiviación del oro.

La cianuración consiste en términos generales en el tratamiento por percolación, agitación de las arenas, concentrados o residuos de amalgamación portadores de valores con una solución de cianuro. Esta sustancia tiene la propiedad de disolver el oro y la plata contenidos en el mineral, sea en forma libre o haciendo parte molecular de los sulfuros, recuperándose los metales nobles de la solución por la acción de precipitantes como zinc - en polvo y viruta, carbón activado, aluminio o electrodeposición ; luego serán purificados por medio de secado, fusión y afinación.

El proceso está gobernado por la reacción:



o sea, cuando superficies frescas de oro se exponen a la acción del cianuro en una solución acuosa que contenga oxígeno libre, se forma un complejo aniónico y un hidróxido alcalino. Esto es posible debido a que las soluciones de cianuro alcalino atacan de preferencia los metales valiosos y no se combinan - al menos en cantidad muy apreciable - con los elementos secundarios, no valiosos. Esta propiedad de las soluciones de cianuro se llama "acción selectiva".

1.1. VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA DISOLUCION DE VALORES

Los factores principales que influyen son:

1.1.1 **La Concentración de Cianuro.** La razón de consumo de cianuro al oro disuelto es de 2 moles para cianuro a 1 mole para oxígeno. Por lo tanto, la velocidad de disolución de oro es la mitad de la velocidad de consumo de cianuro.

Se ha atribuido la disminución en la velocidad en concentraciones de cianuro altas, a la causa obvia, es decir, el incremento del pH de la solución.

1.1.2. El Consumo de Oxígeno. La velocidad de disolución de oro es el doble de la velocidad del consumo de oxígeno. Debido a que el oxígeno es necesario para la disolución de oro, cualquier reacción colateral, en la cual la solución de cianuro sea despojada en su contenido de oxígeno produce una disminución en la velocidad. Es el caso de la pirrotina; en medio alcalino se descompone para formar hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y azufre. El hidróxido en presencia de oxígeno se oxida fácilmente a hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, lo cual contribuye a la disminución del oxígeno en la solución.

1.1.3 Naturaleza Física de la Superficie. Existe la evidencia de que la naturaleza física de la superficie del metal provoca reacciones colaterales durante la disolución.

1.1.4 Efecto del Area Superficial. Como en el caso de cualquier reacción heterogénea, la velocidad de disolución es directamente proporcional al área superficial. Hay una relación lineal entre el tamaño de partícula de oro (10 a 100 micras) y el tiempo requerido para su disolución.

1.1.5 La Rapidez de Agitación. La velocidad de disolución de oro y plata en soluciones de cianuro se incrementa con la rapidez de agitación; sin embargo, para el caso del oro la velocidad se incrementa únicamente hasta una cierta rapidez de agitación (150 RPM), después de la cual disminuye y permanece casi constante.

1.1.6 La Presión Parcial del Oxígeno. Como se mencionó anteriormente, el oxígeno es esencial para la disolución del oro y la plata en soluciones de cianuro. El aire atmosférico es el agente oxidante universal utilizado en las plantas de cianuración.

A concentraciones de cianuro altas (mayor de 0,1% de NaCN), la velocidad de disolución es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno. A concentración baja de cianuro (inferior a 0,1%) y presión de oxígeno alta, la velocidad de disolución depende únicamente de la concentración de cianuro.

1.1.7 Temperatura. Podría esperarse que el incremento de la temperatura aumentará la velocidad de las reacciones de disolución, pero disminuirá el contenido de oxígeno en la solución. Por consiguiente, debe haber una temperatura óptima para la velocidad máxima de disolución de oro y plata. Se ha encontrado que la velocidad máxima ocurre a temperaturas entre 80-85°C. La descomposición de cianuro es apreciable arriba de 110°C.

1.1.8 Iones Extraños . La mayor parte del oro se encuentra como metal nativo, casi

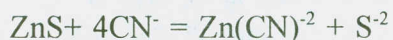
todo aleado con diferentes cantidades de plata. Ciertos minerales están asociados característicamente con oro; los más importantes son: pirita, galena, blenda, estibina, arsenopirita, pirrotina y calporita. En algunos casos se tiene materia carbonosa asociada con minerales de oro. Los minerales de ganga más comunes son : cuarzo, feldespatos, mica, arcilla y calcita.

No obstante, que los minerales de ganga son insolubles en soluciones de cianuro, algunos minerales metálicos son solubles en alguna medida. La materia carbonosa en minerales de oro, causa dificultades porque adsorbe el complejo auro - cianuro.

Los iones extraños en el proceso de cianuración pueden tener un efecto acelerante o retardante; las sales de plomo y las de mercurio en pequeñas cantidades aceleran la disolución. La adición de las sales de plomo es una práctica común dirigida a cancelar el efecto dañino de los sulfuros. En exceso pueden causar retraso en la velocidad de disolución de oro.

1.1.9 Consumo de Cianuro libre en Solución:

- **Formación de cianuro complejo.**- Algunos minerales de cobre, zinc y hierro que pueden estar asociados con minerales de oro se disuelven en solución de cianuro, disminuyendo su contenido. Por ejemplo la esfalerita (ZnS):



- **Formación de Tiocianato:** Cuando la mena contiene minerales sulfurosos, el ión sulfuro liberado reacciona con cianuro y oxígeno para formar ión tiocianato (CNS^-), el cual no reacciona con el oro.

1.1.10 Formación de una Película sobre la superficie del Metal.

- **Sulfuros:** Se conoce bien el efecto retardante del ión sulfuro en solución de cianuro. Puede observarse que una cantidad tan pequeña como 0,5 ppm retarda la disolución, al formar una película de sulfuro - auroso insoluble sobre el oro, que lo protege de la disolución.

- **Peróxidos:** El ión calcio no tiene efecto en la disolución de oro. Sin embargo, a pH mayor de 11,5 la velocidad de disolución se reduce notablemente, y puede deberse a la formación de peróxido de calcio (CaO_2 , formado por la reacción de calcio con peróxido acumulado en solución).

- **Xantatos.** La velocidad de disolución disminuye con la adición de una

cantidad tan pequeña como 0,4 ppm de etil xantato de potasio (xantato aéreo 325 de la Cyanamid). Esto se presenta cuando se utiliza la flotación, antes del proceso de la cianuración, para concentrar minerales polimetálicos con los que el oro está asociado. La superficie del oro toma un color rojizo.

2. EL MECANISMO DE LA CIANURACION

El proceso de la cianuración puede llevarse a efecto de 2 maneras:

- Cianuración de todo el mineral, bien sea por percolación o por agitación.
- **Concentración y luego cianuración.** La concentración gravimétrica y/o por flotación del mineral problema, se hace con el fin de eliminar el material estéril, el cianicida, el refractario, etc, y así lograr un concentrado de alto tenor, que luego de extraerle el oro y la plata por cianuración, permita la recuperación de los sulfuros polimetálicos (pirita-blenda - galena), en un grado comercial dándole un mayor valor agregado al proyecto.

2.1. EL SISTEMA DE CIANURACION POR PERCOLACION

El sistema de percolación es el más popular en el país dada la facilidad de su construcción (adobe, arena, cemento), operabilidad y economía. Se considera que hay en actividad unas 500 plantas, de las cuales existen unas 120 en el Noreste Antioqueño, especialmente en las poblaciones de Segovia y Remedios. La capacidad es de unas 30 toneladas de arenas auríferas; en promedio el proceso dura hasta 30 días y consta de 3 unidades, ver figura No. 3. **El tanque principal**, en el cual las arenas auríferas se lavan, se alcalinizan y se lixivian con cianuro; **la caja de precipitación**, de 4 ó 5 compartimientos, donde la solución cianurada que porta los valores de oro y plata se pone en contacto con viruta de zinc; este metal desaloja los valores de la solución y ocupa su lugar, dado que tiene una mayor atracción química por el cianuro que por el oro y la plata. El precipitado que es una masa pastosa de color oscuro queda retenido en el interior de los compartimientos (El 60% de valores en el 1º, el 40% repartido en los otros); **el tanque de solución pobre**, el que recibe la solución que sale por gravedad de la caja de precipitación y a través de una bomba de succión la recircula, es decir,

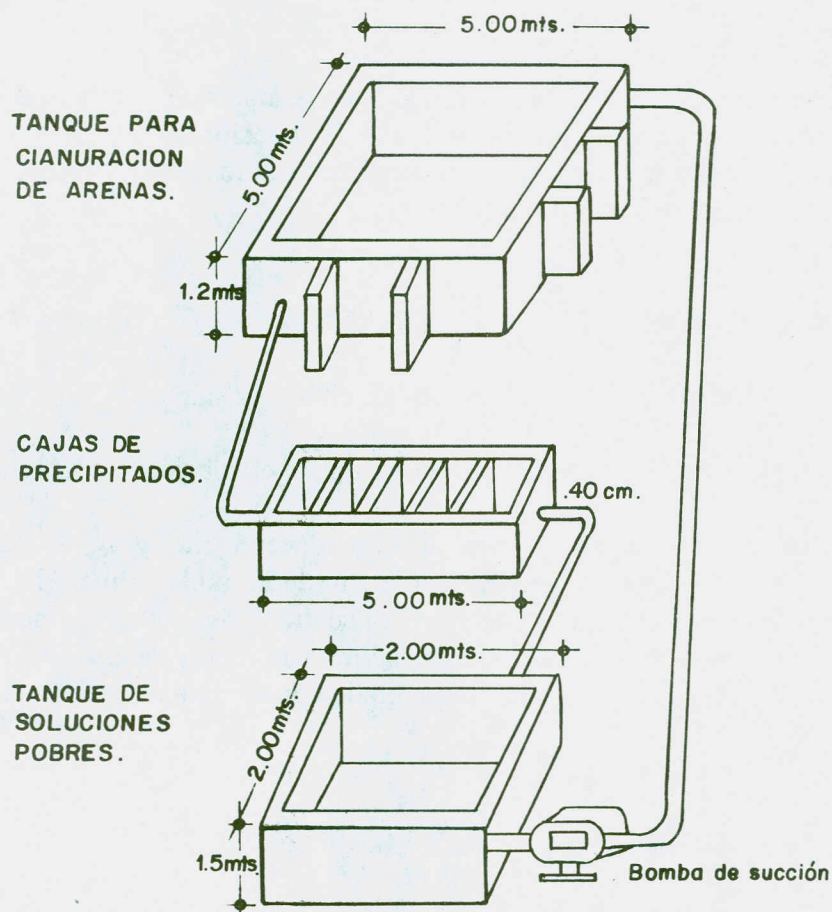


Fig. 3 : Planta de Cianuración por Percolación
Capacidad : 40 Toneladas .

va al tanque cianurador para iniciar el ciclo. Este tanque en promedio tiene una capacidad de 4 a 5 metros cúbicos.

