

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

BENEFICIO DE MINERALES AURIFEROS

1992

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
SECCION MINERA DE MEDELLIN
GRUPO BENEFICIO DE MINERALES

CARTILLA MINERA
BENEFICIO DE MINERALES AURIFEROS

POR: INGENIERO JORGE VASQUEZ GARCIA

COMPILADORES:
CONRADO ALBERTO BENJUMEA
OLMEDO DAIVER HERNANDEZ
INGENIERIA DE MINAS
FUNDACION UNIVERSITARIA DE POPAYAN

POPAYAN, OCTUBRE DE 1992

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
1. ANALISIS DE LA MINERIA	3
1.1. ANALISIS DE LA MINERIA ALUVIAL	3
1.2. ANALISIS DE LA MINERIA FILONIANA	4
2. MUESTREO Y PREPARACION DE MINERALES	6
3. PROCESO DEL MUESTREO	7
3.1. TOMA DE MUESTRA	7
3.2. REDUCCION DE LA MUESTRA	7
3.3. PREPARACION DE LOS MINERALES PARA ANALISIS A ESCALA DE LABORATORIO	8
4. REGLAS GENERALES PARA LA PREPARACION DE LAS MUESTRAS	10
5. RECUPERACION DE ORO ALUVIAL	11
5.1. PROCESO DE AMALGAMACION	16
5.1.1. El Uso del Mercurio	16
5.1.2. Amalgamación	17
5.1.2.1. Principios Teóricos	18
5.1.3. Tipos de Amalgamadores	22

	pág.
5.1.3.1. Botella de Amalgamación	22
5.1.3.2. Mesas de Amalgamación	22
5.2. RECUPERACION DEL MERCURIO	23
5.2.1. Envenenamiento con Mercurio	24
5.2.1.1. Síntomas	25
5.2.1.2. Tratamiento	25
5.3. EQUIPOS COMPLEMENTARIOS PARA LA MINERIA DE ALUVION	25
5.3.1. Batea o Artesa Mecánica	26
5.3.2. Gold Saver (Ahorrador de oro)	26
5.3.3. Unidad Integrada de Trommel y Jig	26
5.3.4. La Unidad de Amalgamación (Barril o Molino)	27
5.3.5. Dragas de Succión o Draguetas	27
5.3.5.1. Draga de 6"	27
5.3.5.2. Draga de 8"	28
5.4. SISTEMA PARA LA DETERMINACION DE VALORES EN EL CAMPO DE EVALUACION ALUVIALES	30
5.4.1. Lavado Inicial del Material - Preconcentración Gravitacional	32
5.4.1.1. Características del Canalón	32
5.4.1.1.1. Estructura	32
5.4.1.1.2. Dimensiones	32
5.4.1.1.3. Pendiente	34
5.4.1.1.4. Longitud	34
5.4.1.1.5. Sección Transversal	34

	pág.
5.4.1.1.6. Agua requerida	35
5.4.1.1.7. Rifles	35
5.4.1.2. Proceso de Preconcentración	35
5.4.2. Homogenización (Frotación) y Amalgamación del Mineral	36
5.4.3. Ensaye al Fuego	39
6. CONCENTRACION DE MINERALES DE VETA	40
6.1. EL ORO COMO MINERAL	40
6.2. TECNICAS PARA LA EXTRACCION	41
6.3. PROCESO DE CIANURACION	42
6.3.1. Beneficio de Arenas y Lodos Auríferos	45
6.3.1.1. La Concentración por Gravedad	47
6.3.1.2. La Flotación	50
6.3.1.2.1. Flotoamalgamación	50
6.3.2. Análisis de Control en Procesos de Cianuración	58
6.3.2.1. Determinación del Tenor del Cianuro de Sodio	58
6.3.2.1.2. Cálculo	58
6.3.2.1.3. Preparación de la Solución de Nitrato de Plata	60
6.3.2.2. Determinación de la Cal	60
6.3.2.2.1. Cálculo	60
6.3.2.3. Determinación Cuantitativa de Sales Metálicas	61
6.3.3. Etapas que deben seguirse para efectuar una buena cianuración	62
6.3.4. Neutralización del cianuro presente en aguas y arenas residuales	63

pág.

6.3.4.1. Método Recomendado para la Neutralización	63
6.3.5. Controles Analíticos en el Proceso de Cianuración	65
6.3.6. Otros Controles	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 1. Llegada simultánea de una partícula de oro y otra de cuarzo.	19
FIGURA 2. Draga de 6".	29
FIGURA 3. Draga de 8".	31
FIGURA 4. Diagrama de flujo para evaluación de apiques.	33
FIGURA 5. Recuperación y cuantificación de oro cuando se halla libre.	37
FIGURA 6. Recuperación y cuantificación de oro cuando se halla ocluido o asociado a algún metal o sulfuro.	38
FIGURA 7. Planta de cianuración por percolación.	46
FIGURA 8. Diagrama de flujo de una planta de cianuración por agitación.	48
FIGURA 9. Diagrama de flujo empleando concentración gravitacional.	49
FIGURA 10. Esquema de funcionamiento de una celda de flotación.	51
FIGURA 11. Diagrama de flujo empleando celdas de flotación.	52

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
DIAGRAMA 1. Modo de Ocurrencia del oro.	12
DIAGRAMA 2. Métodos principales de concentración de menas de oro.	13
DIAGRAMA 3. Flotoamalgamación	53
DIAGRAMA 4. Flujo de una planta piloto.	55

LISTA DE TABLAS

	pág.
TABLA 1. Flotación en planta industrial de menas de bajo contenido de oro libre.	56
TABLA 2. Flotoamalgamación en planta industrial de menas de bajo contenido de oro libre.	57
TABLA 3. Influencia del contenido de oro en la cabeza en una flotoamalgamación en planta industrial.	59

INTRODUCCION

El Ministerio de Minas y Energía, a través de la Dirección General de Minas y de la División de Fomento Minero y con el apoyo técnico de la Sección Regional Medellín, ha programado la realización de un Seminario-Taller sobre el Beneficio de Minerales Auríferos en el Municipio de Tambo, Cauca, del 1o al 6 de septiembre de 1992, dirigido a las comunidades mineras de los Departamentos de Cauca y Nariño.

La finalidad de este Seminario-Taller es ampliar el conocimiento sobre la extracción aurífera, presentando en forma teórica y práctica los métodos usados para el beneficio de minerales auríferos tanto filonianos como aluviales, con una orientación general que conduzca a un aprovechamiento integral del recurso y a la disminución de los efectos negativos sobre el medio ambiente.

El Grupo de Beneficio de Minerales y Metalurgia de la Sección Minera de Medellín, responsable de la ejecución de este Seminario-Taller ha elaborado una cartilla o guía minera para ser repartida durante el desarrollo del mismo, la cual por su contenido servirá de consulta a todas aquellas personas dedicadas a la actividad minera, especial-

mente al manejo de plantas de beneficio.

1. ANALISIS DE LA MINERIA

1.1. ANALISIS DE LA MINERIA ALUVIAL

La explotación de la minería aluvial está afectada por tres factores:

- Legal: Terrenos arrendados a altos costos.

- Social: Inseguridad.

- Técnico: No hay selección de área a explotar. Prevalece la cantidad de material a pasar por canalón. No se clasifica el material (no se usan parrillas estáticas y/o cribas vibratorias). Diseño y ubicación de las tolvas de los canalones según las características mineralógicas del oro y de los minerales acompañantes. Control ambiental e impacto ecológico.

Para aumentar la producción y el rendimiento del proceso, se recomienda apoyo técnico y económico:

- Asistencia Técnica integrada MINMINAS - MINERALCO y otras entida-

des que cubran las fases de evaluación de áreas a explotar; diseño y montaje del sistema de beneficio de acuerdo a las características geológico-mineras de cada explotación.

- Programa de crédito ágil y ojalá en especie, dirigido a mejorar el sistema de beneficio y recuperación de oro: Tolva, Criba o Parrilla, Canalón, Jigs o Mesa Vibratoria, Placas Amalgamadoras, en el cual se tenga un control sobre el uso de mercurio y se minimice el deterioro de las zonas explotadas.

1.2. ANALISIS DE LA MINERIA FILONIANA

El principal problema que presenta el pequeño minero es el bajo rendimiento que obtiene en los procesos de beneficio. Sólo recupera el oro que se libera a la molienda de los equipos californianos. En la región del Nordeste Antioqueño (Remedios, Segovia, Zaragoza) donde labora una población flotante de 4.000 personas, mensualmente proporciona a los "Entables" unas 1.000 ton de arenas auríferas con tenores superiores a los 10 gr/ton.

Recomendaciones de programas para el convenio MINISTERIO DE MINAS-MINERALCO:

- Asistencia técnica intensa y planificada para las minas activas en el mejoramiento de los equipos de beneficio.

- Recuperación de los valores auríferos presentes en los grandes volúmenes de arenas almacenadas en todas las regiones mineras.

- Pasivación del cianuro en los procesos de lixiviación para conservar el medio ambiente.

- Financiar investigaciones tecnológicas e inversiones de equipos a empresas mineras que exportan concentrados de minerales con tenores notables de oro y plata, para que esas divisas queden en el país.

- Suministro de crédito en especie de los siguientes equipos:
 - . Planta portátil de concentración de minerales auríferos.

 - . Trituración de mandíbula, molino de bolas, mesa concentradora, para procesar 700-800 kg de mineral por hora.

 - . Plantas de cianuración por agitación con sistema de precipitación con zinc en polvo, con carbón activado o con ripio de cuero.

2. MUESTREO Y PREPARACION DE MINERALES

El muestreo es el conjunto de operaciones que deben efectuarse a un mineral, con el objeto de obtener una pequeña porción que representa la composición de la cantidad total no solamente en cuanto a la riqueza media del mineral, sino también a la constitución física y química.

Una muestra unitaria o representativa se define como aquella porción que se escoge de tal modo que haya una gran probabilidad de que contenga todas las partículas, de diferentes tamaños, en la misma relación en que se encuentran en el total del mineral; es decir, que represente la composición cualitativa y cuantitativa de todo el conjunto.

3. PROCESO DEL MUESTREO

Operaciones principales.

3.1. TOMA DE MUESTRA

En el caso de los yacimientos minerales, la cantidad que debe tomarse como muestra representativa depende del tonelaje del mineral del depósito y el procedimiento de muestreo estará en función del grado de compactación y el tamaño de las partículas minerales. La toma de muestra se puede realizar por canales o zanjias y las dimensiones recomendables son las siguientes: el largo o longitud del canal, que estará de acuerdo con el área que se quiere muestrear. El ancho del canal, que es de aproximadamente 15 centímetros. La profundidad, que es de 20 cm. El intervalo utilizado para la obtención de cada muestra es de aproximadamente 1,0 m o menos en el caso que se estuviera muestreando una zona enriquecida.

3.2. REDUCCION DE LA MUESTRA

La reducción de la muestra se lleva a cabo -in situ- y dependerá

de la magnitud del depósito.

La primera muestra será una cantidad tal, que represente el tonelaje determinado en base al volumen y a la densidad del material. Si la cantidad es muy grande se tomará una fracción de un determinado número de extracciones hasta formar una pila que equivalga a un porcentaje de la cantidad calculada inicialmente. Esta muestra se tritura a un tamaño de $-2''$ y se vuelve a muestrear por el mismo procedimiento. La nueva muestra se tritura a un tamaño de $1/4''$ y se muestrea por cuarteo hasta obtener una fracción apropiada para enviarse al laboratorio.

3.3. PREPARACION DE LOS MINERALES PARA ANALISIS A ESCALA DE LABORATORIO

Las muestras con peso menor de 3 kg se trituran a tamaño de $-1/8''$; se mezclan hasta homogenización y luego se reducen a 200 gramos con el empleo del partidador Jones.

Por regla general las muestras se secan a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ con el objeto de eliminar el agua de humedad, salvo en los casos de minerales que a esta temperatura pierden agua de combinación, los cuales deberán secarse ya sea a una temperatura menor, al aire o al vacío a temperatura ambiente.

Una vez seca, la muestra se muele en el pulverizador de discos

a menos de 100 mallas. El tamaño de partícula dependerá del análisis que se pretenda ya que, cuando se trata de minerales refractarios difíciles de atacar o fundir, es necesario moler los minerales a tamaño de partículas más fino.

4. REGLAS GENERALES PARA LA PREPARACION DE LAS MUESTRAS

- La muestra deberá tomarse por una persona que tenga la experiencia necesaria para darse cuenta de si la muestra tomada es conveniente para las pruebas a que hay que someterla después.
- Debe elegirse el método más adecuado para la preparación de la muestra teniendo en cuenta la clase de mineral y las condiciones de almacenamiento o de manipulación
- Obsérvese si existen condiciones especiales que tiendan a hacer perder homogeneidad al mineral, como la exposición al aire libre de un montón del mineral y como la segregación por tamaños de éste.
- Póngase a la muestra una etiqueta que exponga claramente toda la información necesaria y la procedencia de la misma.

5. RECUPERACION DE ORO ALUVIAL

El proceso seleccionado para separar cualquier mineral de su ganga asociada debe tener en cuenta su condición después de molido. El oro, la plata y el cobre, ocurren en la naturaleza en estado metálico libre y tamaño en combinación química.

El Modo de Ocurrencia del Oro se puede observar en el Diagrama 1; Los Métodos Principales de Concentración de Menas de Oro en el Diagrama 2.

