



MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO
ARTESANIAS DE COLOMBIA S.A.
CENTRO COLOMBIANO DE DISEÑO
PARA LA ARTESANIA Y LAS PYMES

PROGRAMA NACIONAL PARA LA CONFORMACION DE CADENAS
PRODUCTIVAS PARA EL SECTOR ARTESANAL
CADENA MINERIA / JOYERIA / COMERCIALIZACION DEL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Proyecto piloto para la extracción y beneficio de oro

BOGOTA D.C., ABRIL 2004



CECILIA DUQUE DUQUE
Gerente General
Artesanías de Colombia S.A.

MANUEL F. JIMENEZ MORIONES
Director Auditoría Fomipyme
Universidad Nacional de Colombia

ERNESTO ORLANDO BENAVIDES
Subgerente Administrativo y Financiero
Director Nacional Proyecto Fomipyme

LUZ ANGELA MEDINA LLANO
Auditora Fomipyme
Universidad Nacional

CARMEN INES CRUZ
Subgerente de Desarrollo

MARTHA ISABEL JIMENEZ
MILLAN
Auditora Fomipyme
Universidad Nacional

SANDRA STROUSS
Subgerente Comercial

MARCELA ECHAVARRIA
Asesora Gerencia General

ROSA HILDA CAICEDO
Jefe de Control Interno

GERMAN ORTIZ
Jefe de Planeación

MARIA TERESA MARROQUIN
Directora Cooperación Internacional

LYDA DEL CARMEN DIAZ LOPEZ
Coordinadora Centro de Diseño para la
Artesanía y las PYMES - Bogotá

Asesores del Proyecto
NURIA CARULLA FORNAGUERA
ALEXANDRA BULA
JUAN CARLOS FERRER GOMEZ
JAIRO BARBOSA NEIRA
FERNAN ARIAS URIBE

INTRODUCCIÓN

Dentro del plan de acciones que ha ejecutado Artesanías de Colombia S.A en el marco del Programa Nacional de Conformación de Cadenas Productivas para el Sector Artesanal gracias al convenio FIDUIFI - Fomipyme, se han introducido una serie de acciones conducentes al desarrollo del sector artesanal para el departamento de Antioquia

Con base a los estudios realizados anteriormente en la región y al censo nacional de productores joyeros elaborado en el año 2002 por EI Consultores Ltda., gracias al convenio interadministrativo de cooperación entre Minercol y Artesanías de Colombia, se evidenció que el objetivo principal de un proyecto de extracción y beneficio de oro debe ser exponer un método de explotación que permita optimizar la extracción del metal y los procesos adecuados de beneficio y transformación

De acuerdo a la realidad actual del sector artesanal en la región, es necesario mejorar el enfoque de la parte minera y de beneficio de materias primas para que los procesos actuales sean más eficientes, con el fin de elaborar un producto artesanal de mayor calidad que pueda asegurar de esta manera su comercialización

Lo anterior solo será posible con la ayuda de entidades públicas y privadas como la gobernación departamental, alcaldías municipales, corporación autónoma regional, cámaras de comercio y entidades académicas de la región, con el fin de estructurar un plan de acción que garantice la permanencia y desarrollo del sector joyero artesanal en el departamento de Antioquia

CARACTERIZACIÓN DE LA MINERÍA DE ORO EN ANTIOQUIA

La zona con grandes yacimientos de oro en Antioquia está situada en la parte noreste del departamento. En municipios como Segovia, Frontino y El Bagre, la base principal de la economía es la minería de metales preciosos. Algunos municipios como Cauca y Santafé de Antioquia que no se caracterizan por el oficio de la minería, pero sí tienen una tradición joyera y orfebre.

Un proceso que ha deteriorado la explotación minera en la región es el incontrolable contrabando de oro proveniente principalmente de Panamá y que se da como resultado de la actividad del narcotráfico y del lavado de dólares. Además, en la actualidad la región enfrenta graves problemas de orden público que han restringido notablemente el comercio del oro, pues por el flujo que debe cumplir el metal, la actividad de compra de oro se ha hecho poco rentable y peligrosa, lo que ha hecho que las compras de oro desaparezcan paulatinamente.