2.1.1 ETAPAS QUE DEBEN SEGUIRSE PARA EFECTUAR UNA BUENA CIANURACION POR PERCOLACION

- **Cargar el Tanque con las Arenas Auríferas** que se van a cianurar, dejando en la superficie una área libre de 30 centímetros de altura.

Es de anotar que si las arenas portan oro en forma libre y grueso, es necesario extraerlo previamente sea por amalgamación, en mesa rayada o vibratoria, etc, por el hecho de que éstas partículas no se disuelven totalmente en la solución de cianuro o lo hacen al cabo de mucho tiempo.

- **Lavar las Arenas** con agua limpia y reactivos como cal, carbonato de sodio,

soda cáustica, y otras hasta eliminar la acidez y sales descompuestas si las hay. Seguir las instrucciones que aparecen en los análisis de control para los procesos de cianuración.

- **Alcalinizar las Arenas** hasta alcanzar un $\text{pH} = 10$, ya sea con cal, carbonato o hidróxido de sodio.

- **Alcanzada la alcalinidad**, agregar el cianuro de sodio al tanque percolador de tal modo que su concentración se mantenga entre 1,2 a 1,4 kilos de cianuro por metro cúbico de solución. Se deja en reposo el mineral y la solución alcalina de cianuro, para que percole (filtrar) a través de los espacios que dejan los tamaños diferentes de los granos mineralizados y baje disolviendo los valores, durante un tiempo mínimo de 24 horas. Después de este tiempo, dejar salir lentamente la solución que al pasar por las cajas de precipitación, y al tener un tiempo de contacto suficiente con el zinc se inicie la depositación de valores sobre este metal. Al final del drenaje se abre completamente la llave de descarga, estimulando el ingreso de aire.

La solución pasa por gravedad al tanque de solución pobre, donde una bomba de succión la recircula.

- **Al Cabo de 8 a 10 días se considera que está terminando el proceso de disolución de valores.** Esto se da cuando no haya consumo de cianuro, es decir, su concentración permanece constante.

- **El precipitado es retirado de las cajas de precipitación**, secado, homogenizado y cribado sobre tamiz No. 30 (para eliminar trozos de zinc metálico que no reaccionó, llamados "cortos").

- **Fundición del precipitado** en crisol de grafito con flujo en base a carbonato de sodio, bórax y nitro. El botón resultante contiene generalmente entre 20 a 25% por peso de oro y plata, el resto son impurezas como zinc, plomo, cobre, hierro, etc.

2.2. CIANURACION POR AGITACION

A diferencia de la percolación, que permite el tratamiento de grandes volúmenes de arenas auríferas con tenores bajos y medianos, la cianuración por agitación beneficia minerales con valores por encima de 50 gramos por tonelada, es decir, minerales que han sido previamente concentrados para incrementar sus tenores. Lo que significa que su utilización es para mediana y gran minería.

El equipo agitador es un tanque cilíndrico estilo Pachuca, ver figura No. 4, de mucho más altura que diámetro, donde la agitación de la pulpa se efectúa mecánicamente por una propela unida a un eje que gira a 300-350 revoluciones por minuto, y/o por la introducción de aire a presión. Este tanque termina en cono, con una pendiente de 15 grados y la capacidad promedio que se usa en pequeña minería es de 3-4 toneladas de concentrados auríferos.

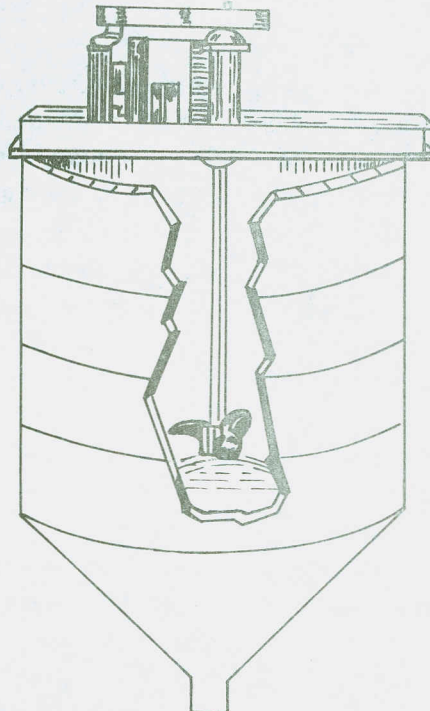


Fig. 4 : Tanque Agitador Tipo Pachuca

La precipitación de los valores presentes en la solución del procesamiento por agitación se efectúa con zinc en polvo (Proceso Merrill - Crowe), que es el utilizado por la compañía Frontino Gold Mines en Segovia, Antioquia y por Mineros Nacionales, en Marmato - Caldas. Recientemente, dos nuevos sistemas de recuperación de oro emplean carbón activado como precipitante, debido a su habilidad de adsorber complejos de oro de las soluciones lixiviadas por cianuro: Carbón en pulpa y carbón en Lixiviación.

En el proceso de recuperación convencional Merrill - Crowe, la solución rica es separada de los sólidos en la pulpa por espesamiento y/o filtración, seguida por clarificación en arena diatomácea. Luego se quita el oxígeno de la solución mediante una torre de vacío, agregándose polvo de zinc para precipitar el oro.

El zinc cargado de oro se separa de la solución estéril por filtros - prensa o filtros de placas, luego el precipitado es secado y fundido.

2.2.1 La precipitación con carbón activado. Teoría del Carbón activado. El carbón

activado es el único agente usado para la recuperación, separación y purificación de muchas sustancias. A partir de 1950 en Europa y Estados Unidos se utilizó como un material adsorbente de productos orgánicos en agua de desperdicio.

Los procesos básicos de activación son la carbonización y la oxidación, los cuales corroen selectivamente la superficie, crean porosidad, incrementando así el área superficial que juega un papel importante en la adsorción. Una de las características más singulares del carbón activado es la estructura porosa: los **macroporos** constituyen aproximadamente el 5% de la superficie activa y son de 1000-2000 Å de diámetro; los **microporosos** son menores de 20 Å en diámetro y son los más importantes ya que alcanzan el 95% del área superficial disponible. En resumen, los porcentajes de adsorción dependen del diámetro del poro y del área superficial, siendo un factor poco determinante la reactivación química.

Carbón en Pulpa: El circuito de carbón en pulpa difiere del circuito Merrill - Crowe en que después de la cianuración convencional, la pulpa se transfiere a los circuitos de adsorción de oro, el cual consiste en varios tanques de agitación en serie (tres o más). La pulpa lixiviada se alimenta a un extremo y fluye en contracorriente a la pulpa: los tamaños del carbón activado, entre 6 y 16 mallas, se adicionan en el evento de operar con 3 tanques en el número 3, avanza al 2 y luego al número 1; la pulpa se mueve del 1 al 2 y luego al 3 por gravedad.

El carbón activado usado en el proceso es medido de tal manera que pueda separarse de la pulpa usando cribas. Una vez que el carbón portador de valores es removido del circuito de adsorción es enviado a la sección de despojo, donde una solución caliente de cianuro y soda cáustica es usada para lavar los metales preciosos; luego se bombea a las celdas electrolíticas, donde el oro y la plata son tratados sobre cátodos de lana de acero. Estos cátodos cuando tienen carga suficiente son fundidos.

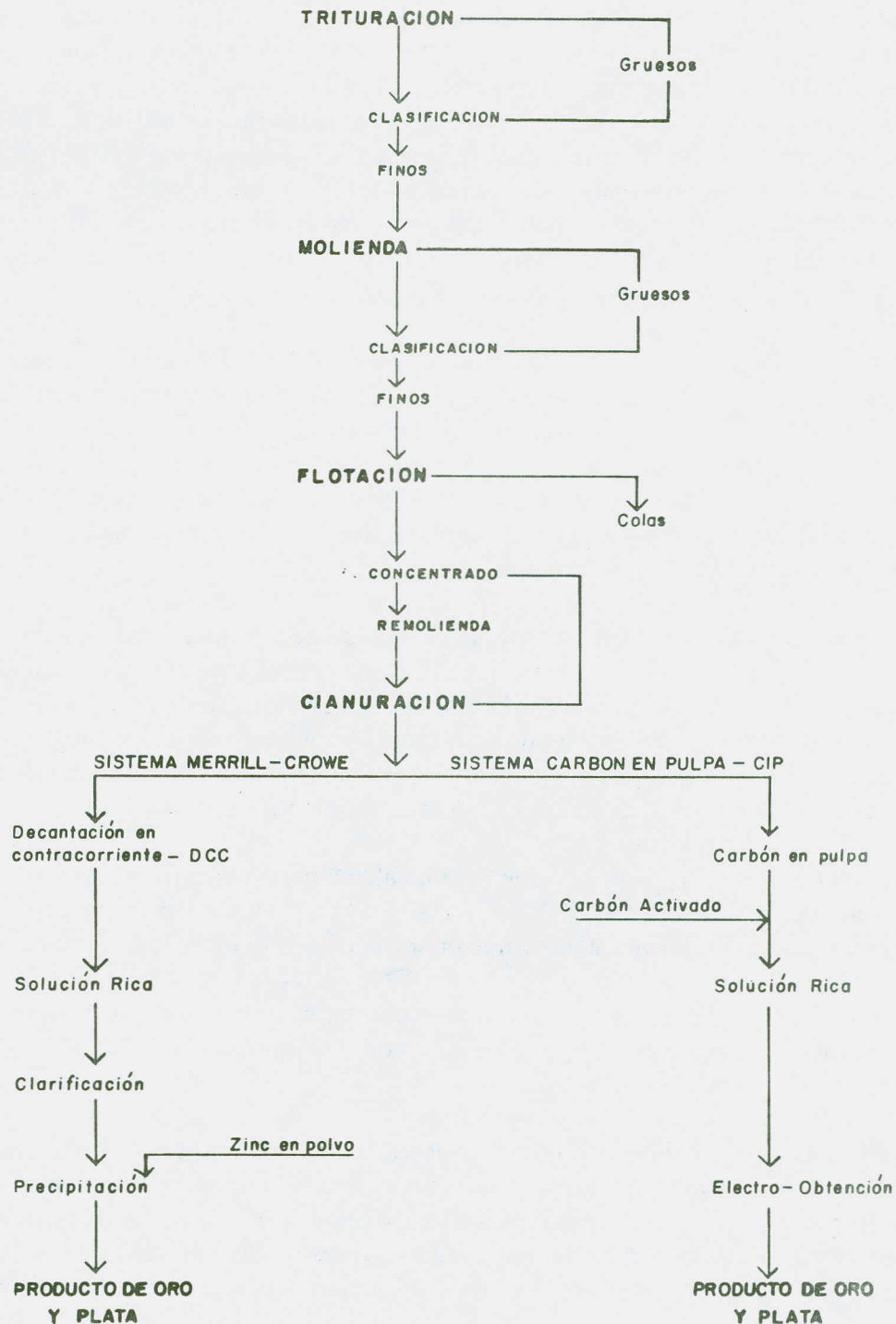
El carbón es regenerado por lavado ácido, calentamiento y molienda por atrición. Se prefiere casi exclusivamente el carbón activado de cáscara de coco, debido a su resistencia a la abrasión y a sus características de adsorción - regeneración.