El oro libre ocurre en placeres como resultado de la acción meteórica asociado a minerales pesados y resistentes. Bajo estas circunstancias el proceso de la concentración es simple, necesitándose solamente el uso del tratamiento gravitacional para explotar las diferencias de gravedad específica del oro (19,0) y 2,7 de las arenas. Si la superficie del oro es limpia y brillante él puede ser colectado por el mercurio, con el cual se combina físicamente para formar una amalgama. Es posible hacer un concentrado gravitacional sin el uso de mercurio y aplicar métodos directos de fundición al concentrado con el fin de obtener el botón. Cuando el oro no

DIAGRAMA 1

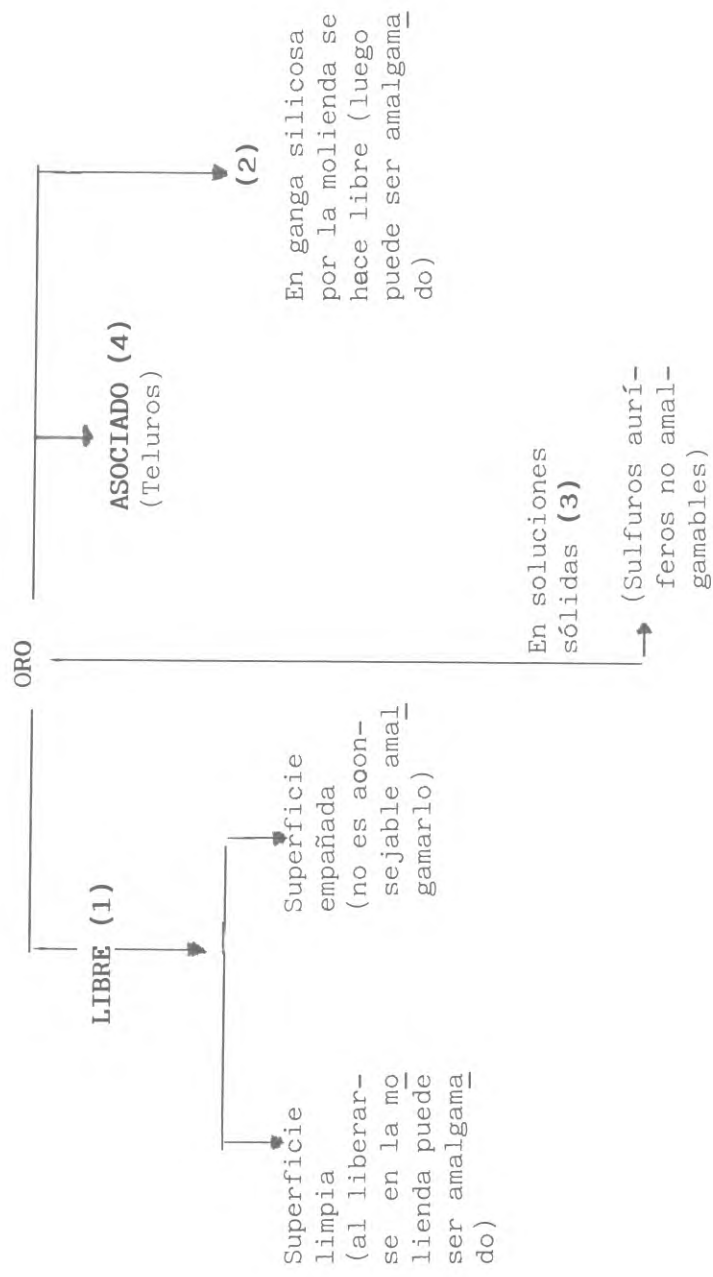
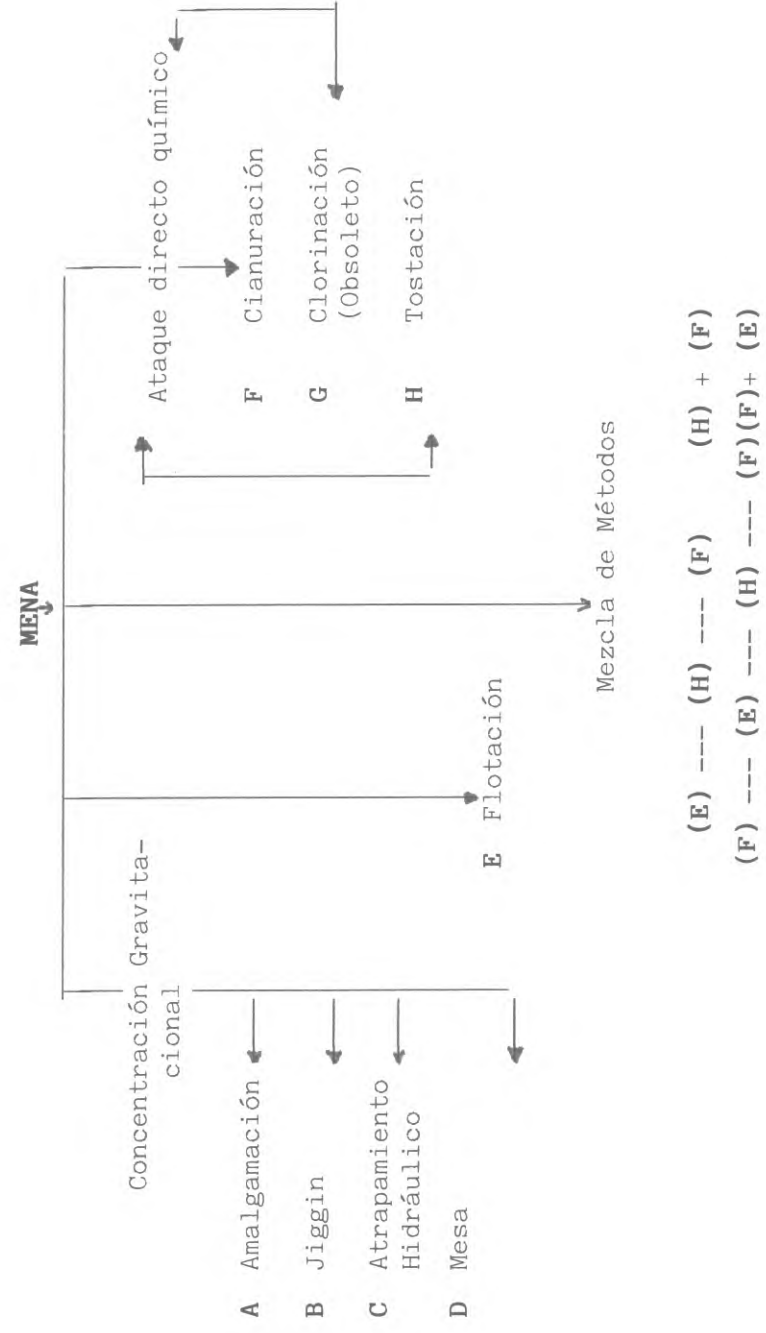


DIAGRAMA 2



MÉTODOS PRINCIPALES DE CONCENTRACION DE MENAS DE ORO

es amalgamable se hace uso de lo anterior. Si el oro ocurre en un sulfuro aurífero, por ejemplo, galena, y ésta tiene para ser recuperada, el oro puede obtenerse como un producto principal por fundición

Durante la exposición a la acción intempérica, la partícula de oro puede adquirir una pátina o revestimiento como la de hierro oxidado.

El oro puede amalgamarse sólo si la mancha es delgada y discontinua, o si se remueve esta película por frotamiento. Tales partículas son llamadas algunas veces "refractarias" aunque el término se reserva para ocurrencias de los tipos (3) y (4) en el diagrama anterior.

Estas películas probablemente tienen su inicio en la solución de hierro de los sulfuros provenientes del cuerpo de la mena de la cual el aluvión se ha derivado y su redepositación como un óxido de hierro hidratado alrededor del oro. Partículas de oro aluvial ocurren en muchas formas desde grandes (escasas) pepitas hasta minúsculas partículas de unos pocos micrones. Las figuras o contornos incluyen oro en alambres, hojas, hilos, láminas y esponjas y la gravedad específica varía entre 12 y 19 de acuerdo a los elementos combinados.

La mayor parte del oro mundial ocurre en una simple ganga silicosa, de la cual debe parcial o totalmente liberarse por trituración y molienda húmeda. Si al final de este proceso el oro libre de la ganga, es limpio y brillante él puede fácilmente ser colectado por el mercurio (amalgamación). Debido a su simplicidad y eficiencia,

fué el proceso principal para recuperar el oro filoniano antes del proceso de cianuración que empezó a emplearse a principios de este siglo. Si durante la molienda fragmentos de cuarzo llevan oro maleable, la amalgamación es más difícil y pueden ocurrir pérdida si los minerales asociados reducen física o químicamente las propiedades del mercurio, luego el proceso de amalgamación no es el indicado para una aplicación directa. Si el grano de oro es pequeño requiere de una molienda demasiado fina para su liberación, de nuevo la amalgamación puede ser un método inadecuado parcialmente debido al costo de una molienda tan fina y parcialmente debido a que un oro tan minúsculo no es totalmente amalgamable. Se presentan así varias circunstancias en las cuales la amalgamación no es el proceso más eficiente.

Las menas refractarias no amalgamables son de dos tipos: En el (3) del diagrama anterior, el oro existe como un metal el cual durante la formación del depósito ha precipitado de la solución formada por la fusión de los sulfuros metálicos y se ha diseminado a través de estos sulfuros como manchas minúsculas. Normalmente la molienda de la mena debe liberar estos sulfuros y parcialmente liberar el oro en el interior de los mismos.

Con más frecuencia es necesario separar los sulfuros auríferos de la ganga silicosa y someterlos a una molienda intensiva para que el oro que contiene sea liberado. Menas del tipo (4) son completamente inamalgamables debido a los seleniuros y telurios. Un

ataque químico directo para el oro es el único método conocido para su recuperación.

5.1. PROCESO DE AMALGAMACION

5.1.1. El Uso del Mercurio. Se encuentra en la naturaleza en estado nativo y combinado. El sulfuro de mercurio o cinabrio es el compuesto más común del mercurio y del cual se extrae todo el metal del comercio.

Las aplicaciones del mercurio son numerosas: en la construcción de termómetros y barómetros, en la fabricación de fulminantes.

En la industria minera, se liga con la mayor parte de los metales, con los cuales forma aleaciones que llevan el nombre genérico de amalgamas. Las amalgamas de los metales nobles -Oro y Plata- son más espesas y menos fluídas que el mercurio puro, pero conservan el brillo de aquél.

En cambio las amalgamas de los metales bajos -Plomo, Zinc, Estaño, etc.- presentan superficies mate (sucias). El mercurio en este estado - es decir combinado con metales bajos - es muy impropio para la amalgamación de los metales nobles, porque pierde su afinidad o tendencia a combinarse, debido a la película de óxido no metálico bajo que cubre la superficie de las partículas.

Otros elementos no metálicos -Arsénico, Azufre, etc.- tiene el mismo efecto amortiguador sobre el mercurio. Lo mismo las grasas y algunas sales metálicas como el cloruro de calcio. Es muy importante para el minero conocer las causas de las enfermedades del mercurio y saber combatirlas.

Es requisito para obtener reacciones químicas rápidas el contacto íntimo. Este puede conseguirse en la amalgamación sino procurando una gran superficie y haciendo que ésta se encuentre limpia. A lo primero se llega subdividiendo el metal líquido sin llegar a la atomización; lo segundo se obtiene empleando metal muy puro.

La pureza de este metal se reconoce por su brillo y fluidez; por la esfericidad que presentan las gotas de volumen mediano o porque no hace cola al rodar por una superficie vítrea. Si faltan estas condiciones, se debe refinar o purificar empleando procedimientos mecánicos y químicos.

5.1.2. Amalgamación. Proceso de amalgamación en que los metales nativos se separan de su ganga por un mojado selectivo de sus superficies metálicas por el mercurio en presencia de agua.

Cuando las partículas no metálicas inciden sobre la superficie del mercurio éste no los moja y debido al peso específico mayor del mercurio flotan y son arrastrados por la corriente.

Cuando una partícula choca contra la superficie de mercurio, éste se extiende por la superficie de la partícula y según sea la densidad (Figura 1).

- Ag, P.E = 1: Flota pero se mantiene inmóvil por efecto de la elevada tensión superficial.

- Au, PE \gg 17: La partícula de oro se hunde.

Los aparatos amalgamadores están constituidos para:

- Mantener una o varias masas de mercurio fijando frente a la fuerza de arrastre de una corriente de pulpa (Mojado Selectivo).

- Dispersar el mercurio en gotas para provocar una serie de colisiones al azar en las partículas metálicas (Operación Gravitatoria)

5.1.2.1. Principios Teóricos. Se estableció anteriormente que el oro mineralógicamente puede existir como oro libre o en estado combinado y/o refractario. Ambos tipos pueden coexistir. Es sin embargo esencial asegurar que la superficie de contacto esté siempre limpia (oro limpio - mercurio limpio) si una buena amalgamación se desea. Aún si el oro puede limpiarse superficialmente y frotarse por molienda, cualquier mineral asociado remanente cambia la pureza del mercurio. El tratamiento elegido debe evitar esta contaminación.

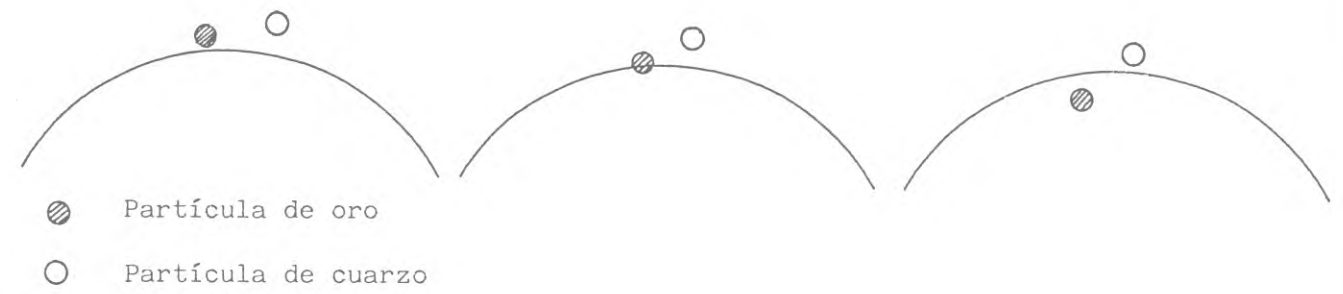


FIGURA 1. Llegada simultánea de una partícula de oro y otra de cuarzo.