MINERÍA DEL ORO

Métodos de explotación

Dependen del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto. Se utilizan tres métodos principales:

- Minería a cielo abierto (o minería superficial)
- Minería subterránea
- Minería por lavado y dragado.

Clases de yacimiento

Aluvión (arenas metalíferas). Este yacimiento lo constituyen las arenas y gravas con sus granos auríferos entremezclados. Esta minería es explotada intensamente por la empresa "Mineros de Antioquia" a lo largo del río Nechi y Tigüí en el municipio de El Bagre, con 5 dragas de cucharas cuya capacidad estimada es de 79 000 m³ diarios y hasta los 25 metros bajo el nivel del río. adicionalmente estas dragas tienen implícito el proceso de beneficio en su funcionamiento. se hace a través de amalgamación con mercurio, proceso altamente contaminante. sin embargo, antes de devolver a los afluentes los desechos de material extraídos se incluye una parte de recuperación de mercurio.

Veta. La roca mineralizada es un porfido diorítico, en gruesos filones intercalados entre esquistos cristalinos. Aquí el mineral de filón predominante es la piedra calcárea, con pirita y blenda como portadores de la plata aurífera, que encierra granos de oro puro. La topografía misma del terreno facilita la explotación, por cuanto la marcada pendiente

permite atacar los yacimientos sencillamente por medio de socavones abiertos desde la pendiente con varios pisos, uno encima del otro, de tal manera que a su paso van cruzando los diferentes filones, simplificando así considerablemente los trabajos tanto de extracción como de desagüe. La composición de su mineral permite refinarlo por medio de amalgamación, procesos que puede realizarse en el mismo sitio de explotación.

Para realizar el seguimiento y búsqueda de nuevas vetas los mineros se apoyan en su sentido común y experiencia, tratando de encontrarlas por medio de sencillas observaciones de campo.

Tipos de minería

Mediana minería. Es realizada por grandes compañías mineras, que cumplen generalmente todas las etapas de un proyecto minero: gestación, exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio y transformación, y cierre de las minas. Sin embargo, aún en esta minería también se utilizan los reactivos y sustancias químicas tóxicas y dañinas para el medio ambiente. Es por esto que las compañías mineras elaboran un plan de manejo ambiental que deben ejecutar para prevenir, corregir o mitigar los impactos ambientales causados por la explotación de oro. Actualmente esta minería es llevada a cabo por Mineros de Antioquia, Oro Norte y la Frontino Gold Mines.

Pequeña minería y minería artesanal. La característica fundamental de lo que se ha denominado pequeña minería, radica en la imposibilidad de definirla de acuerdo con parámetros de medición universales. Así mismo la minería artesanal y la pequeña minería provocan consecuencias nefastas sobre el ambiente, la salud y la seguridad. Al mismo tiempo ellas son fuente potencial de conflictos entre los mineros artesanales, las comunidades locales y las compañías mineras formales.

El proceso de extracción del metal, generalmente de veta aunque con explotaciones de aluvión en la influencia de los ríos Cauca y Nechí, es rudimentario; se trabaja con herramientas y procedimientos rústicos y sin seguridad industrial. Las explotaciones rudimentarias son las más numerosas en la región y la gran mayoría funciona sin título minero. La situación de ilegalidad de las minas hace que estas no paguen las regalías ni los impuestos correspondientes, por lo que las autoridades locales no perciben dinero para ejecutar en infraestructura ni en vías de comunicación, también se refleja en las actuales condiciones de vida de los mineros donde en la mayoría de casos apenas cumplen las necesidades básicas.

En la mina, el arranque se hace mediante perforación de forma manual. Generalmente por cada mina se encuentra una planta de beneficio o "entable", que utiliza procedimientos altamente contaminantes, los cuales incluyen el uso del cianuro para el tratamiento de las arenas, donde los desechos de este proceso se arrojan sin tratamiento alguno a las quebradas y ríos.