El proceso de carbón en pulpa representa la más reciente tecnología para la recuperación de oro y plata y por muchas razones tiende a reemplazar la convencional técnica de precipitación por polvo de zinc.

Carbón en Lixiviación: Los circuitos de carbón en lixiviación difieren del circuito de carbón en pulpa, en que el carbón es agregado directamente al circuito de disolución con cianuro y la lixiviación - adsorción son efectuadas simultáneamente. Esto elimina la necesidad de un circuito separado de adsorción, pero limita la flexibilidad de operación. La selección del circuito depende de las características del

mineral.

Los procesos de Merrill - Crowe (zinc en polvo) y de carbón en pulpa son esquematizados en forma general en el siguiente Diagrama de Tratamiento y beneficio de minerales auro- argentíferos por cianuración.



3.

EL PROCESO DE AMALGAMACION

La amalgamación es un procedimiento de concentración en el que los metales nativos se separan de los minerales no metálicos de la ganga mediante mojado selectivo de la superficies metálicas por el mercurio en presencia de agua, mientras que es el agua el agente humectante selectivo de los minerales no metálicos. Esta separación se esquematiza en la figura 5.

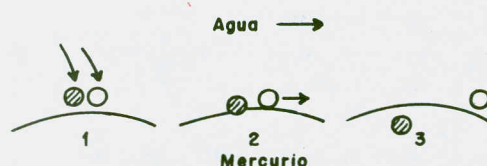


Fig. 5 : Llegada simultánea de una partícula de oro (rayada) y otra de cuarzo a la interfase mercurio-agua .

El mercurio suele fijarse, bien como una película relativamente espesa depositada sobre una placa cobrizada de plata, bien formando un pequeño remanso en una malla de un canalón. La mezcla de las partículas metálicas y no metálicas se hace deslizar sobre el mercurio por medio de una corriente de agua. Cuando las partículas no metálicas inciden sobre la superficie de mercurio, éste no las moja, y debido a la mayor densidad del mercurio, estas partículas quedan flotando y son arrastradas por la corriente. Cuando una partícula metálica choca contra la superficie de mercurio, este se extiende por la superficie de la partícula; según sea la densidad de la partícula metálica, pueden ocurrir dos hechos: el oro, con una densidad promedio superior a 17 se hunde, como se indica en la figura 5; la plata, con una densidad del orden de 10,5 flota, pero se mantiene inmóvil por efecto de la elevada tensión interfacial del agua-mercurio, 375 dinas por centímetro; y finalmente el cuarzo, con una densidad promedio de 2,6, es arrastrado por la velocidad del flujo fuera del canalón, que es el equipo recuperador de oro.

3.1 FACTORES QUE AFECTAN LA AMALGAMACION

La inclusión del oro dentro del mercurio es predominante un proceso de química de superficie, aunque el oro tenga una solubilidad finita en el mercurio. Las solubilidades de varios metales en el mercurio son dadas a continuación:

METAL

% SOLUBILIDAD POR PESO DE MERCURIO

Antimonio.....	2,9x10-5
Bario.....	0,33
Bismuto.....	1,4
Cobre	2x10-3
Estaño	0,62
Hierro.....	1,5x10-6
Oro.....	0,042
Plata.....	0,042
Plomo.....	1,3
Zinc.....	2,15

Generalmente la proporción de oro disuelto durante la amalgamación es aproximadamente el 5% del total presente en la amalgama. Los siguientes criterios son necesarios tenerlos en cuenta para una recuperación eficiente de los metales preciosos:

- El oro y la plata deben ser los **únicos constituyentes metálicos en la mena.**
- El grano de oro debe ser **mojado por el mercurio.**
- **La tensión superficial de agua- mercurio** debe ser lo bastante alta para que el oro mojado por el mercurio sea incluido en la burbuja mercuriosa.

El concentrado o producto mineral que porta el oro es puesto en contacto con el mercurio durante varias horas en condiciones de agitación, por ejemplo usando un barril rotatorio y una relación de oro a mercurio de 1 a 10 (proceso batch); o pasando una pulpa a través de una placa plateada cubierta de mercurio (proceso continuo). La amalgama cargada con oro puede separarse de los otros minerales por sedimentación previa a la remoción del exceso de mercurio por medio de filtración y destilación en retorta.

La destilación en retorta es importante para evitar la liberación a la atmósfera de vapores tóxicos y para recuperar el mercurio que vuelve a utilizarse, efectuándose a una temperatura superior al punto de ebullición (357°C), normalmente entre 500°C y 600°C. Estas temperaturas son similares a las que se aplican a la tostación (calcinación) de minerales polimetálicos auríferos portadores de elementos refractarios, para hacerlos accesibles al sistema de cianuración.

Las retortas son operadas bajo una presión ligeramente negativa y el vapor enfriado por debajo del punto de ebullición y colectado en el agua como mercurio líquido para

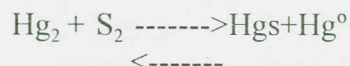
evitar la reevaporación. El mercurio resultante contiene pequeñas cantidades de oro, plata y otros metales pero su pureza es suficiente para reusarse.

Las pérdidas de mercurio por cada operación varían entre 0,2 % y 0,4% y se debe al que queda en el sistema de condensación. Al retortar una amalgama permite la obtención de un producto de oro en esponja, el cual puede ser tratado directamente por fusión para eliminar impurezas de metales básicos.

El mercurio es altamente tóxico y tiene un efecto fisiológico acumulativo. Este factor sumado a su alta presión de vapor pueden crear dificultades en las refinerías que tratan materiales con alto contenido. Estos efectos pueden controlarse mediante: una buena ventilación, por un monitoreo rutinario del mercurio, por unos buenos procedimientos de higiene y una eficiente operación del retorteo.

Como en el caso del sistema de concentración por flotación, varios factores mineralógicos y de química de superficie tienen incidencia en la amalgamación, siendo los principales:

- **El tamaño de la partícula del oro.** La recuperación puede ser pobre para minerales que contengan oro más fino que 50 micrones (Tamiz 270).
- **La ocurrencia del oro**, por ejemplo en forma de telururos y de seleniuros no amalgaman.
- **La calidad del mercurio**, el cual se reduce por la oxidación dando óxidos e hidróxidos en soluciones oxigenadas.
- **El entrapamiento del oro** por partículas de la ganga que impiden la exposición de la superficie del oro al mercurio, trayendo como consecuencia una baja recuperación.
- **El empañamiento de la superficie del oro**, lo que reduce la hidrofobisidad y mojabilidad por el mercurio. La molienda, por ejemplo, adicionada con cuerpos molidores de acero al manganeso en el barril amalgamador, es empleada para limpiar y liberar el oro. Agregando un ácido diluido (nitríco) disuelve los cubrimientos de metales básicos y/o de óxidos mercuriosos.
- **Los minerales sulfurados y los iones azufre en solución** forman el sulfuro mercurioso, altamente insoluble de color negro que incrementa la dispersión del mercurio y es el causante de la dificultad conocida como "Envenenamiento" del mercurio, lo cual disminuye la recuperación aurífera:



Los minerales sulfurados más comunes y que causan esta refractibilidad son : La Pirrotina; los sulfuros de antimonio, arsénico, bismuto y en una extensión menor la pirita. La adición de agentes oxidantes como el dicromato de potasio o el permanganato de potasio reducen la dificultad al oxidar los iones azufre formados; el suministro de reactivos como Pb^{2+} y Cu^{2+} forman sulfuros altamente insolubles reduciendo la concentración de los iones problema; igualmente, los álcalis fuertes (soda cáustica) forman con el arsénico y el bismuto complejos de azufre- oxígeno, disminuyendo el envenenamiento del mercurio.

- **La contaminación de la interfase mercurio- agua con hidrocarburos**, tales como grasas y aceites causan un pobre contacto del oro- mercurio aumentando la probabilidad de un recubrimiento hidrofóbico por constituyentes de la mena, como sulfuros, material carbonoso, o algún silicato (talco).

- **Una sobre molienda del mineral conduce a un fenómeno llamado "Atomización del mercurio"**, el cual no sólo causa pérdidas del reactivo por la formación de partículas finísimas, sino que rebaja considerablemente la recuperación. Estas partículas pueden recuperarse con nitrato de plata diluido.

La anterior anomalía sucede con mucha frecuencia a nivel de minería artesanal y aún en la pequeña al procesar menas provenientes de yacimientos primarios en todos los distritos mineros del país y extraer el oro liberado en una sola etapa efectuando la molienda y la amalgamación conjuntamente. Los altos picos de energía llevan a la formación de mercurio desintegrado en pequeñas bolitas que en su mayor parte se hallan contaminadas por impurezas metálicas y orgánicas, lo que las hace incapaces de colectar el oro y de fusionarse.

3.2 AMALGAMACION EN LA PEQUEÑA MINERIA.

Para la molienda y amalgamación simultánea de los minerales primarios, la pequeña minería utiliza preferencialmente el molino de bocartes (californiano) y un pequeño molino de bolas, conocido con el nombre de Granulador en el Nordeste Antioqueño. La amalgamación es finalizada en mesas vibratorias, en mesas estáticas (rayadas); y para la amalgamación manual, la batea.