El proceso de amalgamación es el método de recuperación de oro y plata por la aleación física con el mercurio. Cuando las partículas de oro son puestas en contacto en el mercurio son mojadas por éste y absorbidas. Este proceso se deriva de tres propiedades importantes de las sustancias que intervienen.

- El oro y la plata son las únicas sustancias metálicas en las formaciones de las cuencas aluviales, que son amalgamables.

- El oro y la plata son solubles en mercurio (el platino no es amalgamable y relativamente insoluble en agua), por lo tanto, mojadas preferencialmente por el mercurio.

- La tensión superficial de la interfase agua-mercurio es lo suficientemente alta (375 dinas por centímetro) para que una partícula metálica mojada por el mercurio se hunda en él, así como las partículas que son mojadas por el agua se hunden en ella.

Para que la amalgación sea satisfactoria, se requiere:

- Que las partículas de oro estén limpias. Si la superficie está manchada u oxidada, recubierta de ciertas sustancias neutras, (especialmente con óxidos de hierro), este oro llamado "impregnado" se resiste al mercurio.

- La mena debe contener pocos materiales de los que son venenosos

para que el mercurio como grasas, talco, óxido de magnesio, sulfuros de plomo, de arsénico, de antimonio, etc., los cuales causan la enfermedad del mercurio y las pérdidas de valores que se van en las colas.

- Usar un mercurio limpio y activo, evitando la atomización del mismo. Se dice que el mercurio se atomiza, cuando se divide en partículas tan pequeñas que semejan arena; en este estado no amalgama y ni siquiera las partículas pueden reunirse. Es causado por demasiado golpeo en el molino de bolas. Para revivir el mercurio debe usarse amalgama de sodio o limpiarse sumergiéndolo en una solución de ácido nítrico uno a tres o haciendo burbujear aire a través de él. Si está muy impuro, a lo anterior debe añadirse la destilación con cal y limaduras de hierro, con nitrato de sodio o de potasio.

Las pérdidas durante el proceso de amalgamación pueden disminuirse o evitarse, así:

- Usando mercurio limpio y activo.

- La adición de mercurio en cantidades adecuadas, para que la amalgama no se acumule en porciones sobre las placas.

- El empleo de trampas de mercurio.

- Moliendo más fino para que las partículas gruesas mineralizadas liberen el oro.

- La instalación de mesas o placas de amalgamación, con caídas entre ellas, cuando se produce oro "flotante" (que esté muy finamente dividido).

- Las pérdidas por fugas de oro en las colas, pueden reducirse a un mínimo, procesándose con cianuro o sometiéndolas a un procesamiento de flotación-amalgamación.

5.1.3. Tipo de Amalgamadores.

5.1.3.1. Botella de Amalgamación. Es un cilindro vertical con mercurio en el fondo. La pulpa fluye dentro del cilindro manteniendo una continua agitación en el fondo, que permite la amalgamación de las partículas de oro. Estos dispositivos son ampliamente usados en las dragas y van colocados a continuación de los jigs secundarios para tratar los concentrados de éstos.

5.1.3.2 Mesas de Amalgamación. Son usualmente placas de cobre, con una superficie revestida de plata. Su longitud depende del tipo de oro. Si es gruesa, la longitud de la mesa es menor que cuando el oro es de grano fino.

El revestimiento con plata puede hacerse químicamente o por electrodeposición. En el primer caso la placa se limpia con una solución de soda para eliminar cualquier contenido de grasa.

Luego con cuidado se cubre de mercurio con la ayuda de cloruro de amonio o de cianuro de potasio. Para que la amalgamación principie se le riega a la mesa un poco de amalgama de plata.

En el caso de las dragas las placas se revisten por electrodeposición, con un contenido de 600 a 900 gramos de plata por metro cuadrado. La placa se impregna de mercurio en exceso, produciendo la amalgamación en la cara plateada. El mercurio se retiene en la superficie de la mesa y atrapa las partículas de oro de la pulpa que fluye sobre ella, se emplean inmediatamente después de las botellas de mercurio con pendientes de 10 a 15%, dependiendo del tamaño y volumen de la arena. La remoción de la amalgama se hace periódicamente raspando con una espátula su superficie.

5.2. RECUPERACION DEL MERCURIO

El sistema común y corriente es el de envolver la amalgama en una tela fuerte y retorcer ésta vigorosamente. Al final de la operación ayuda mucho a eliminar el azogue, darle a la amalgama sacudidas o golpes secos. El resto del mercurio se debe separar por destilación empleando la retorta. Esta debe ser de una capacidad tal que la amalgama no ocupe más del 66% del volumen. Proteger el

fondo con una capa delgada de arcilla, cal o talco para evitar que el oro se pegue al hierro. En caso de no tener a mano alguno de los compuestos anteriores, se puede usar un pedazo de papel encerado interpuesto entre la amalgama y la retorta (Observar dibujo de la retorta).

Como el mercurio hierve a 357°C , se debe pasar de esta temperatura para efectuar la destilación completa del metal líquido, llegando hasta el rojo oscuro para que la operación sea completa, pero no pasar de este punto, so pena de fundir el metal valioso y pegarlo a la retorta y aún averiar ésta.

Se precisa poner cuidado especial al cerrar la retorta para evitar escapes del metal al destilar. Se debe observar que la tapa y la vasija metálica sean concordantes y soldar perfectamente. El extremo del tubo condensador sólo debe penetrar unos milímetros en la vasija o recipiente con agua donde se recoge el mercurio.

5.2.1. Envenenamiento con Mercurio. Tanto el mercurio metálico como muchos de sus compuestos son venenosos. Donde quiera que existe mercurio expuesto al aire, está presente el riesgo que representa sus vapores, pues si bien la tensión de vapor del mercurio a la temperatura ambiente es baja, es suficiente para ser peligrosa; por lo tanto, es posible sufrir el envenenamiento crónico, cuando se mantiene mercurio en vasijas abiertas y en lugares confinados, como en los dormitorios. La absorción del mercurio metálico se

verifica a través de la piel, de los pulmones y del intestino, una vez absorbido, su presencia se observa en casi todos los órganos tejidos y secreciones.

5.2.1.1. Síntomas. Los síntomas se presentan en la forma siguiente: Sabor ocre y metálico, seguido inmediatamente de estrechez y ardor en la garganta, con ansias y dolores lacerantes en estómago y vientre, náuseas, vómitos de sustancias fluídas de diversos colores, y a veces diarrea abundante y sanguinolenta, con dificultad y dolor al evacuar la orina, pulso frecuente, débil y trabajoso; desvanecimientos, debilidad, respiración dificultosa, calambres, sudores fríos, síncope y convulsiones.

5.2.1.2. Tratamiento. Si no hay vómito, se dan enseguida eméticos, como claras de huevo en grandes cantidades y repetidas dosis y después leche, mezclas de harinas y agua en tomas sucesivas, se reprime la excesiva insalivación echando media onza de clorato potásico en un vaso de agua y haciendo con este líquido frecuentes gárgaras, bebiendo una cucharada cada hora o cada dos horas.

5.3. EQUIPOS COMPLEMENTARIOS PARA LA MINERIA DE ALUVION

Para pruebas y muestreos eficientes de depósitos de placer o para pequeñas operaciones de placeres se usan una serie de equipos sencillos y eficientes fáciles de transportar y de acoplarse entre

sí.

5.3.1. Batea o Artesa Mecánica. Es uno de los dispositivos colectores de oro más antiguos y de utilidad comprobada. Se consiguen modelos simples o dobles y con o sin criba giratoria. Su intervalo de capacidad va de 1 - 1/2 - 4 metros cúbicos de material de banco (bank-run). Su movimiento ondulatorio duplica la acción del sacudimiento o cateo a mano. Recupera valores gruesos y finos.

Esta unidad portátil y totalmente integrada consta de bomba, motor, trampa de pepitas y artesa de amalgamación. Opera generalmente con motor de gasolina de 1½ a 4 HP.

5.3.2. Gold Saver (Ahorrador de Oro). Equipo portátil totalmente integrado. Se compone de una base de acero, bomba para el lavado permanente de la criba, tanque y criba giratoria de lavado y para atrapar el oro un canalón de rifles de diseño especial, el cual para tener el lecho vivo en acción sus rifles vibran lateralmente a 200 impulsos por minuto.

Su capacidad es de 2 a 3 metros cúbicos de material normal de banco o terraza por hora y opera con motor de 2 1/4 HP.

5.3.3. Unidad Integrada de Trommel y Jig. Es recomendado para concentración de oro y arenas negras y la recuperación de otros minerales pesados.

El Jig o pulsador hidráulico es la unidad concentradora. La criba giratoria (Trommel) es la unidad lavadora, limpia la alimentación y elimina las partículas de sobretamaño.

La unidad puede accionarse por motor de gasolina o por motor eléctrico. La unidad portátil montada sobre esquíes, puede instalarse sobre dragas. La capacidad con Jig simple de 8" x 12" es de 1 a 2 metros cúbicos de grava o arena por hora. Con Jig doble de la misma dimensión es de 2 a 3 metros cúbicos.

5.3.4. La Unidad de Amalgamación (Barril o Molino). Es un molino cilíndrico o cuadrado con cuerpos moledores (bolas o barras) en su interior. La alimentación es discontinua y está provisto de una tapa lateral para cargar y descargar el material. El oro se limpia por la acción de los cuerpos moledores y se amalgama fácilmente.

5.3.5. Dragas de Succión o Draguetas. Muy empleadas por los pequeños mineros en los ríos Porce, Nechí, Cauca y afluentes de los ríos, especialmente las de 6 y 8 pulgadas, cuya fábrica de ensamble está en la ciudad de Medellín.

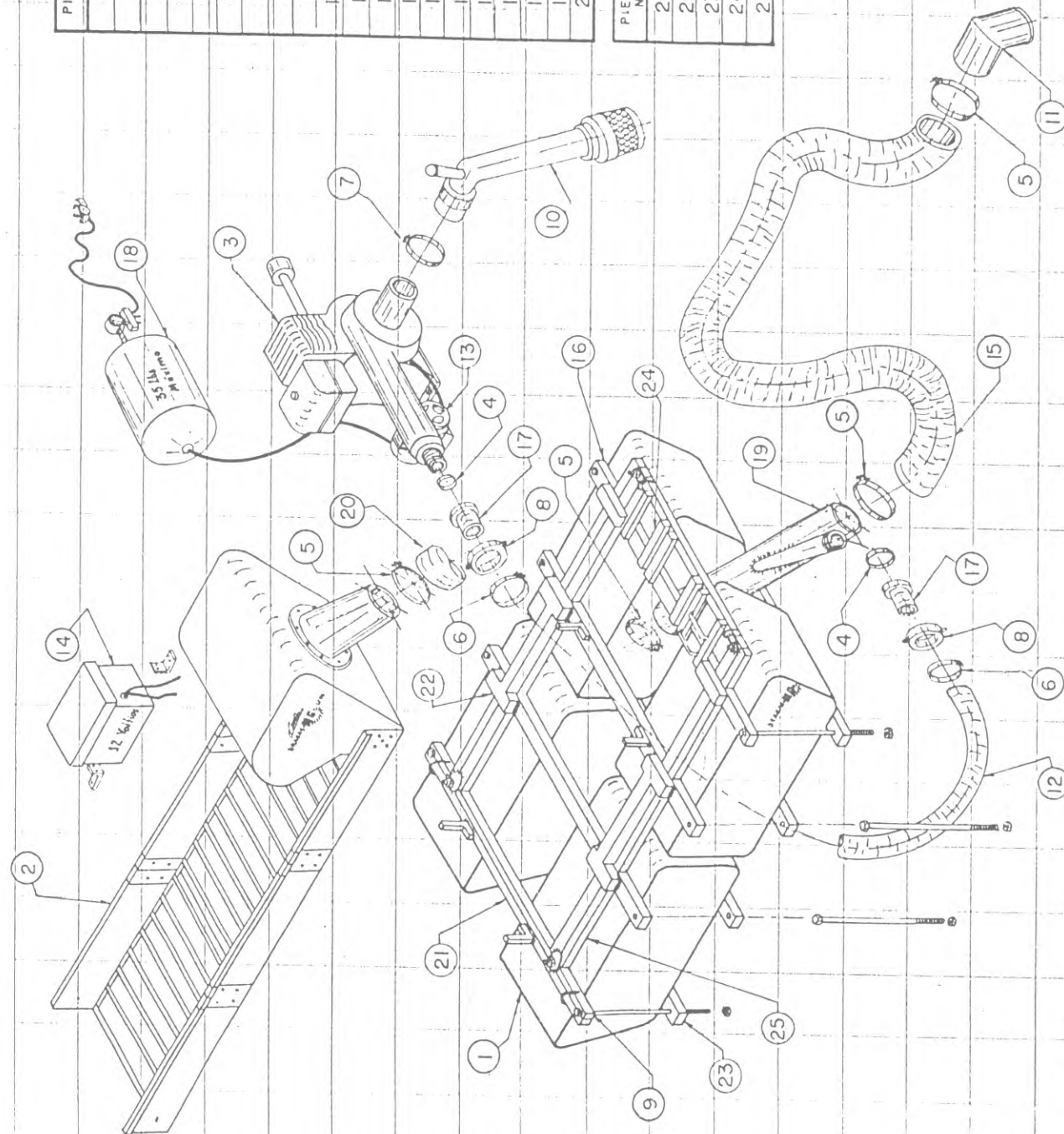
Las características de estas dragas son:

5.3.5.1. Draga de 6". Draga flotante, capaz de succionar más

de 20 metros cúbicos por hora desde una profundidad de 10 m, usando un motor de 16 HP al cual se acopla directamente una bomba con capacidad de 650 gal/min. Equipada con un compresor cuya capacidad es suficiente para suministrar aire a dos buzos a una profundidad de 10 m. Cuatro flotadores recubiertos con plástico reforzado, soportan el peso de la máquina mediante un chasis construido con tubos de hierro. La casilla, de plástico reforzado y de gran resistencia al impacto, está unida a un cono metálico, y éste, por medio de un acople de caucho, al inyector.