El beneficio del metal se hace en el terreno de la mina mediante el molino de arrastre, que consiste en un tanque de madera circular cuyo fondo está forrado por un lecho de piedras de gran tamaño. Los residuos de arenas de excavación se tratan en la mayoría de los entables mediante molino de bolas, donde se mezcla el material con el mercurio y las bolas de manganeso; en algunos casos se utiliza molino californiano. Luego sigue el proceso de lavado o recuperación y de obtención de la amalgama, donde se hace la retorta o quema del material (amalgama); es aquí otro punto crítico de contaminación dentro del proceso de obtención del material ya que existe la emisión de gases de mercurio a la atmósfera. La explotación de plata y otros minerales adheridos al proceso de explotación del oro se han dejado completamente abandonados porque no produce la misma ganancia o utilidad para quien desarrolla la explotación.

Los canalones, se ejecutan en los lechos de los ríos y en otros terrenos aluviales o en frentes abandonados de minas de filón o veta, donde se recogen los sedimentos auríferos contenidos en el agua, refrenada por las piedras colocadas en el fondo del canal, posteriormente se riega mercurio por el canalón que se encarga de atrapar el oro para amalgamarlo. Al cabo de unas semanas se procede a descubrir el canalón a fin de recoger la amalgama y fundirla, obteniendo así el oro puro. Como se observa, este método de minería se caracteriza por la alta contaminación que causa.

Cerca del 90% de la producción aurífera reconocida es producto de la pequeña minería y la minería artesanal. A través de las compraventas se hace gran parte de la comercialización del total de la producción de la región, la cual posteriormente es llevada y distribuida a las grandes fundiciones de Medellín. El poco remanente de producción es el que se destina al sector joyero de la región noroeste de Antioquia.

Minería de subsistencia. Se realiza manualmente utilizando herramientas como la batea, donde los mineros se ocupan lavando el material a fin de recoger los granitos de oro arrancados y llevados por las aguas. En esta clase de minería también se incluye el "pirateo" de túneles mediante la perforación ilegal de socavones al lado de los socavones de las compañías formales. Estas actividades ilegales frecuentemente producen daños en la vía férrea interna y las motobombas.

En resumen, estas son las principales características de la minería en Antioquia:

- Precarias condiciones de seguridad e higiene
- Bajo desarrollo tecnológico
- Conflictividad social y legal
- Deterioro ambiental
- Bajos costos de producción
- Intensa utilización de mano de obra
- Alternativa laboral para sectores afectados por la pobreza
- Abastecimiento de mercados locales
- Potenciador de proyectos mayores

- Dinamizador de las economías locales.
- Amplia distribución geográfica.

Mientras que las principales dificultades que enfrenta la minería son:

- Falta de políticas claras.
- Falta de apoyo económico (subsidios, créditos).
- Ausencia de tecnología (equipos) para la explotación minera.
- Falta de cultura del gremio minero.
- Falta de titulación minera, lo que impide el acceso al crédito.

Organizaciones del sector minero

Actualmente las asociaciones formalizadas más importantes de la región que llevan a cabo las labores de explotación y beneficio del oro son las siguientes:

Asomina. La asociación de mineros de Segovia tiene influencia en todo el noreste de Antioquia y agrupa a todos los pequeños mineros de Segovia que suman aproximadamente el 40% del total de la actividad minera de la localidad. A pesar de tener 2.500 mineros asociados, actualmente debe buscar recursos externos para sostenerse.

Frontino Gold Mines. Esta empresa ha operado en los municipios de Segovia y Remedios desde 1852, explotando principalmente minerales de veta de alto tenor de origen mesothermal. En 1976 se retiraron los dueños extranjeros y la empresa quedó en manos de sus trabajadores. En la actualidad enfrenta problemas jurídicos relacionados con asuntos económicos, tecnológicos y laborales. Es la principal fuente generadora de empleo en Segovia, en la actualidad proporciona alrededor de 1.500 puestos de trabajo. Explora en la actualidad las minas de El Silencio y Providencia, con una producción anual cercana a 1,6 toneladas.