La amalgama obtenida es una mezcla de oro y mercurio como elementos principales,

con aproximadamente 50-55% por peso de mercurio y de 50-45% de oro, es exprimida y luego retortada o quemada en un recipiente cerámico para la recuperación del mercurio.

En la minería aluvial el oro liberado se pone en contacto con el mercurio en canales de madera o metálicos de acuerdo al tamaño de la explotación, provistos de mallas metálicas y costales para usar como trampas y retenedores del flujo, para que el mercurio depositado en los espacios libres de la malla colecte el oro que es transportado. Sin embargo, durante el tratamiento la velocidad de la pulpa y la pendiente del canalón favorecen el arrastre y pérdida del mercurio, en cuantía hasta del 30% por peso, contaminando el medio ambiente.

Para evitar el uso de mercurio en el canalón (ver el capítulo que trata sobre la preservación ambiental en el procesamiento de minerales), se sugiere sacar un preconcentrado enriquecido empleando equipos gravitacionales apropiados: mesa vibratoria, Jig, espiral Humphrys, centrífuga Knelson de lecho fluidizado, etc. El preconcentrado luego de eliminarle la fracción magnética, se reduce aún más en peso, lo que facilita su amalgamación en instalaciones pequeñas donde se controla racionalmente este reactivo químico y así es posible mejorar la actividad de su superficie agregando soda cáustica, carbonato de sodio, amalgama de sodio. También es posible acudir a la vía pirometalúrgica, donde el preconcentrado al ser fundido con un flux adecuado en base a bórax y carbonato de sodio, se obtiene el botón de oro.

Las pérdidas totales de mercurio metálico durante el proceso de beneficio o de amalgamación son aproximadamente del 45 al 50% por peso.

4. PROCESAMIENTO DE METALES PRECIOSOS EN DEPOSITOS ALUVIALES.

El procesamiento de los metales preciosos en los aluviones colombianos se basa en su alta gravedad específica comparada con la del material de ganga que los acompaña, y también al hecho de que estos se encuentran liberados de su roca madre. Se han desarrollado una variedad de mecanismos para su concentración, que empiezan por la batea y el canalón montado en el mismo terreno, hasta los más sofisticados que necesitan dar solución a problemas particulares de separación. Hay cuatro formas principales y diferentes en lo tocante al procesamiento de los placeres auríferos; son ellas:

- La minería artesanal.

- La pequeña minería con base en el uso de motobombas.
- La mediana minería, que involucra la utilización de técnicas más refinadas, como la del monitor y el elevador.
- La gran minería con dragas.

4.1 MINERIA ARTESANAL

Se lleva a cabo en forma individual o en pequeños grupos de personas, bajo dos aspectos principales:

- Lavado de arenas y gravas sueltas en los lechos y márgenes de los ríos y quebradas.
- Explotación de aluviones consolidados.

Desde el punto de vista operacional, el trabajo se descompone en:

- La extracción de material aurífero.
- El transporte del mismo.
- El lavado.
- La purificación y la obtención final del oro.

Se emplean para la excavación y la desintegración del material consolidado picos, barras y palas, el cual se transporta por medio del agua a lo largo de un canalón de madera, instalado directamente sobre el suelo donde se depositan los minerales pesados o arenas negras ("Jaguas"), y los valores que posteriormente se recuperan mediante la batea y el mercurio como colector del oro.

El agua para la desintegración y el arrastre proviene de la desviación de quebradas cercanas. En estas explotaciones se pierde casi todo el oro de tamaño fino y como por otra parte, en el mejor de los casos, es difícil que se puedan explotar más de 2 metros cúbicos por hombre / día, lo que limita este tipo de minería a aluviones muy ricos, con tenores superiores a 0,8 gramos por metro cúbico, pero por lo general de poca extensión.

En esta clasificación se pueden considerar las explotaciones realizadas con minidragas de succión de 6 y 8 pulgadas, fabricadas en el país y que por su cantidad, en el año 90 se contabilizaron alrededor de 6.000, contribuyendo con un porcentaje importante

en la producción aurífera del país, aproximadamente de 1,8 a 2,0 toneladas anuales de oro fino.

4.2 PEQUEÑA MINERÍA

Estas explotaciones se adelantan sobre aluviones más extensos que los anteriores localizados por lo general en las terrazas, para lo cual se utilizan motobombas y monitores que sirven para la remoción y arrastre del material hasta los canalones dispuestos en tierra o elevados. Estos últimos por lo general de más de 6 metros de largo por 0,60 metros de ancho, contruídos en lámina o en madera. En algunas minas operan elevadores de succión hidráulica, acoplados con motores Diesel o de gasolina, requeridos cuando la situación topográfica no permite el arrastre por gravedad del material hasta el canalón.

En términos generales se ocupan entre 5 a 20 personas y sólo se explotan aluviones con tenores auríferos superiores a 0,5 gramos por metro cúbico.

La clase de rifles (trampas para el oro), empleados como retardadores de la pulpa influyen en el tiempo de las lavadas; los metálicos permiten barreduras largas, en cambio los de madera necesitan mantenimiento porque se desgastan desigualmente.

En general el oro grueso se queda atrapado en los primeros tramos del canalón, recogiéndose en éstos del 50 al 70 % del total de la lavada, de tal manera que cuando esta parte ha sido extraída puede juzgarse el resultado del tratamiento; el oro del resto del canalón se hace más fino a medida que se acerca a la parte final (cola).

El oro que viene mezclado del canalón con las arenas negras y otros minerales, es separado de éstos con el empleo de bateas y del imán para los materiales magnéticos. Es muy común entre los mineros para ayudar a recuperar el oro, el uso de la corteza de ciertos árboles, entre ellos el balsa y el limoncillo los cuales proporcionan un líquido o zumo, que combinado con el agua de la batea hace levantar las arenas por el fenómeno de flotación, facilitando la limpieza del oro; el subproducto resultante se guarda para un posterior tratamiento para la extracción del oro presente.

4.3 MEDIANA MINERÍA

Se practica bajo dos modalidades:

- Minería hidráulica con bomba de alta presión, monitores y elevadores .

- Explotación mediante equipo pesado para movimiento de tierras.

Las bombas están equipadas con motores de 160 HP para la operación de los monitores y los elevadores hidráulicos. Los canalones contruídos en metal, en cemento o en madera tienen longitudes hasta de 30 metros. Para la separación del metal por la vía de la amalgamación, se usan los granuladores y la quema de las amalgamas en retortas.

En estas operaciones se tratan hasta 700 metros cúbicos diarios de mineral proveniente de terrazas antiguas y de planicies aluviales, con tenores superiores a 0,3 gramos de oro por metro cúbico.

En la última década se ha intensificado el uso de maquinaria pesada. Así para el arranque del mineral se utiliza la retroexcavadora y el buldozer y para el cargue las mismas retroexcavadoras o cargadores montados sobre orugas o llantas. La localización de la planta recuperadora de oro se hace cerca a las corrientes mayores de aguas, para lo cual se necesita transportar hasta allí el material en volquetas. Esta planta se compone de tolva, de un trommel para la clasificación del mineral antes del canalón, que llega a alcanzar hasta 60 metros de longitud y 1,20 metros de ancho. En esta clase de explotación se pueden tratar hasta 300 metros cúbicos por día.

4.4 GRAN MINERIA

La gran minería es la que se desarrolla exclusivamente con dragas de cucharas en los aluviones del río Nechí, clasificados como un depósito de corriente (River- Bar - Deposit). Las dragas por su gran capacidad pueden trabajar aluviones con tenores de 0,08 gramos por metro cúbico y con un movimiento promedio de 6 millones de material por draga y por año.

Las dragas están equipadas con canalones, Jigs (pulsadores hidráulicos), botellas de mercurio y mesas amalgamadoras para la colección del oro, en un proceso simultáneo con la concentración del mineral. La botella de mercurio es un cilindro al cual se le pone mercurio en el fondo para que el chorro de pulpa (concentrado de los Jigs secundarios) golpee el mercurio y durante el contacto el oro se amalgame con éste. La mesa de amalgamación, que recibe el rebose de la pulpa de la botella es un canalón o mesa inclinada, que tiene en su parte superior cauchos con agujeros en donde se deposita mercurio, y en el resto de su superficie tiene planchas de cobre cubiertas de una capa de plata sobre la cual va el mercurio , que alea el oro que tiene las arenas que pasan a través de la mesa.