El cono asegura una distribución uniforme de material aluvial a la casilla. La draga equipada también con una manguera de succión de 6" y 6 m de longitud unida al inyector. Peso total aproximado del equipo 220 kg (Figura 2).

5.3.5.2. Dragas de 8". Dragas flotantes, capaces de succionar más de 30 metros cúbicos por hora desde una profundidad de 12 m, usando dos motores de 16 HP a los cuales se acopla directamente dos bombas con capacidad cada una de 650 gal/min. Equipada con un compresor cuya capacidad es suficiente para suministrar aire a dos buzos a una profundidad de 12 m. Cuatro flotadores recubiertos con plástico reforzado, soportan el peso de la máquina mediante un chasis construido con tubos de hierro. La casilla de plástico reforzado y de gran resistencia al impacto, está unida a un cono metálico y éste, por medio de un acople de caucho, al inyector. El cono asegura una distribución uniforme de material aluvial a la casilla.



PIEZA N°	CANTIDAD	NOMBRE
1	4	Flotadores de 150 mts
2	1	Canalón de 6"
3	1	Motor
4	2	Empaque de racor 3"
5	4	Abrazadera de 6"
6	2	Abrazadera de 3"
7	1	Abrazadera de 4"
8	2	Tuerca de racor 3"
9	16	Tornillo largo 5/16 x 42cm
10	1	Granada
11	1	Sorvedor
12	1	Manguera 3"
13	1	Compresor
14	1	Caja de batería
15	1	Manguera de 6"
16	1	Chasis de 6"
17	2	Racor 3"
18	1	Tanque con manómetro
19	1	Power de 6"
20	1	Acople de caucho

PIEZA N°	CANTIDAD	PARTES DEL CHASIS
21	2	Soporte trasero
22	1	Camá central
23	7	Soportes inferiores
24	1	Soporte de motor
25	2	Paral lateral

DRAGAS H.E. LTDA.
 Av. Guayabal Calle 14 Sur N.º 51 C-70 - A 56630
 Tel. 2554914 - 2557789 - 2557791 - Medellín - Colombia

DRAGA DE 6" Reviso: Gabriel Posada

Dibujo: Carlos A. Vasquez Plano N°

Fecha: 7 Mayo / 86 Esc: 1

FIGURA 2. Draga de 6".

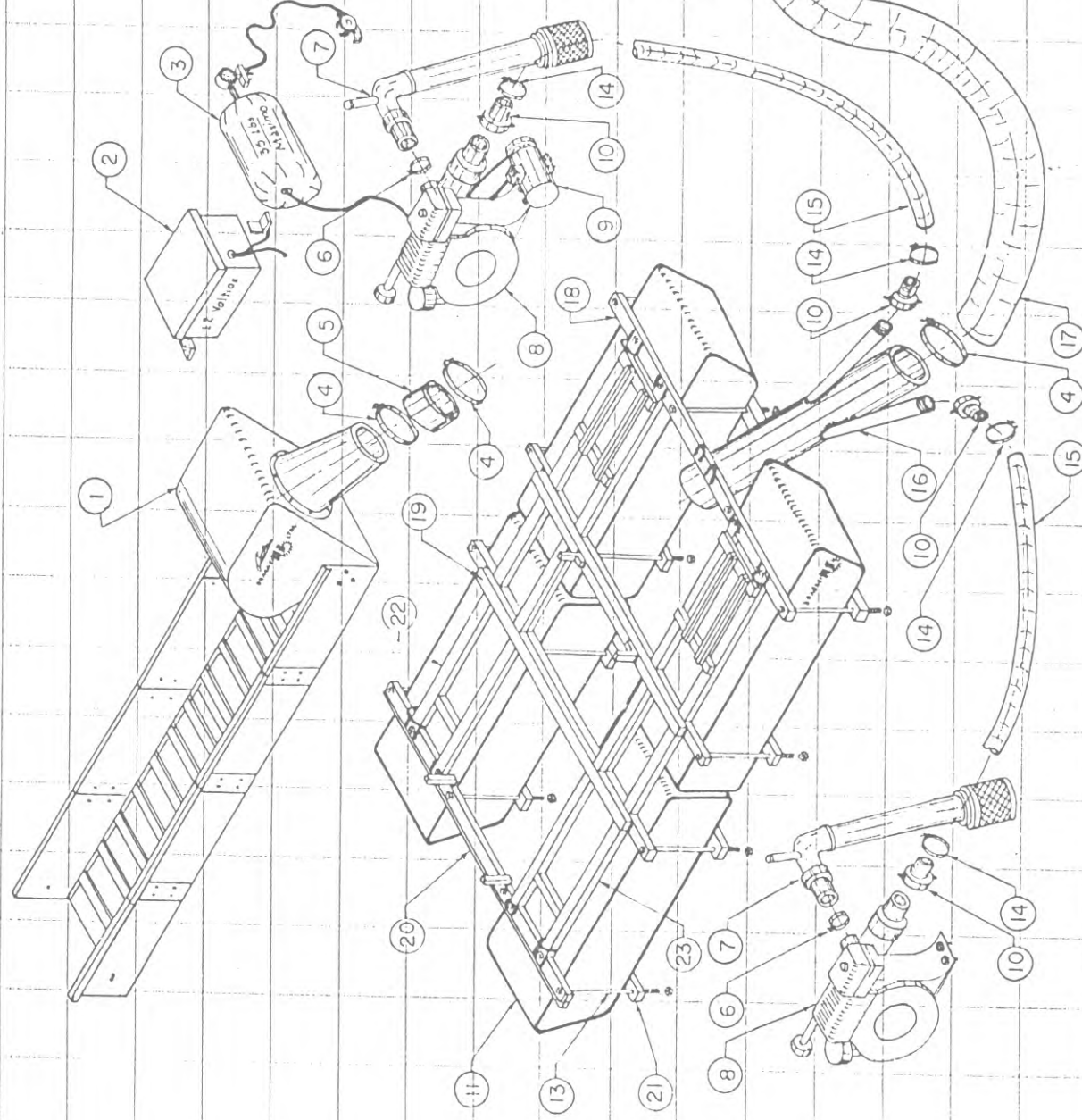
La draga está equipada con una manguera de succión de 8" y 6 m de longitud unida al inyector. Peso total aproximado del equipo 300 kg (Figura 3).

5.4. SISTEMA PARA LA DETERMINACION DE VALORES EN EL CAMPO EN EVALUACIONES ALUVIALES

El Grupo de Beneficio de Minerales de la Seccional Minera de Medellín, Ministerio de Minas y Energía, diseñó un sistema para determinar en el campo el contenido de valores presentes en las muestras que resultan de las evaluaciones aluviales, basado en que toda la muestra de un apique o de una perforación puede ser procesada gravitacionalmente y el oro que se encuentre en el concentrado se de en forma libre o en forma asociada - ocluida a minerales de hierro puede ser determinado cuantitativamente.

El sistema considera las siguientes etapas:

- Preconcentración gravitacional en canalón y obtención de un producto final en mesa vibratoria.
- Homogenización (frotamiento) y amalgamación del oro libre en el concentrado gravitacional.
- Determinación del oro asociado y/o ocluido por el método de ensaye al fuego y copelación.



PIEZA N.º	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Canalón de 8"
2	1	Caja de batería
3	1	Tanque con manómetro
4	4	Abrazadera de 8"
5	1	Acople de caucho
6	2	Abrazadera de 4"
7	2	Granada
8	2	Motor
9	1	Compresor
10	4	Racor completo 3"
11	4	Flotadores de 2 mts
12	1	Sorvedor
13	16	Tornillo largo 5/16" x 47mm
14	4	Abrazadera de 3"
15	2	Manguera de 3"
16	1	Power de 8"
17	1	Manguera de 8"

PIEZA N.º	CANTIDAD	PARTES DEL CHASIS
18	1	SopORTE delantero
19	1	Cama central
20	1	SopORTE trasero
21	7	Soportes inferiores
22	1	Bandera izquierda
23	1	Bandera derecha

DRAGAS H.G. S.A. LTDA.

Av. Guayabal Code 14 Sur No. 51C-70-A 56650
 Tels: 2554914-2557789-2557791-Mesillas-Ciudad

DRAGA DE 8"	Revisó: Gabriel Pasada
Dibujó: Carlos A. Vaquez	Plano No.
Fecha: 16 Mayo/66	Esc: 2

FIGURA 3. Draga de 8".

5.4.1. Lavado Inicial del Material - Preconcentración Gravitacional. El canalón que se coloca cerca de cada apique, se diseñó de tal forma que fuera de fácil manejo y transporte, capacidad suficiente para permitir el "lavado" de la totalidad de la muestra extraída del apique (preconcentración), obteniendo como producto un preconcentrado o jagua que contiene: oro, plata y otros elementos metálicos, los cuales pasa a la siguiente etapa "concentración".

5.4.1.1. Características del Canalón. Se pueden observar en la Figura 4).

5.4.1.1.1. Estructura. El canalón se construyó en lámina metálica, la cual tiene las siguientes ventajas, respecto a la madera u otro material:

- Mayor durabilidad.
- Es liviano
- Facilidad de manejo
- Mayor resistencia, etc.

5.4.1.1.2. Dimensiones.

- Largo 2 m
- Ancho 0,4 m
- Bordos laterales 0,10 m

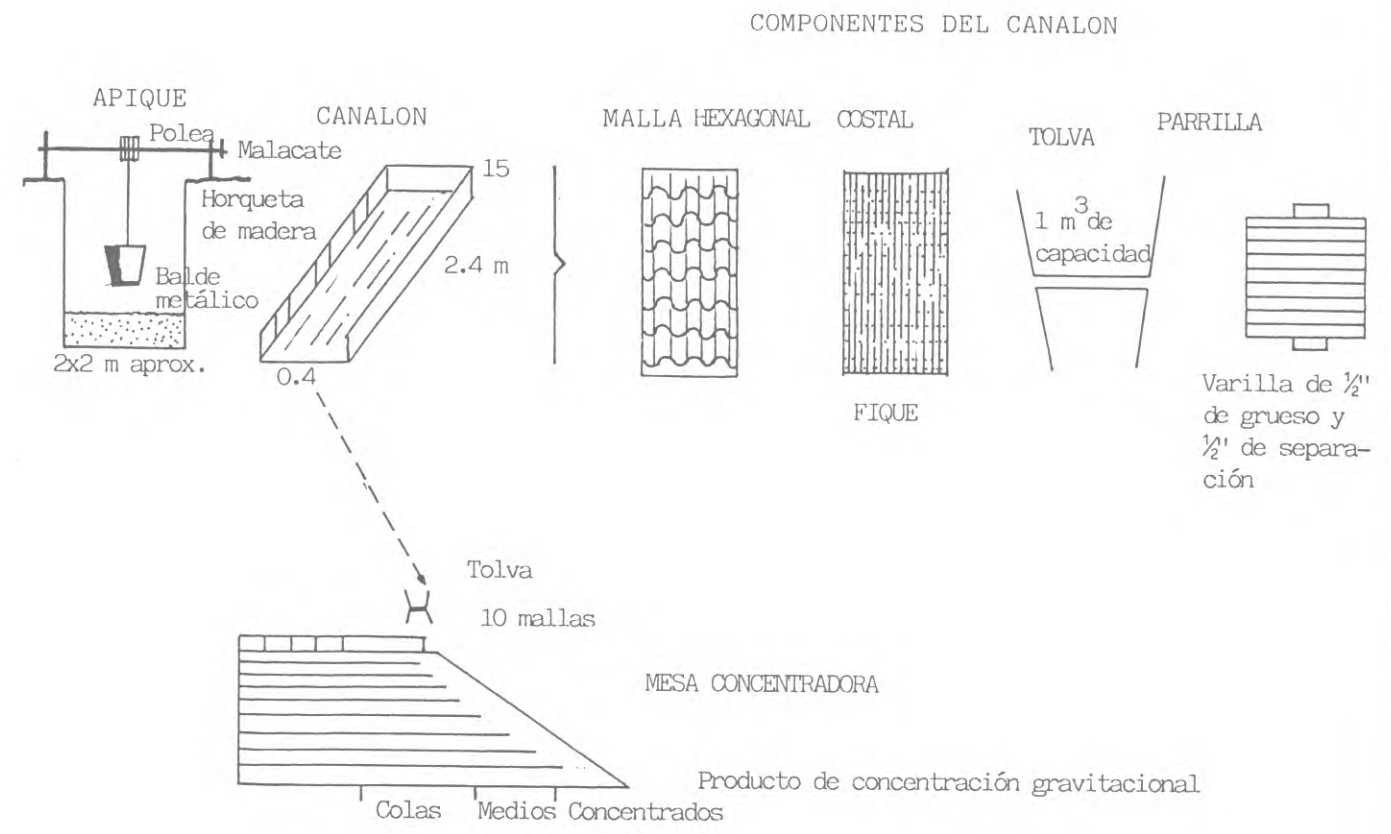


FIGURA 4. Diagrama de flujo para evaluación de apiques. Al terminar a pasar la totalidad del material a través del canalón, se recoge el concentrado en un balde y se lleva al laboratorio donde se inicia la concentración final en mesa vibratoria, batea, etc.

Aparte del canalón se diseñó una base de ángulo metálico, la cual permite cinco variaciones en la pendiente del canalón entre 5° y 15°. Además, la lámina lleva dos ángulos con el fin de darle mayor resistencia al canalón.