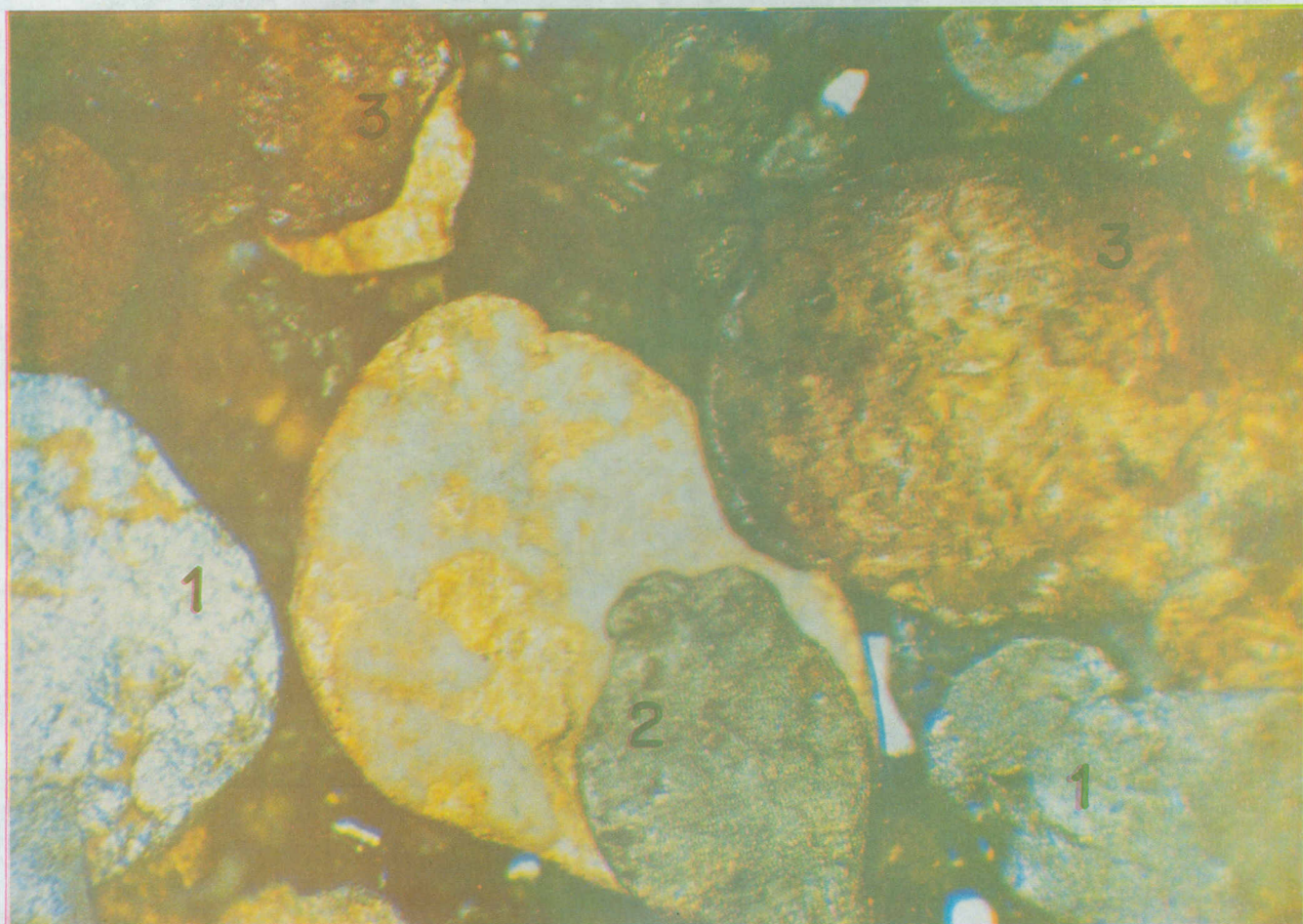
La recuperación del oro se hace diariamente recogiendo la amalgama de la botella de

mercurio, de los cauchos y raspando la de las planchas de cobre.

El oro amalgamado se retorta y se funde en barras para su posterior comercialización.

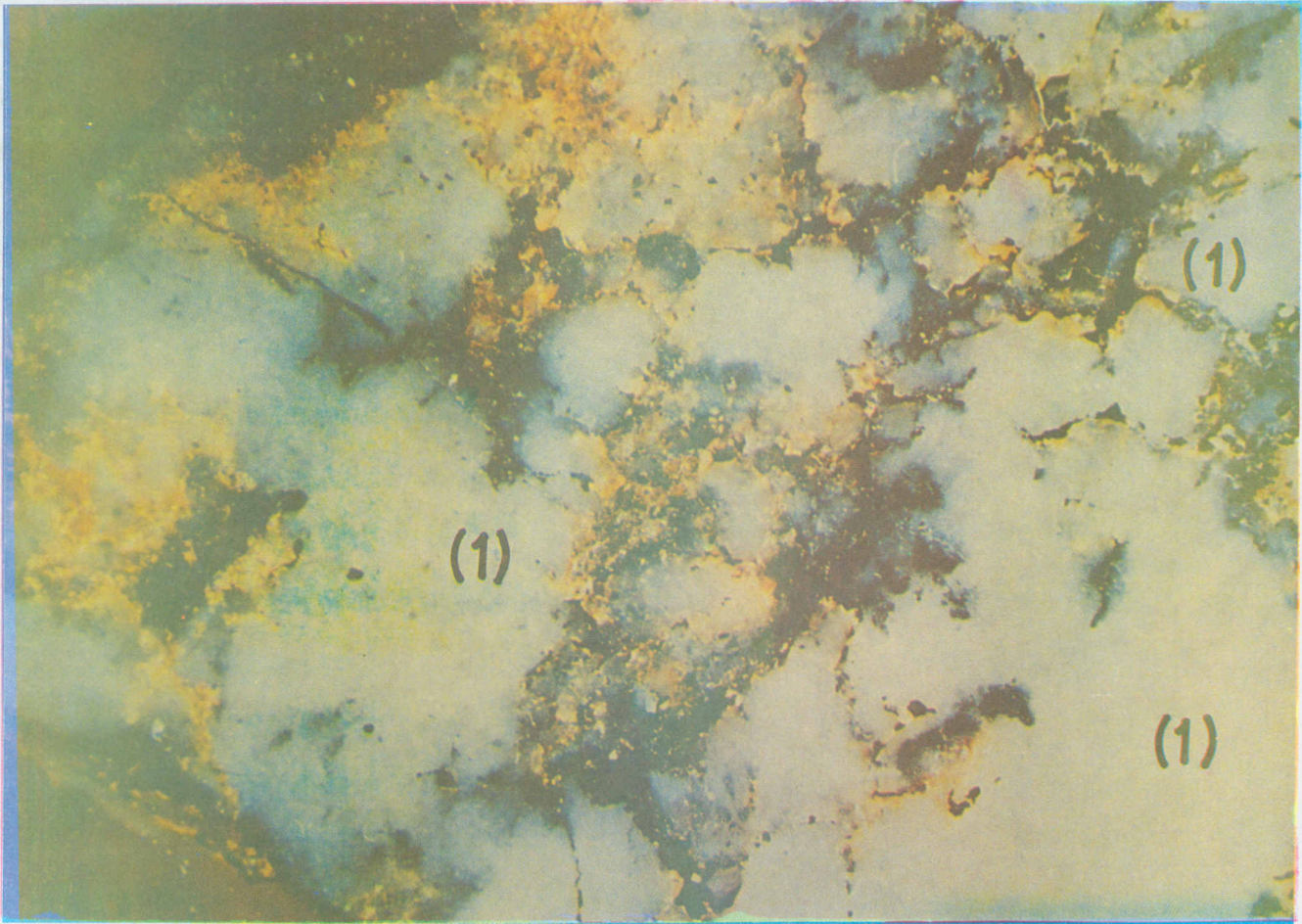
5. SECUENCIA FOTOGRAFICA QUE ILUSTR A LOS PROBLEMAS METALURGICOS MAS COMUNES QUE PRESENTA EL PROCESAMIENTO DE MINERALES AURIFEROS TANTO A NIVEL DE FILON COMO DE ALUVION

Secuencia Fotográfica de los Problemas Metalúrgicos más comunes en la recuperación aurífera.



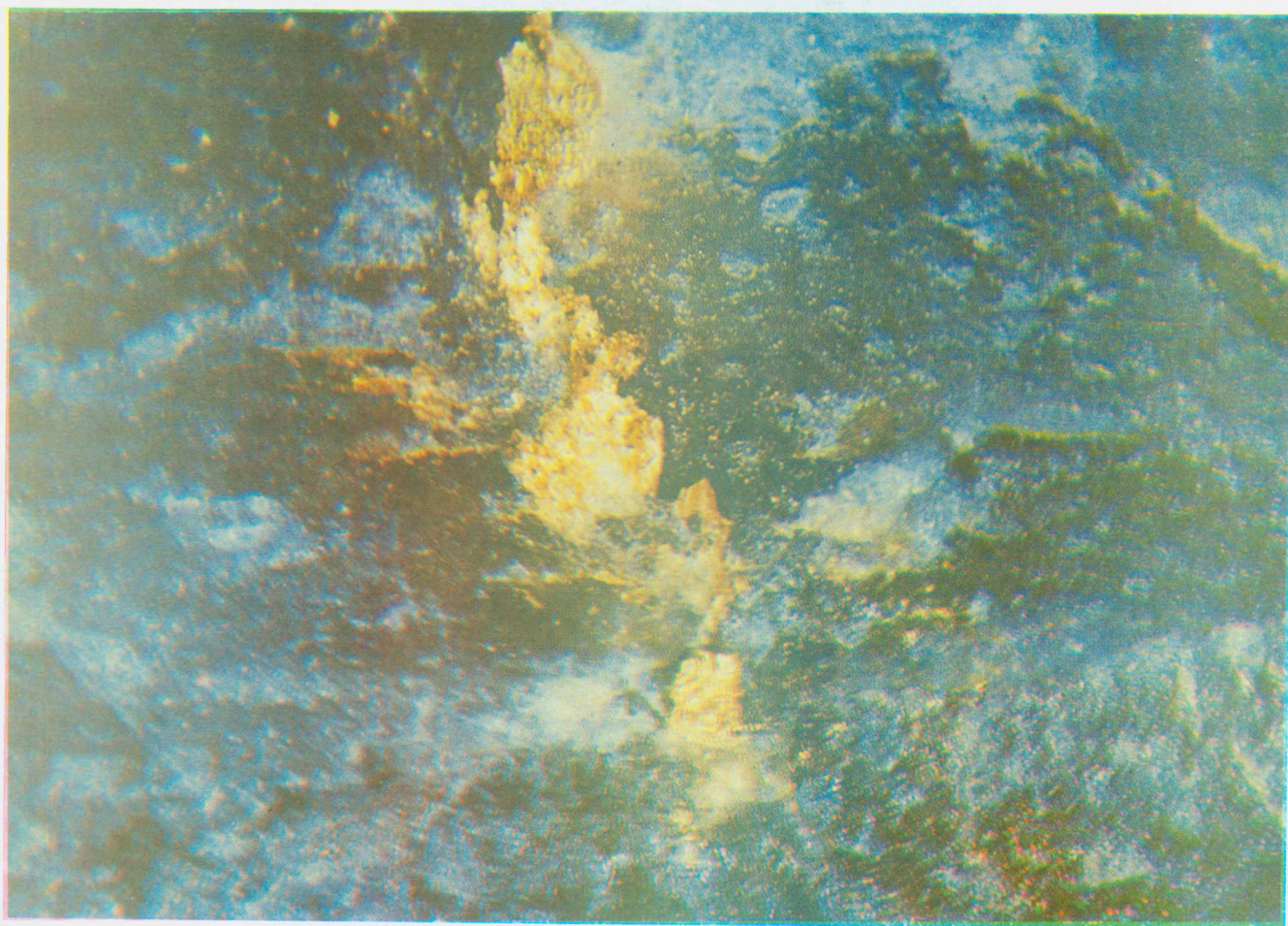
FOTOGRAFIA No. 5.1 - PROBLEMA QUE OCURRE EN LA MINERIA ALUVIAL POR RECUBRIMIENTO DE LA PARTICULA AURIFERA.

- 1 Recubrimiento de la partícula (grano) por mercurio no óptimo -(calidad).
- 2 Recubrimiento del grano aurífero por sílice.
- 3 Recubrimiento por óxido de hierro.



FOTOGRAFIA No 5.2 ORO NATIVO DE GRANO GRUESO EN UNA MATRIZ DE CUARZO (1)

Los depósitos filonianos, vetas cuarzosas con oro, contribuyen entre el 20% y el 25% del total de la producción del oro en el mundo. Algunas menas tienen un alto contenido que amerita el envío directo a la refinería. un ejemplo de tal mena es el mineral que aparece en la fotografía y que corresponde a oro nativo de grano grueso en una matriz cuarzosa.

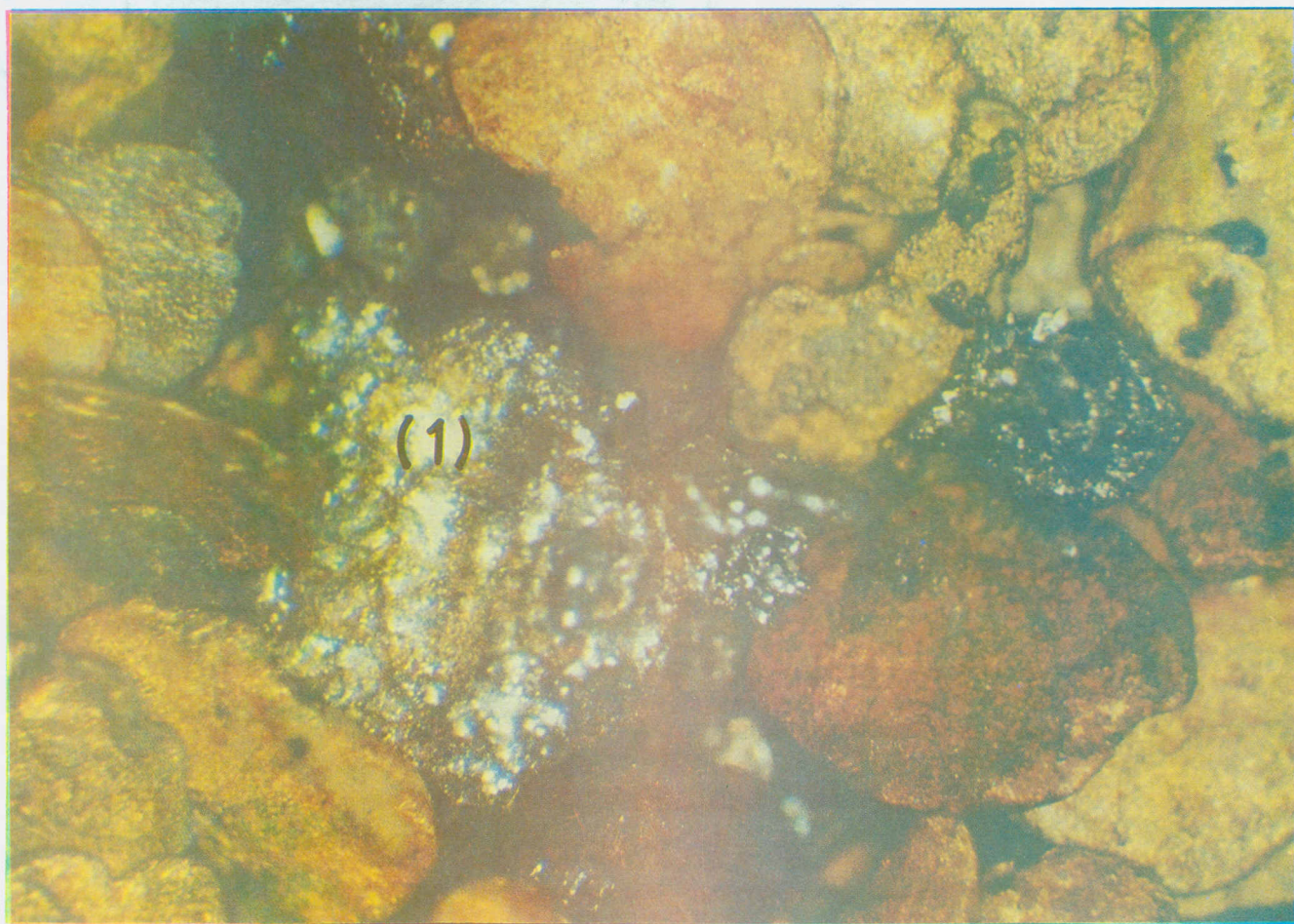


FOTOGRAFIA No. 5.3 ORO NATIVO DE GRANO GRUESO Y FINO EN VETA CUARZOSA

El oro grueso es procesable por métodos gravitacionales para partículas mayores a 50 micrones, (270 mallas), sin embargo pueden presentarse pérdidas en los siguientes casos:

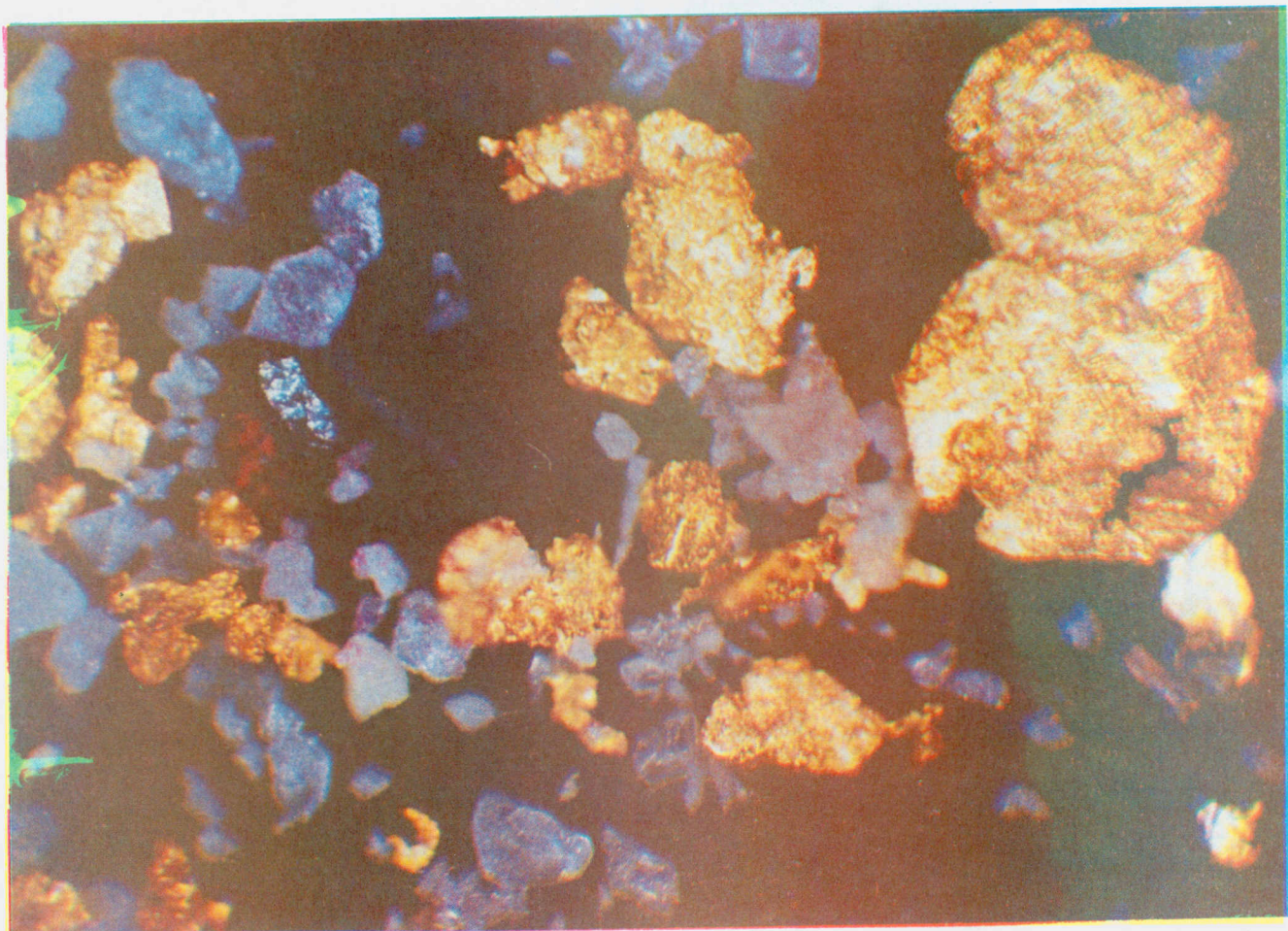
Oro en forma de escamas, oro hidrofóbico y oro no liberado.

El oro finamente diseminado necesita una molienda fina para su liberación, antes de ser recuperado por el sistema de cianuración.