5.4.1.1.3. Pendiente. Debe ser uniforme en todo el canalón. Menos de 0,5 a 1% en la casilla para retener el mayor porcentaje de oro. Pendientes pequeñas reducen la eficiencia del canalón, limitan el tamaño máximo de la piedra que puede arrastrarse y aumentan el costo del manejo de la piedra grande. Pendientes pequeñas pueden compensarse en parte en aumento de agua, e inversamente pendientes fuertes pueden suplir en parte falta de agua.

5.4.1.1.4. Longitud. Para la explotación de aluviones en gran escala, el canalón debe ser lo suficiente para desintegrar la grava y la arena de los aluviones y liberar el oro. Para aluviones de minerales sueltos son suficientes de 35-45 m. La velocidad del flujo de agua en el canalón determina notablemente el tamaño mínimo de los granos de oro recogidos por los rieles.

5.4.1.1.5. Sección Transversal. Es proporcional a la cantidad de grava y agua y a la velocidad del flujo de ésta, que a su vez depende de la pendiente. Para minerales de grava menuda que contengan oro fino debe emplearse canalón ancho y poco profundo con pendiente fuerte. La tendencia que tiene el mineral a empacarse en los rieles aumenta con la profundidad del agua (6" a 12").

5.4.1.1.6. Agua requerida. Varios autores recomiendan las velocidades siguientes para mover:

- Piedras de menos de 3": 1 m/seg
- Piedras de 3" a 4": 1,6 m/seg
- Piedras de 6" a 8": 2,04 m/seg

5.4.1.1.7. Rifles. Son ciertas trampas colocadas en el fondo de los canalones para recoger el oro, su función es la de:

- Retardar el movimiento de los minerales sobre ellos para que el oro se asiente.
- Formar celdas para retener el oro que se aloja en ellos.
- Formar ciertos remolinos que clasifiquen los minerales que quedan en los espacios de los rifles.

5.4.1.2. Proceso de Preconcentración. El proceso de preconcentración es el siguiente:

Sobre el piso se coloca un costal de fique el cual permite atrapar el oro en su tejido. Encima del costal se coloca la malla metálica romboidal, la cual lleva unas pestañas metálicas en el borde, para garantizar la uniformidad en la base del canal.

En la parte superior del canalón se coloca un tolva con una capacidad de $1/8 \text{ m}^3$ y en el fondo en esta tolva, se coloca una parrilla de varilla, con espaciamiento de $1/2''$, lo cual permite seleccionar el material que pasa a través de la malla, garantizándose una mejor recuperación.

Para transportar el material se necesita agua, la cual se obtiene de una corriente por medio de motobomba.

5.4.2. Homogenización (Frotación) y Amalgamación del Mineral. La jagua que contiene los valores de oro y plata, además de impurezas como hierro, cobre, plomo, zinc, etc., se coloca en un molino de porcelana con una carga de cuerpos moledores adecuada, se adiciona agua y se monta el molino sobre un agitador de rodillos, iniciándose así la homogenización.

El proceso se realiza durante una hora, al final de la cual se supone que el material es homogéneo lo cual significa que las partículas de oro están libres y su superficie limpia.

A continuación se adiciona una cantidad de mercurio y nuevamente se monta en el molino. Después de una hora el mercurio y el oro se alean físicamente formando una amalgama, la cual al quemarse, libera el oro (Figuras 5 y 6).

1) SI EL ORO SE HALLA LIBRE

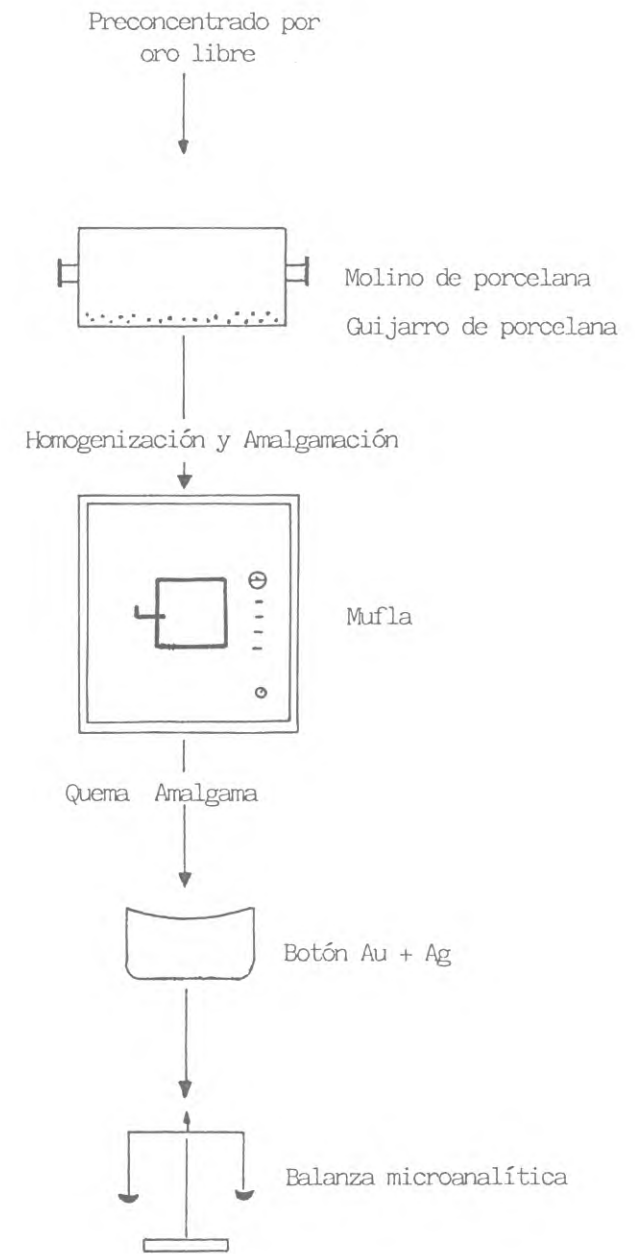


FIGURA 5. Recuperación y cuantificación de oro cuando se halla. En el caso del oro microscópico que escapa al mercurio; o que haya oro combinado con otros metales, la determinación se hace por ensaye al fuego (Figura 6).

2) SI EL ORO SE HALLA OCLUIDO O ASOCIADO A ALGUN
Preconcentrado con oro asociado METAL O SULFURO

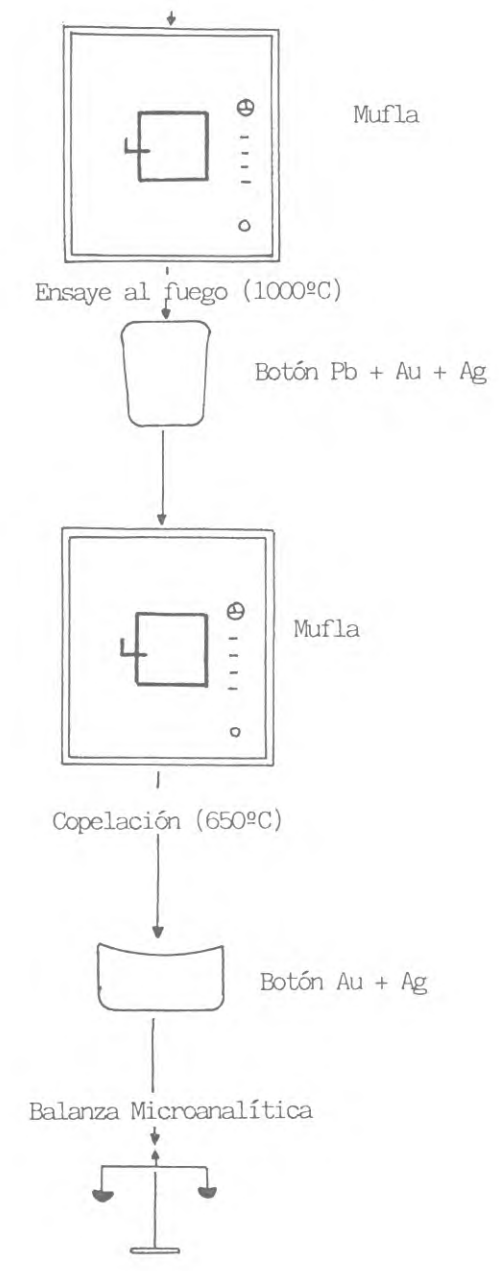


FIGURA 6. Recuperación y cuantificación de oro cuando se halla ocluido o asociado a algún metal o sulfuro.

5.4.3. Ensaye al Fuego. El ensaye de oro y plata, se basa en la propiedad que tiene el plomo, el cual al fundirse colecta el oro y la plata. La aleación plomo-oro-plata se obtiene por adición de plomo en forma metálica o en forma de óxido conjuntamente con otros fundentes como: borax, carbonato de sodio, sílice, etc.

Posteriormente mediante el proceso de copelación, el oro y la plata son separados del plomo que se colectó, oxidando el plomo el cual es absorbido por la copela casi en su totalidad y una mínima parte es volatizada, dando como resultado un botón de oro y plata.

La plata se separa por disolución con ácido nítrico diluido dejando el oro para su cuantificación gravimétrica. El peso de la plata se calcula por diferencias, tomando en cuenta el peso de ambos metales y el peso de muestra usado para la determinación.

6. CONCENTRACION DE MINERALES DE VETA

6.1. EL ORO COMO MINERAL

Existen dos clases de minas de oro: Las que se encuentran en filones de formaciones rocosas y las que se han conformado en depósitos arenosos o aluviones, (llamados "placeres"). En las primeras la riqueza del mineral es del orden de 6 a 12 gramos por tonelada; en las segundas puede variar mucho, según se trate de un depósito rico o pobre; de 0,2 gramos en adelante.

Hállese donde se halle, el oro aparece en estado nativo, separado de otros elementos con los que podría formar compuestos químicos. Pero esta característica, junto con el hecho de ser el menos químicamente activo de los metales, no lo redime de la impureza; el oro contiene otros metales, particularmente plata, en proporciones variables.

En su estado natural, es posible hallarlo asociado al cobre, al plomo, al zinc, al platino, al paladio, al hierro, al bismuto, al mercurio o al telurio, entre otros elementos.

Esas asociaciones constituyen el mejor indicio para la búsqueda del metal precioso. Por ejemplo, donde hay pirita o sulfuro de hierro, el buscador avanza seguro de descubrir, de un momento a otro, el filón promisorio.

6.2. TECNICAS PARA LA EXTRACCION

La extracción del oro libre de los aluviones y vetas no presenta complicaciones en términos generales, pues en los primeros se realiza mediante un trabajo de minería a cielo abierto. El oro confundido en las arenas o rocas del río, entremezclado a guijarros o cubierto por lava, o arena del lecho de las corrientes de agua, tiene que ser detectado y su presencia evaluada en términos cuantitativos.

La operación se reduce a batir el aluvión, desintegrándolo totalmente y obligando toda la carga que se extrae a pasar por largos canalones, con una inclinación que permita el paso del agua en donde el oro, junto con las jaguas, se precipita debido a su mayor densidad, quedándose detenido en los rifles o mallas que se colocan en el piso de los canalones. El metal se separa luego de los sulfuros o jaguas valiéndose de cernidores, del uso de la batea o de las mesas vibratorias.

El concentrado es amalgamado; el producto quemado en retorta, permite recuperar el mercurio libre. (Observar la figura que indica la forma adecuada de quemar las amalgamas).

En las vetas el oro libre se extrae después de triturar y moler finamente el mineral en equipos apropiados; trituradoras y molinos de bolas, molinos de varilla, molinos californianos y molinos antioqueños. En esta etapa de trituración se recupera el oro libre que contiene el mineral por el proceso de amalgamación. Los residuos de este proceso: arenas, sulfuros, sulfuros de hierro, de plomo, de zinc, luego se tratarán por cianuración con el objeto de extraerles el oro fino que escapó al proceso anterior o el que se halla asociado o combinado a los sulfuros. La cianuración puede hacerse de dos maneras:

- Cianuración de todo el material, bien sea por percolación o por agitación.

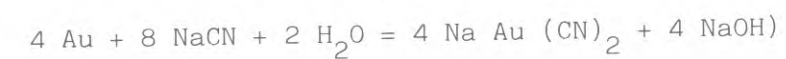
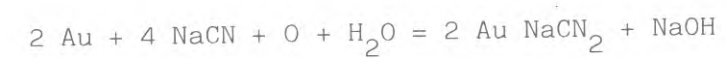
- Concentración mecánica y química -flotación- con el fin de eliminar el material estéril o cianicida y obtener un concentrado de alto tenor, que luego de extraerle los valores por cianuración se recuperen los metales secundarios en forma de sulfuros; blenda (de zinc), galena (de plomo), pirita (de hierro) en grado comercial.

6.3. PROCESO DE CIANURACION

Consiste en términos generales, en el tratamiento por percolación agitación de las arenas, concentración o residuos provenientes de los molinos con una solución de cianuro. Esta sustancia tiene

la propiedad de disolver el oro contenido en el mineral -sea en forma libre o haciendo parte molecular de los sulfuros- y el metal noble se recupera de la solución, precipitándose con zinc (también se usan carbón, aluminio o eletrodeposición) para después purificarlo por medio de calcinación, fundición y afinación.

La siguiente fórmula básica representa las reacciones químicas que se verifican en las soluciones:



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 compuesto de cianuro de oro 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 particularidad es muy importante, pues en un mineral que porta oro, la proporción de material estéril a material con valores, es enorme. Esta propiedad de las soluciones de cianuro se llama "acción selectiva".

La concentración de las soluciones de cianuro con que ha de hacerse

el tratamiento tiene su influencia sobre la extracción de los valores, el gasto de reactivos y sobre la eficiencia de la precipitación por el zinc. En la práctica general el tenor de cianuro más apropiado es de 1,5 a 2,0 kg de cianuro de sodio por metro cúbico de solución.