FOTOGRAFIA No. 5.4 PROBLEMA DE RECUPERACION AURIFERA EN LA MINERA ALUVIAL

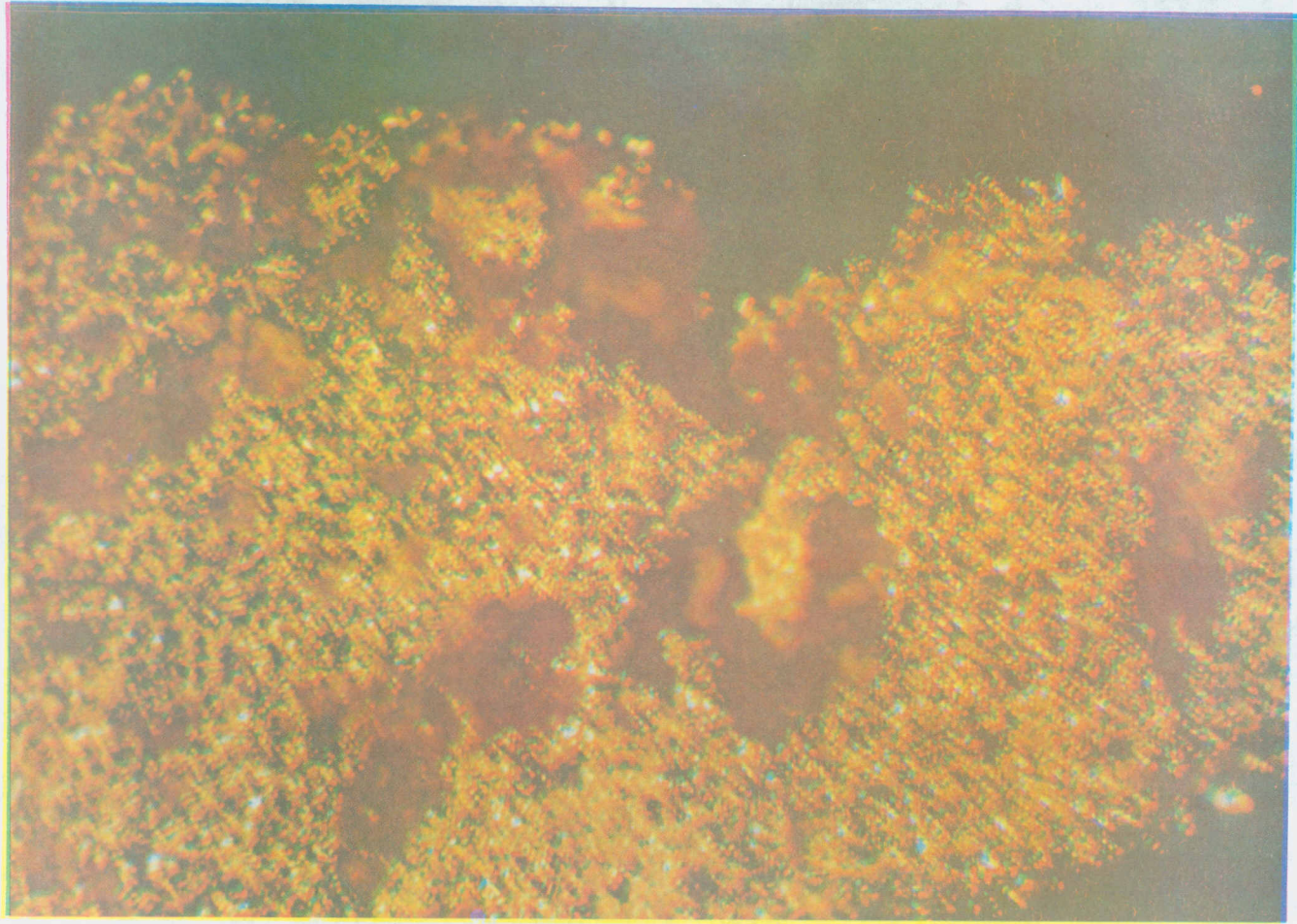
Partículas de oro aluvial, algunas de las cuales están cubiertas parcialmente por mercurio, el cual se presenta en forma oxidada. La fotografía muestra un mercurio residual (1) de un proceso anterior - amalgamación -; los valores de este subproducto - colas- deben ser extraídos por flotación y cianuración.



FOTOGRAFIA No.5.5 ORO GRUESO POR UN LARGO TRANSPORTE EN EL CIRCUITO.

Oro grueso que luego de un extenso transporte dentro del circuito de la planta de beneficio lleva a que la mayor parte de las partículas más gruesas se aplanen (laminen) y sus superficies sean contaminadas con ganga.

Los granos de oro con superficie suave pueden ser cubiertos e impurificados con granos gangosos durante la etapa de la molienda; esto reduce el área expuesta, disminuyendo la rata de hidrofobisidad (flotabilidad) o de lixiviación, lo que resultará en pérdidas de valores.



FOTOGRAFIA No 5.6 ORO AMALGAMADO LUEGO DE ELIMINAR EL MERCURIO POR DESTILACION EN RETORTA.

Partículas de oro laminado y recubiertas por el óxido de hierro (1) que no respondieron a la acción colectora del mercurio, amalgamación, debido a la disminución de los factores de hidrofobisidad y humectabilidad.



FOTOGRAFIA No. 5.7 CRISTALES AURIFEROS DESPUES DE ELIMINAR EL MERCURIO .

6 INVESTIGACIONES METALURGICAS REALIZADAS EN EL DISTRITO MINERO DE MARMATO-CALDAS.

Analizados los resultados de las pruebas metalúrgicas efectuadas a minas del Distrito Minero de Marmato tanto a nivel nacional: laboratorios de la División Regional Minera de Medellín, Ministerio de Minas y Energía; del Cimex, Facultad de Minas; de la Unidad Operativa de Marmato, Mineralco; etc, como en el exterior- Laboratorios de Lakefield-Kilborn Ltd, Canadá; de la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica; ponen de presente unas características minero-metalúrgicas muy especiales que las hacen diferentes a las de otros distritos mineros del país, que aparentemente guardan entre sí una similitud geológica-minera. Las más importantes son:

- El mineral de Marmato puede ser procesado exitosamente empleando una metodología relativamente sencilla, ya que está compuesto principalmente de piritas de grano grueso y éstas portan la mayor parte del oro. Aproximadamente el 20% del oro es libre en la Zona Baja y el 60% al 70% es libre en la Zona Alta.
- No hay refractibilidad de los minerales, durante el tratamiento por cianuración. La eficiencia de la recuperación está en relación directa con el grado de molienda y con el tipo de cianuración: Percolación o Agitación.
- La concentración de los sulfuros antes de la cianuración puede efectuarse con un excelente rendimiento por gravedad para plantas de beneficio hasta de 50 toneladas por día (del 93%), o por flotación para capacidades mayores (del 98%).
- La técnica de la amalgamación para coleccionar el oro libre no ha arrojado resultados satisfactorios. Sólo se ha recuperado el 20% del Oro. Esta es una de las razones del porqué en este Distrito esta técnica no se haya implantado y el oro a nivel de pequeña minería se siga obteniendo en polvo, durante la operación llamada "**Cepillada**". Por consiguiente, hay una preservación ambiental en lo referente a la contaminación por la acción de este químico.

6.1 PROCESAMIENTO DE MINERALES EN LA ZONA ALTA

Tanto la extracción de los minerales como el beneficio se han efectuado hace muchos años a nivel de pequeña minería, faltando la tecnificación adecuada para un mejor aprovechamiento de los recursos mineros existentes en las 157 pequeñas minas que se encuentran en explotación, con filones auroargentíferos relacionados con intrusivos porfíricos - dacíticos. Los principales sulfuros son Pirita, como constituyente principal; luego aparecen Galena, Esfarelita, Marmatita y en cantidades menores Calcopirita, Pirrotina, Marcasita y Arsénico. Los componentes de la ganga son:

Cuarzo, Sericita y Clorita. En promedio del 8% al 10% de la mena corresponde a los sulfuros, con una gravedad específica entre 2,7 a 2,9.

Un estudio reciente, junio de 1994, elaborado dentro del Acuerdo No. 12 entre el Ministerio de Minas y Energía y **Minerales de Colombia S.A.-Mineralco S.A.**, para la divulgación tecnológica en el **Procesamiento de Minerales Auríferos**, ha permitido conocer los tenores de oro y plata de las vetas más representativas de la Zona Alta y las condiciones operativas ideales para una recuperación integral de estos valores.

6.1.1 TENORES DE ORO Y PLATA: Los tenores promedios de los resultados obtenidos en los laboratorios analíticos de la **Frontino Gold Mines**, de **Mineros Nacionales**, de la **División Regional Minera de Medellín**, Ministerio de Minas y Energía, de la facultad de **Geología-Universidad de Caldas** y de la **Unidad Operativa de Marmato**, son:

NOMBRE DE LA VETA	ORO- grs por tonelada	PLATA.grs por tonelada
Cubana, ramal Sur	3,5	19,2
Aguaceral, Cruzada el Mango	13,4	49,3
Santa Inés	1,8	19,7
El Bombo	5,8	27,6
Patacón, Sector Cascabel	12,6	49,6
El Ovejo, Sector Cien Pesos	5,2	27,6
Diamante, Sector Cien Pesos	11,8	37,6

El tenor promedio para oro es de **7,73 gramos de oro por tonelada**, cifra que coincide con la que maneja la Empresa **MINERALCO** para las reservas posibles de un millón de toneladas de mineral, que es de **7 gramos por tonelada**, (estimado en mineral sano en el año de 1.991).

De acuerdo a las estadísticas de la **Unidad Operativa de Marmato**, sobre la producción aurífera de la Zona Alta, del **2 marzo al 15 de septiembre de 1994**, se produjeron **74.500 gramos de oro fino**, de los cuales el **72,5%** correspondió al oro libre (oro de cepillada), y el **27,5%** al oro resultante del tratamiento con cianuro (oro asociado a los sulfuros); en **15 plantas de beneficio**, **3 del Estado** y **12 de particulares**, para un tratamiento aproximado de **25.000 toneladas de minerales** (el **74%** es procesado en las plantas particulares).