El oro y la plata atacados por el cianuro quedan totalmente en solución y de ninguna manera en estado de suspensión mecánica. Estos metales quedan disueltos en forma de cianuros dobles y oro y de sodio, y de plata y sodio. La reacción básica de la precipitación es la siguiente:



Al poner en contacto zinc con la solución de cianuro, desaloja al oro de la solución ocupando su lugar, debido a que el zinc es un metal 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 se filtra, se seca y se calcina a una temperatura moderada, que no vaya a fundirlo y hacer que se adhiera al metal de la vasija de donde es muy difícil desprenderlo.

En algunas partes, el cianuro ha sido reemplazado por la tiourea presentándose notables diferencias:



TIOUREA:

CIANURO:

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| - Muy costoso | - Más económico |
| - Medio Acido | - Medio alcalino |
| - Diversos oxidantes | - Oxígeno |
| - Formación de complejos catiónicos | - Formación de complejos aniónicos |

6.3.1. Beneficio de Arenas y Lodos Auríferos. El beneficio de arenas auríferas (producto de filones) se practica en Antioquia y también en Colombia con unas pocas excepciones, por el sistema de cianuración por percolación. Percolar es hacer atravesar la masa de arenas depositadas en un tanque, provisto de falso fondo y filtro, por un líquido o solución añadido en la superficie nivelada de las arenas.

El ideal para una buena percolación y efectiva disolución de los metales nobles sería obtener arenas de grano parejo en volumen, que quedarán expuestas a la acción del solvente -cianuro- sin que se trituraran más allá de la malla o tamiz No. 20 (Figura 7).

La cianuración de minerales muy finamente pulverizados, no puede efectuarse por percolación, ya sea porque la cantidad o calidad

MEDIDAS PARA LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE CIANURACION POR PERCOLACION PARA 40 TONELADAS DE ARENAS

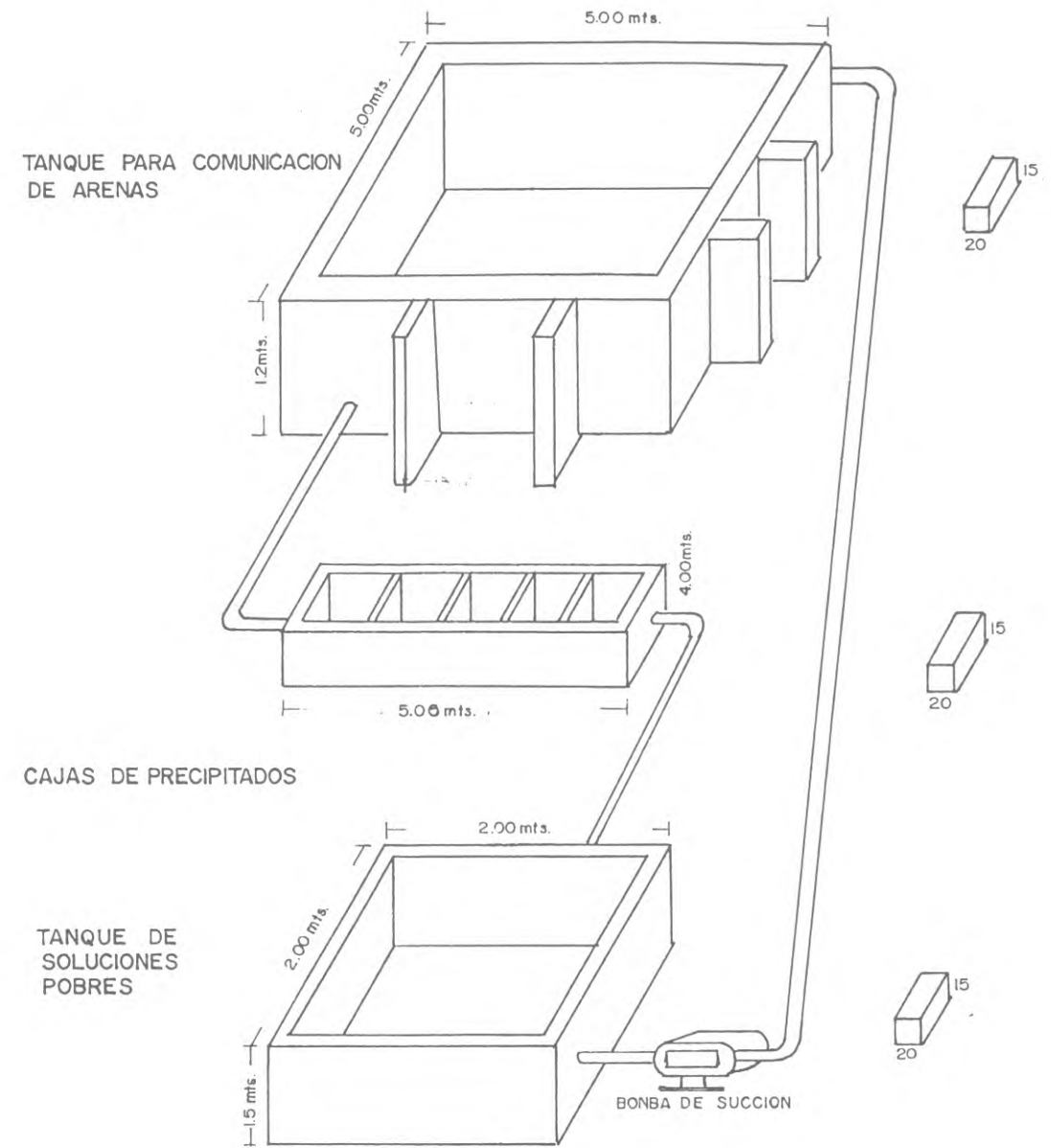


FIGURA 7. Planta de Cianuración por percolación-

de los lodos hacen imposible o deficiente la percolación o porque las características del mineral exigen trituración a finos para obtener buena extracción de los valores. En estos casos se requiere el sistema de agitación en tanques circulares de metal o de madera - de las arenas auríferas y la solución de cianuros -, bien mecánicamente, bien mediante aire comprimido, utilizando estas formas: Agitación por medio de paletas sin inyección de aire; agitación por medio de hélices; agitación por medio de bombas y agitación por medio de aire comprimido (Figura 8).

Algunos minerales de oro tienen combinados los valores a los sulfuros y su beneficio requiere separar los sulfuros de la ganga. Esta separación es lo que se llama "concentración" y básicamente se efectúa por dos sistemas: El Gravitacional -simplemente mecánico- y el de la Flotación.

6.3.1.1. La Concentración por Gravedad. Tiene como principio la diferencia de densidad de la ganga -cuarzo, calcita, feldespato, arcilla, etc. -con relación a los sulfuros- galena, pirita de hierro, blenda, etc. - Cuando se exponen partículas de diferentes densidades, pero de la misma forma y volumen a la acción de una corriente de agua, las más pesadas se quedan atrás y las más livianas se dejan arrastrar por la corriente. El aparato más usual y representativo son las mesas vibratorias, de las cuales las más conocidas son las mesas Wifley (Figura 9).

PLANTA DE CIANURACION POR AGITACION

Capacidad: 16 ton concentrado/42 horas de lixiviación

Línea de precipitación con zinc en polvo

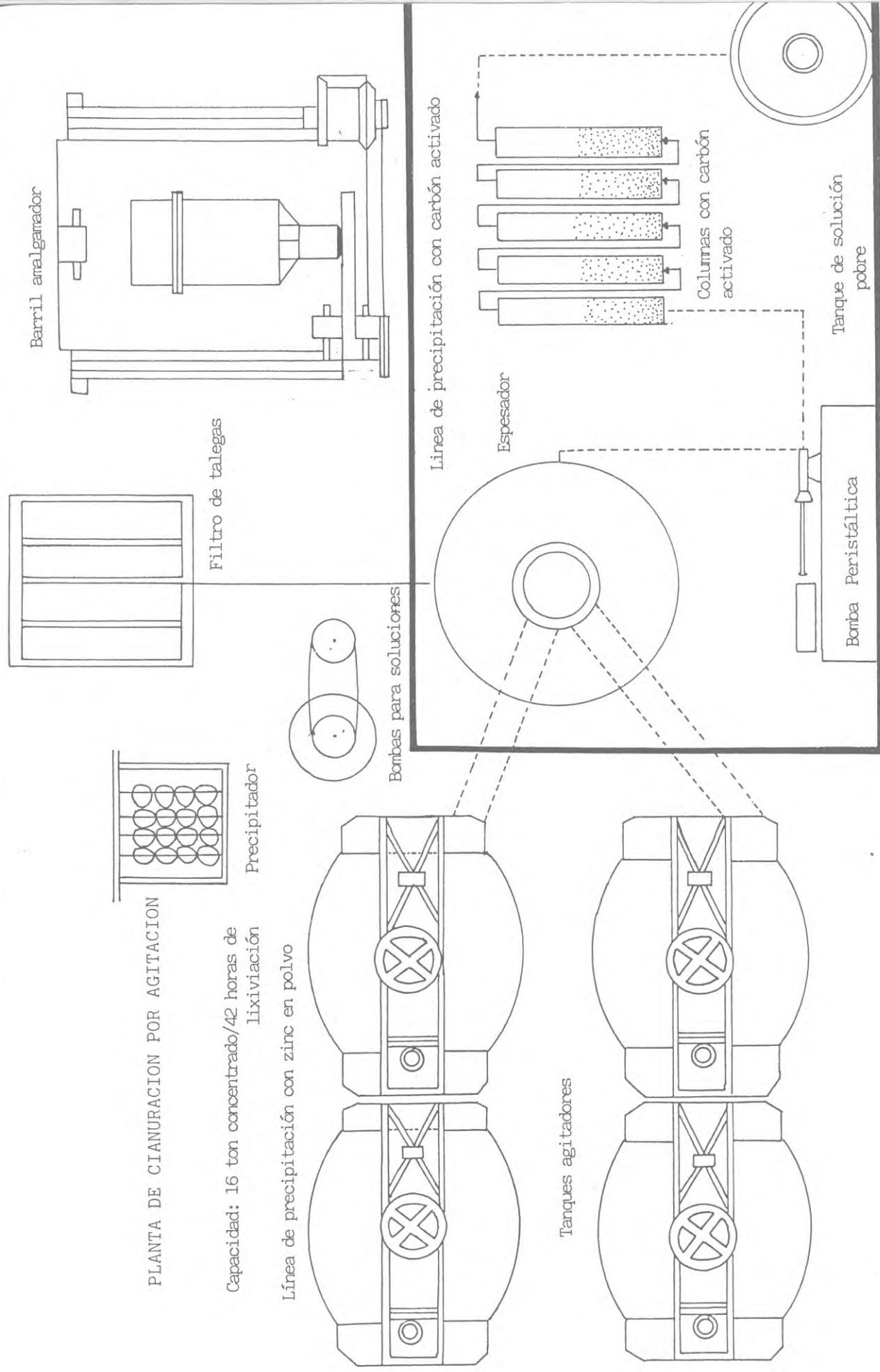


FIGURA 8. Diagrama de flujo de una planta de cianuración por agitación-

LINEA DE CONCENTRACION GRAVITACIONAL

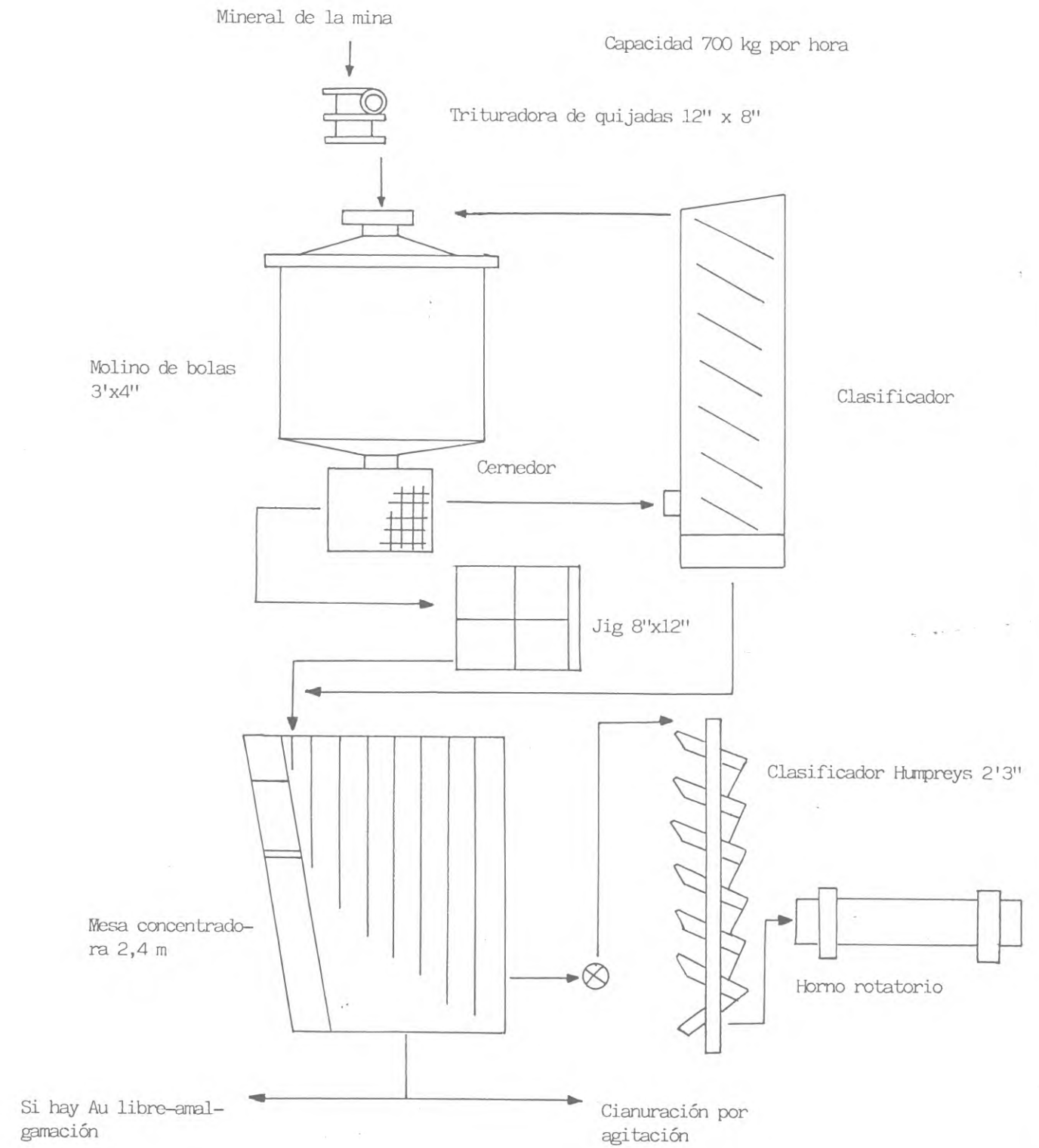


FIGURA 9. Diagrama de flujo empleando concentración gravitacional-

6.3.1.2. La Flotación. Es un proceso físico y químico por medio del cual pueden separarse de una pulpa (minerales sólidos más agua) finamente molida, partículas minerales por la acción de burbujas gaseosas, que se forman por la adición de aire. Se agregan también reactivos orgánicos e inorgánicos que facilitan la adición de las partículas mineralizadas a las burbujas, las cuales al elevarse a la superficie por la acción de agitación mecánica, se separan en forma de espumas, lo cual constituye el concentrado. La ganga o materiales sin valor no se adhieren a las burbujas sino que se depresan al fondo, empleando reactivos apropiados, lo que forma las colas o residuos del proceso.

El equipo requerido se conoce como celdas de flotación, generalmente metálicas, compuestas por agitadores de altas velocidades y aireación mecánica (Figuras 10 y 11)

6.3.1.2.1. Flotoamalgamación. Es una nueva tecnología para recuperar oro de bajo tenor, y su teoría se basa fundamentalmente en el Diagrama 3.

Las condiciones termodinámicas para la flotación de los granos de oro son:

$$F_{ad\ Au} = \gamma_{WA} (1 - \cos \theta_{Au, W}) > 0$$

$$F_{ad\ am} = \gamma_{WA} (1 - \cos \theta_{am, W}) > 0$$

CELDA DE FLOTACION

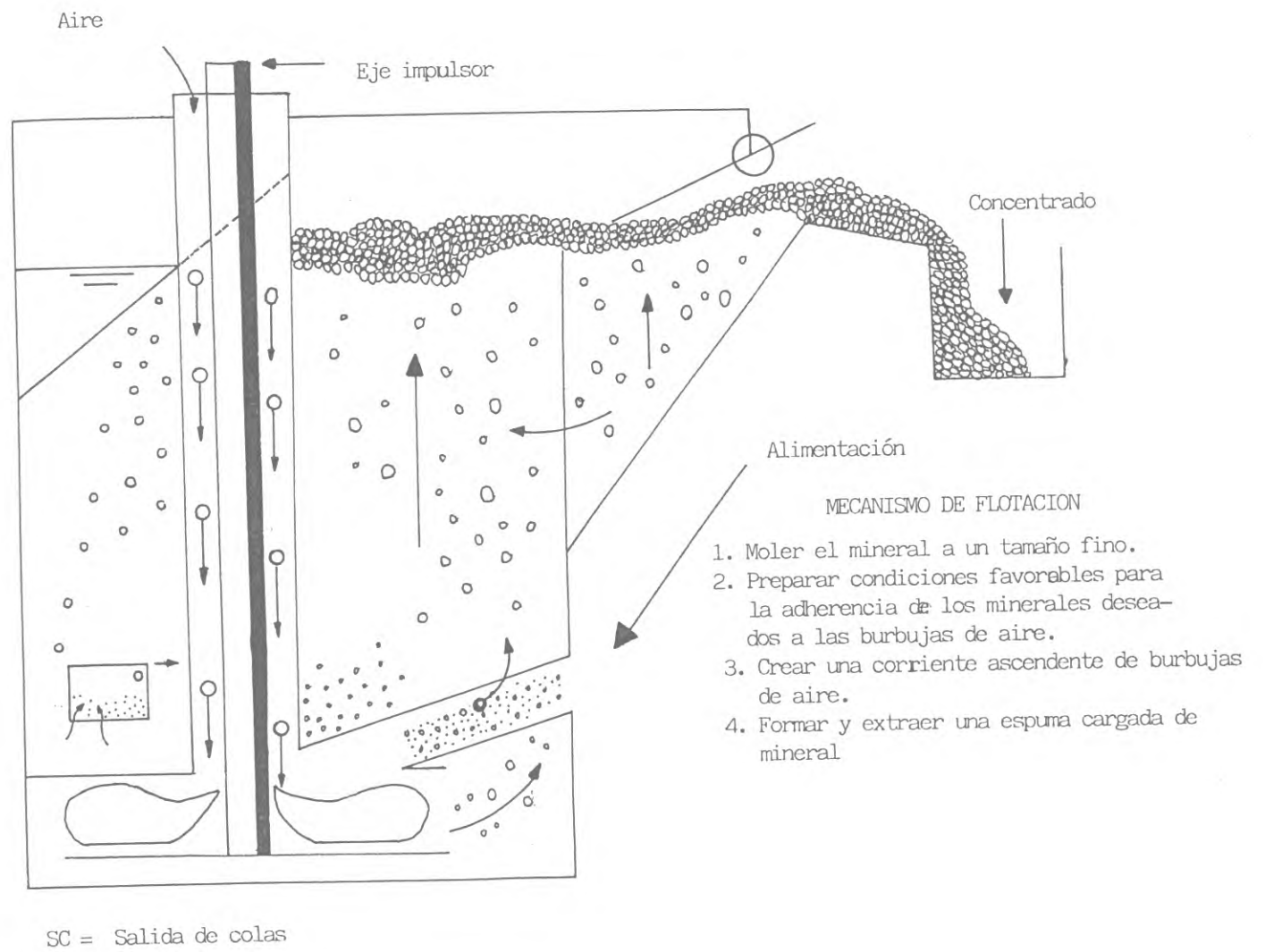


FIGURA 10. Esquema de funcionamiento de una celda de flotación-

LINEA DE FLOTACION

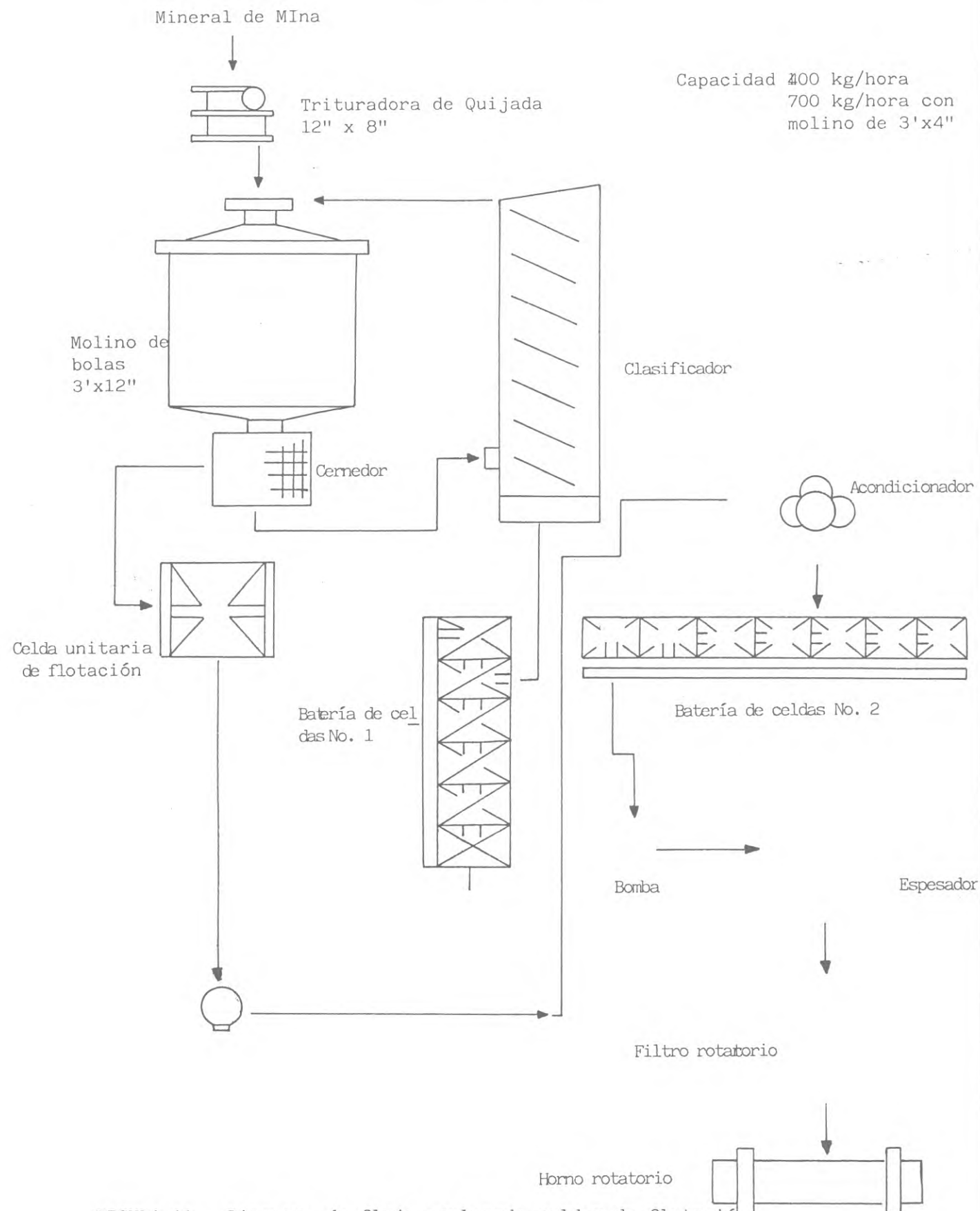
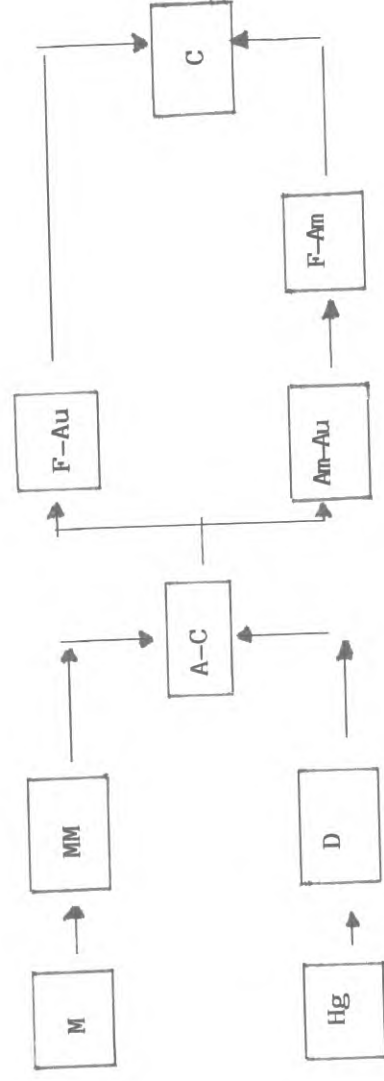


FIGURA 11. Diagrama de flujo empleando celdas de flotación

DIAGRAMA 3



(M = Mena, MM = Reducción del tamaño del mineral, Hg = Mercurio, D = Dispersión del mercurio, A-C = Agitador, F - Au = Flotación del oro, F - Am = Flotación de la amalgama, C = Concentrado)

FLOTOAMALGAMACION

Donde:

$F_{ad Au}$ = Energía de adhesión de las burbujas de aire al grano libre de oro.

$F_{ad am}$ = Energía de adhesión de las burbujas de aire a las partículas amalgamadas.

γW = Tensión interfacial agua-aire.

$\theta_{Au W}$ = Angulo de contacto oro-agua

$\theta_{Am W}$ = Angulo de contacto amalgama - agua

En el Diagrama 4 se observa el Flujo de una Planta Piloto.