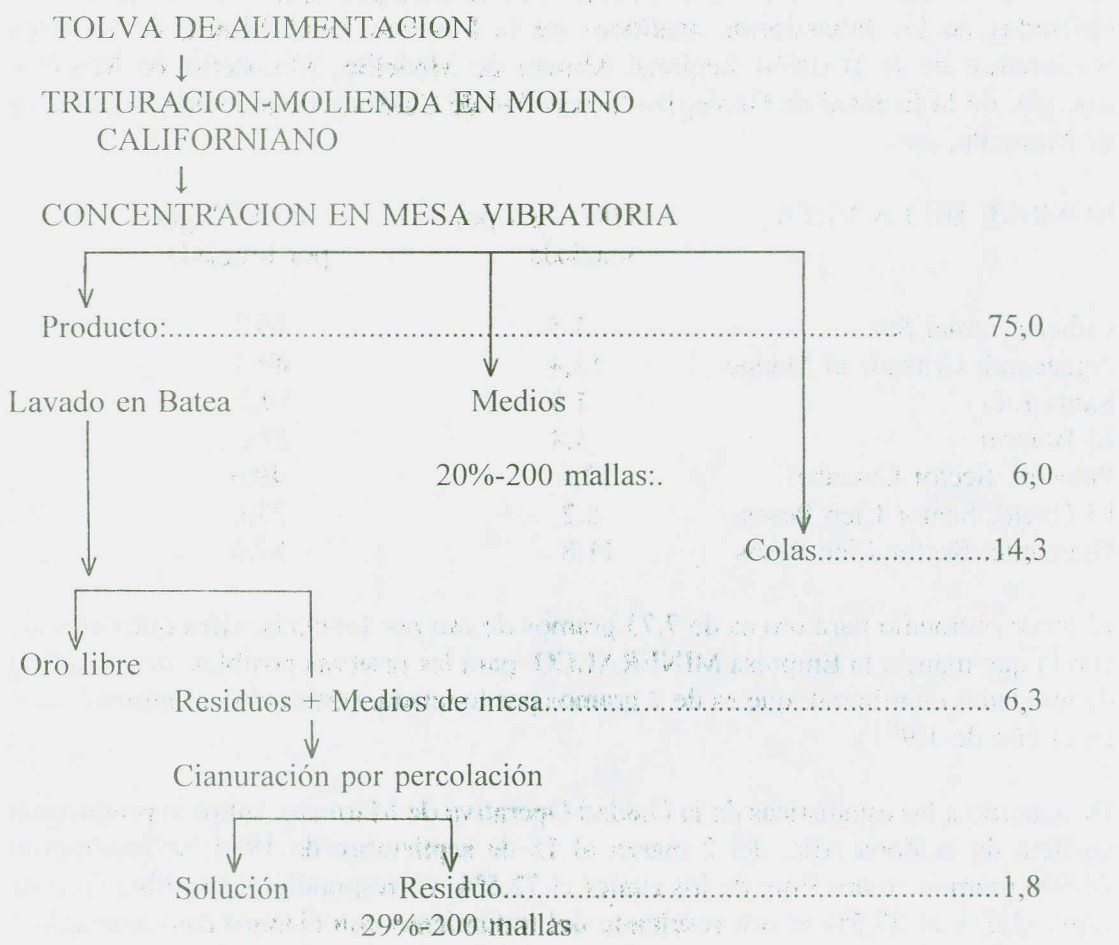
Este alto porcentaje de oro en forma libre es un factor favorable para fomentar e incrementar la producción aurífera, implementando los sistemas de beneficio actuales, con una molienda más eficiente y recurriendo a la técnica de la cianuración por

agitación en reemplazo de la percolación.

6.1.2 TRABAJO INVESTIGATIVO EN EL MOLINO SANTA CRUZ

El siguiente trabajo metalúrgico realizado con muestras tomadas en el molino Santa Cruz", aporta claridad sobre esta temática y define parámetros importantes que incorporados a los procesos actuales, aumentarán su rendimiento:

1) MUESTREO EN EL MOLINO SANTA CRUZ: ORO GRS/TON



2) PRUEBAS PARA MEJORAR LA RECUPERACION AURIFERA EN EL TRATAMIENTO POR CIANURACION.

Verificación de dos puntos:

a) La posibilidad de mejorar la recuperación del oro, haciéndola por agitación en

sustitución de la percolación.

b) La posibilidad de mejorar la recuperación del oro por medio de una cianuración por agitación, luego de una remolienda (pasar de un tamaño 29% - 200 mallas a 87% - 200 mallas).

RESULTADO

RESIDUO DE LA CIANURACION POR PERCOLACION	CAL Kg/T	CIANURO kg/T	ORO Gr/T	% DISTRIBUCION
.....			1,8	100
RECIANURACION	32,7	7,5		
SOLUCION:				39
RESIDUO.....			1,07	61
↓ MOLIENDA (87%-200 mallas) ↓				
RECIANURACION	8,5	2,7		
SOLUCION:				44
RESIDUO.....			0,3	17

COMENTARIOS: Los resultados logrados demuestran el mejoramiento apreciable en la recuperación del oro al cambiar el sistema de percolación por el de agitación, punto a), con lo cual se extrae el 40,55% del oro presente. Con la remolienda y la cianuración por agitación se extrae el 42,77%, dando un rendimiento total del 83,32% y un residuo final de 0,3 gramos de oro por tonelada.

Proyectando esta metodología a la alimentación de la cianuración por percolación, que contiene 6,3 gramos de oro por tonelada, el rendimiento del tratamiento pasaría de un 71,4% a un 95,2%

ESTUDIO DE CIANURACION POR AGITACION DE LOS MEDIOS Y COLAS DE LA CONCENTRACION EN MESA VIBRATORIA.

El mineral problema está constituido por:

	% Peso	Oro	Gr/T.
Medios de mesa + 200 mallas:.....	61,1		0,0
Medios de mesa-200 mallas:.....	2,5		6,0
Colas de mesa:.....	36,4		14,3
Total:.....	100		5,4

Esta muestra presenta una granulometría de 34% - 200 mallas.

RESULTADO DEL ESTUDIO

	CAL Kg/T	CIANURO Kg/T	ORO Gr/T	% DISTRIBUCION ORO
ALIMENTACION:.....			5,4	100
↓				
CIANURACION	20,1	0,8		
↓				
SOLUCION:				93
↓				
RESIDUO			0,42	7

CONCLUSION: Recurriendo al sistema de cianuración por agitación y a una molienda más fina del mineral a lixiviarse, entre 40% y 70% menos 200 mallas, llevaría a una recuperación casi total del oro.

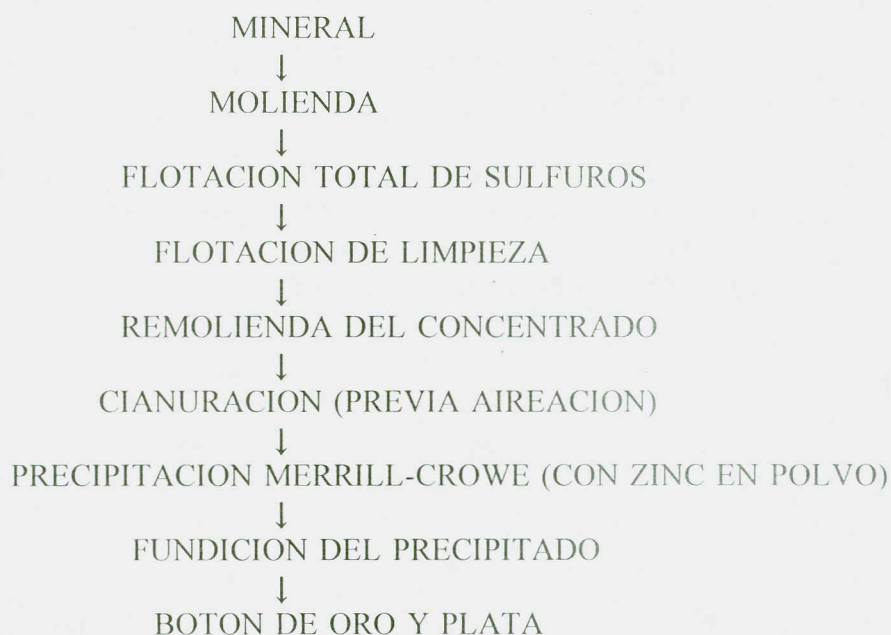
Este sistema sería sencillo de instalar en las plantas de beneficio de la Zona Alta y sólo requiere de la consecución de los tanques de agitación tipo Pachuca (pueden construirse localmente en cemento), y de los equipos controladores del tamaño de grano a la salida del molino de bolas (clasificador en espiral).

6.2 PROCESAMIENTO DE MINERALES EN LA ZONA BAJA

Los minerales de la Zona Baja siempre han sido explotados por compañías extranjeras. La última fue la Mining Enterprise Corporation, MINENCO, que se retiró en 1955. A partir de ese año, el Estado mantuvo un control sobre esta zona en el sentido de que fuese trabajada a nivel de mediana minería sólo por una empresa nacional o extranjera de reconocida solvencia técnica y económica. Fue así como "Mineros Nacionales", una compañía nacional que al ganar la respectiva licitación, viene explotando y beneficiando los minerales de esta área desde hace aproximadamente 3 años con resultados satisfactorios. La planta de beneficio actualmente trata 220 toneladas de minerales por día, con unos tenores similares a los siguientes:

ORO	5,00 a 7,00 Gramos por tonelada
PLATA	25,00 a 30,00 Gramos por tonelada
HIERRO TOTAL	9,10 a 11,00%
AZUFRE	10,00 a 12,00%
ZINC	0,80 a 2,00%
PLOMO	0,10 a 0,80%
ARSENICO	0,10 a 0,20%
COBRE TOTAL	0,02 a 0,04%

De un 20% a 27% de la mina corresponde a Sulfuros, de los cuales el de hierro (Pirita) es mayoritario, con un promedio de 65% a 70%. Un diagrama de flujo extractado de varios estudios metalúrgicos sería:



6.2.1 CONDICIONES DEL TRATAMIENTO METALURGICO

- **Molienda** El mineral debe molerse a un tamaño tal que más del 90% pase por tamiz 65 (0,23 mm) y un mínimo del 40% se retenga en tamiz 200 (0,074 mm).
- **Flotación** Como colector se utiliza aeroxantato 350 ($C_5H_{11}OCS_2K$), con un consumo total de 45 gramos por tonelada. Como espumante se recomienda el metil isobutil carbinol (MIBC), o el aceite de pino hasta 20 gramos por tonelada.

El pH se regula con carbonato de sodio a 6,5.

Los tiempos de flotación sugeridos son: 12 minutos para la flotación de los sulfuros y 11 minutos para la limpieza.

- **Remolienda:** El concentrado final de flotación debe remolerse a un tamaño que el 70% pase el tamiz 270 (0,053 mm).
- **Cianuración:** La preaireación antes de la lixiviación es usada para controlar los efectos negativos: consumo excesivo de cianuro; bajo rendimiento, que proporciona la presencia de pirrotina, la cual debe ser neutralizada por este mecanismo en un tiempo de 8 a 10 horas, con la adición de cal y un PH de 11 a 12.

El consumo de cianuro durante la lixiviación es de 0,56 kilos por tonelada de concentrado y de 2,54 kilos de cal.

El tiempo de residencia de la lixiviación es de 36 horas, aunque la mayor parte de la disolución del oro se logra a las 24 horas.

- **Fundición del precipitado:** El precipitado resultante de cementar la solución rica con zinc en polvo, es secado y fundido directamente con una carga apropiada de fundentes (esencialmente bórax y carbonato de sodio), para producir un botón, con una composición aproximada del 30% Oro, 60% Plata y 10% otros metales.