Resultados obtenidos en una planta industrial empleando el proceso de flotoamalgamación:

- Flotación en planta industrial de menas de bajo contenido de oro libre (Tabla 1).
- Flotoamalgamación en planta industrial de menas de bajo contenido de oro libre (Tabla 2).
- Influencia del contenido de oro en la cabeza en una flotoamal-

DIAGRAMA 4

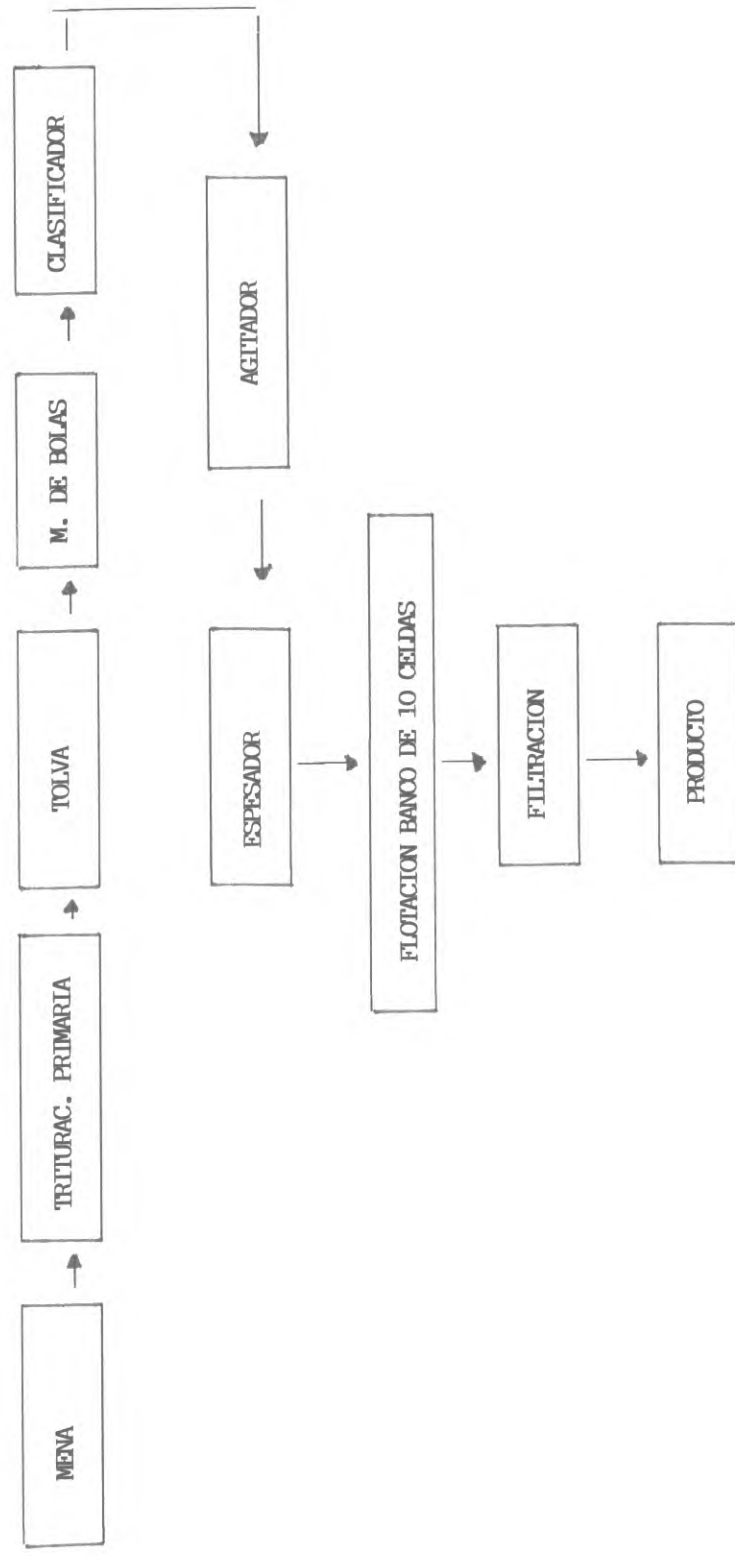


DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA PILOTO

TABLA 1. Flotación en planta industrial de menas de bajo contenido de oro libre-

	ALIMENTACION (g/ton)		CONCENTRADO (g/ton)		RECUPERACION %	
	ORO	PLATA	ORO	PLATA	ORO	PLATA
1	1.27	7.38	15.41	66.40	71.26	52.92
2	1.29	7.31	22.10	83.60	76.03	50.77
3	1.41	7.19	38.90	120.10	76.38	46.24

TABLA 2. Flotoamalgamación en planta industrial de menas de bajo contenido de oro libre-

	ALIMENTACION (g/ton)		CONCENTRADOS (g/ton)		RECUPERACION %		CONSUMO DE Hg (g/ton)
	ORO	PLATA	ORO	PLATA	ORO	PLATA	
1	1.69	7.84	24.20	76.10	78.20	51.30	1.52
2	1.19	7.64	16.49	69.30	84.10	52.30	2.55
3	1.54	7.50	24.70	79.00	84.10	55.50	2.28
4	1.30	7.42	32.45	114.76	77.30	48.20	2.14

gamación en planta industrial (Tabla 3).

6.3.2. Análisis de Control en Procesos de Cianuración.

6.3.2.1. Determinación del Tenor del Cianuro de Sodio. Se funda este método en que al añadir soluciones de nitrato de plata a una solución alcalina de cianuro de sodio, en el lugar en que cae la gota se forma un enturbiamiento de cianuro de plata. Generalmente se usa como indicador una solución de yoduro de potasio (KL) que contenga 1 gramo por 100 mililitros de agua destilada. Este indicador da una opalescencia amarilla a la solución al finalizarse la titulación.

6.3.2.1.1. Modo Operatorio. Se toman 10 centímetros cúbicos de solución de cianuro por analizar, y se titulan directamente con solución décimo normal de nitrato de plata, usando como indicador la solución de yoduro de potasio, 5 gotas. El punto final se alcanza cuando aparece una opalescencia permanente de cianuro de plata.

6.3.2.1.2. Cálculo. Los centímetros cúbicos de solución de nitrato de plata gastados, dan directamente los gramos de cianuro de sodio por litro de solución o los kilogramos por metro cúbico de solución. Así, si para titular una solución de trabajo se toman 10 cc y se gastan 2,2 cc de solución de nitrato de plata, en ese momento habrá: 2,2 kg de cianuro por metro cúbico, y si hay un volumen de 4 metros cúbicos de solución de cianuro en el proceso,

TABLA 3. Influencia del contenido de oro en la cabeza en una flotoamalgamación en planta industrial

	ALIMENTACION (g/ton)		CONCENTRADOS (g/ton)		RECUPERACION %	
	ORO	PLATA	ORO	PLATA	ORO	PLATA
1	1.29	8.81	16.30	85.30	87.07	61.46
2	1.38	6.75	18.70	55.70	86.28	52.81
3	1.42	8.40	20.70	114.80	86.85	80.84
4	1.70	8.40	23.90	89.30	87.39	66.00
5	1.80	9.91	24.40	101.00	87.81	66.45

habrá un total de $2,2 \times 4 = 8,8$ kg de cianuro de sodio.

6.3.2.1.3. Preparación de la Solución de Nitrato de Plata. El peso atómico del Nitrato de Plata es de 169,89 gramos. Luego, una solución normal tendrá 169,89 gramos por litro, y una solución décimo normal tendrá 16.989 gramos por litro. En la práctica se acostumbra pesar en una balanza de precisión 17 gramos y disolverlos en un frasco volumétrico de un litro de agua destilada.

6.3.2.2. Determinación de la Cal. En el mismo vaso donde se valoró el cianuro, se añade a la misma solución unas gotas de fenolftaleína disuelta en alcohol etílico, lo cual da una coloración rosada. Luego se titula con una solución décimo normal de ácido sulfúrico hasta la desaparición del color rosado.

6.3.2.2.1. Cálculo. Los centímetros cúbicos de solución de ácido sulfúrico gastados divididos por 4, dan los gramos o kilogramos de cal (CaO) por litro o metro cúbico de solución total en el proceso. Por ejemplo, si se gastan 2,0 mililitros de ácido sulfúrico décimo normal, cuántos gramos de cal hay, habiendo un volumen de solución de 5 metros cúbicos?

$$\begin{array}{r} - 1 \text{ c.c. } H_2SO_4 \quad 0,1 \text{ normal} = 0,0025 \text{ gramos CaO} \\ \quad 2 \text{ c.c. } H_2SO_4 \quad 0,1 \text{ normal} \quad \quad \quad X \end{array}$$

$$X = 2 \times 0,0025 = 0,005 \text{ gramos CaO}$$

- Si en 10 c.c. de solución hay 0,005 gramos de CaO
 en 1,0 lt solución (1.000 c.c.) X

$$X = \frac{1.000}{10} \times 0,005 = 0,5 \text{ gramos CaO}$$

$$\frac{0,5 \text{ gramos CaO}}{\text{Litro solución}} = \frac{0,5 \text{ kilos CaO}}{\text{m}^3 \text{ de solución}}$$

6.3.2.3. Determinación Cuantitativa de Sales Metálicas. Las sales metálicas más comunes en los minerales de oro y plata son: sulfato de de hierro -ácidos, básicos y neutros-; carbonato y sulfato de cobre; sulfato y carbonato de zinc; sulfato y carbonato de plomo, etc. Algunos de estos productos son solubles, otros insolubles en el agua. Los primeros pueden extraerse por un lavaje de las arenas con agua por percolación. El líquido que sale del tanque debe ensayarse para saber el instante en que las sustancias solubles han sido eliminadas. Para ello se usa: amoníaco concentrado -agregándolo gota a gota da con las sales de cobre, primero un precipitado azul verdoso que se vuelve de color azul celeste con un exceso de reactivo- ferrocianuro de potasio -da un precipitado azul que indica la presencia de sales férricas-, y ferrocianuro de potasio -da un precipitado azul que indica la presencia de sales ferrosas.

Para volver inofensivos los productos ácidos no solubles se usa

la cal, mezclándola homogéneamente a las arenas al cargar el tanque hasta que el líquido de una reacción alcalina con la fenolftaleína o papel indicador.

6.3.3. Etapas que deben seguirse para efectuar una buena cianuración.

- Cargar el tanque con las arenas que se van a cianurar, dejando en la superficie un área libre de 20 cm de altura.

- Lavar las arenas con agua limpia y cal hasta eliminar la acidez y sales descompuestas si las hay. Chequear con los reactivos recomendados.

- Añadir la cal a las arenas hasta alcanzar una alcalinidad de 10 (usar cinta indicadora de pH o solución de fenolftaleína)

- Obtenida la alcalinidad, agregar el cianuro de sodio requerido (mantener durante el proceso 1,2 a 1,5 kg de cianuro por cada metro cúbico de solución, titulando con Nitrato de Plata). Dejar en reposo el cianuro mínimo 24 horas para que percole a través de los granos mineralizados y baje disolviéndose hasta el fondo. Después de este tiempo, dejar salir lentamente la solución para que pase por las cajas de precipitación y al contacto con el zinc inicie la depositación de valores sobre este metal.

La solución sale por lo general al tanque receptor de la solución, donde una bomba succión la recircula.

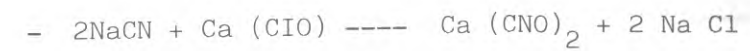
- Al cabo de 10 o 12 días se considera que está terminado el proceso. Se retira el precipitado de las cajas, se filtra, se seca y se calcina. El producto se puede fundir en la mina o transportarlo a una de las tres fundiciones de Medellín que tienen contacto con el Banco de la República.

6.3.4. Neutralización del Cianuro presente en aguas y arenas residuales. Como aporte a la preservación del medio ambiente y ecológico, el minero debe neutralizar el cianuro que queda en las arenas auríferas antes de sacarlas del tanque o recipiente donde las cianuró y el que esté presente en la solución de trabajo una vez ésta se deseché, generalmente luego de dos o tres tratamientos. Esto se halla reglamentado por el Ministerio de Minas en el decreto 384, capítulo VI, artículo 42, de febrero de 1985.

6.3.4.1. Método Recomendado para la Neutralización. La clorinación alcalina tiene amplia aceptación como método práctico y positivo para neutralizar soluciones y sólidos residuales portadores de cianuro. El cloro rápidamente oxida el cianuro a cianato y luego oxida y/o hidroliza el cianato a bióxido de carbono y nitrógeno.

Básicamente, la clorinación alcalina consiste en adicionar cloro,

hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio a las soluciones y/o sólidos residuales. Con el hipoclorito de calcio ocurren esencialmente dos reacciones químicas:



La cual se lee: cianuro de sodio en contacto con hipoclorito de calcio, producen cianato de calcio más cloruro de sodio.



Cianato de calcio más hipoclorito de calcio en medio acuoso producen bióxido de carbono, nitrógeno, cloruro de calcio e hidróxido de calcio.

Por las pruebas de laboratorio y piloto se halló que 0,7 a 0,8 kg de hipoclorito de calcio, neutralizan un kilo de cianuro, luego de estar en contacto íntimo unas 10 horas.

El método es efectivo, de fácil aplicación y adaptación para el minero debido a que no requiere equipos adicionales, excepto de un tanque auxiliar independiente del que normalmente recibe las soluciones de trabajo; además, el costo del reactivo es menor que el de cianuro y de fácil consecución en la ciudad de Medellín.

6.3.5. Controles Analíticos en el Proceso de Cianuración.

PROCESO DE CIANURACION

Fecha: _____

DATOS INICIALES

Fecha de iniciación del tratamiento _____

Volumen arenas cianuradas _____

Tenor de oro x ton ____ gr Tenor de plata x ton ____ gr

Kilos iniciales de cianuro agregados _____

Kilos iniciales de cal agregados _____

(1) Volumen inicial de solución _____ ton o metros cúbicos

CONTROL DE SOLUCIONES

HORA

7 AM 12 M 5 PM

(2) Cianuro en kgs x ton solución

(3) Cianuro presente (1) x (2) en kgs

(4) Cianuro agregado en kgs

Cianuro total en kgs (3) + (4)

(5) Cal en kgs x ton solución

(6) Cal presente en kgs (1) x (5)

(7) Cal agregada en kgs

Cal total en kgs (6) + (7)

Operario

6.3.6. Otros Controles.

OTROS CONTROLES

Flujo de la solución en litros por minuto _____

Valores en solución antes de precipitado _____ Au _____ Ag

Valores en solución después de precipitado _____ Au _____ Ag

Bombeo de la solución de las _____ hasta las _____

Volteada de arenas cianuradas _____ Si _____ No

Suministro de Zinc _____ kg

Suministro de aire a los tanques de cianuración Si _____ Horas

Tenores en las arenas después de cianuradas _____ Au _____ Ag

Peso precipitado _____

Gramos de oro presente _____ Valor _____ Ley _____ milésimas

Diseño: Jorge E. Vásquez García

Regional Minera de Medellín

Marzo de 1984

Cartilla minera/beneficios de minerales
auríferos/Jorge Vasquez García

338.2 V335c ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA

PRESTADO A

FECHA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01003084

BIBLIOTECA