Mineros de Antioquia. Es el principal productor de oro de Colombia y la única empresa de gran minería en esta zona, con una producción anual aproximada de dos toneladas de oro y una planta de personal directo de 400 personas, convirtiéndose en la principal fuente generadora de empleo en el municipio de El Bágre, en cuya cabecera se encuentran las instalaciones industriales y el campamento. Explora oro mediante intensa minería de aluvión a lo largo del río Nechí y Tigüí con dragas de cucharas y de succión con capacidad estimada de hasta 25 metros bajo el nivel del río; adicionalmente, estas dragas tienen implícito el proceso de beneficio en su funcionamiento, que se hace a través de amalgamación con mercurio. Aunque este proceso es altamente contaminante la empresa cuenta con un laboratorio de recuperación de mercurio antes de arrojar a las corrientes de agua los desechos de material extraído. Todo el oro explotado se exporta hacia Estados Unidos.

Asomoc. La Asociación de Mineros de Occidente, creada hace más de una década, agrupa aproximadamente 300 mineros de Frontino, apoyando al pequeño minero en la explotación y comercialización del oro.

Asomineros. La Asociación Colombiana de Mineros comenzó a trabajar en el primer manual de seguridad para mineros, que tiene como objetivo minimizar los riesgos tan altos que hoy enfrentan. Los mineros que asocia trabajan sobre el título de la Frontino Gold Mines.

Ecocerro. Empresa típica de la mediana minería de oro en Antioquia; establecida en el municipio de Frontino, tiene 120 empleados y genera una producción de 100 kg anuales de oro.

Aplaba. La Asociación de Plantas de Beneficio Aurífero de Segovia tiene asociadas en la actualidad 105 plantas de beneficio de Segovia y Remedios y alrededor de 800 mineros que trabajan en esas plantas de beneficio. Los principales esfuerzos de este grupo van dirigidos a la restauración del medio ambiente de la región que ha sido afectado por los residuos del proceso de producción minera y joyera.

ETAPAS EN LA MINERÍA Y BENEFICIO DE ORO

De acuerdo a los antecedentes registrados en los procesos de extracción, beneficio y transformación del oro, es conveniente plantear una mejor manera de realizar estos procedimientos con el fin principal de mejorar la calidad de la materia prima suministrada a los joyeros artesanos, de modo que estos puedan obtenerla de manera rápida y confiable. Esto se hace efectuando todas las etapas necesarias para llevar a cabo la actividad minera.

En el caso de la llamada pequeña minería y en particular en la minería artesanal, es posible que algunas etapas no se cumplan, como por ejemplo, la obtención de permisos o el cierre de las labores mineras, el cual se planea desde la gestación. No todos los proyectos cumplen todas y cada una de sus etapas de hecho, numerosos proyectos no prosperan luego de la etapa de exploración y es posible que aún en esta etapa temprana requieran algún tipo de plan de cierre y rehabilitación.

Gestación

Es el periodo en que el actor privado o público toma la decisión de iniciar un proyecto minero. Comprende la preparación de aspectos técnicos, logísticos y legales, como por ejemplo la obtención de los títulos mineros para la exploración y explotación y los permisos ambientales.

Hay que recordar que la actividad minera del país está regulada por la Ley 685 de 2001 (Código de Minas). El contrato que celebra el estado y un particular para efectuar los

estudios, trabajos y obras de exploración de minerales que pueden encontrarse en una zona determinada se denomina Concesión Minera. El Contrato de Concesión comprende las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de minerales y el cierre o abandono de los trabajos u obras correspondientes.

Exploración

Se subdivide en tres fases: exploración básica, identificación del proyecto potencial y factibilidad.

Esta etapa utiliza técnicas más avanzadas e intensivas en uso de equipo especializado. La intervención inicial busca la identificación de áreas mineralizadas, que contempla la perforación y evaluación para determinar las zonas más promisorias. Su impacto no siempre es significativo. Una nueva selección fija nuevos sitios y parámetros de perforación para describir la geometría y características del depósito.

Los estudios complementarios permiten establecer la ley o contenido promedio y el volumen de reservas existentes, de cuyo resultado dependerá el futuro del prospecto minero. Concluida la etapa de exploración, el titular del derecho minero puede decidir desarrollar o no un proyecto para la explotación minera. En este último caso, la actividad minera termina en la exploración.

Algunos factores que determinan la continuidad de las etapas mineras son la calidad del depósito mineral, los precios del mineral, los cambios tecnológicos, entre otros.

Cálculo de reservas. En el país se han identificado tres tipos de yacimientos auríferos: aluvión, vetiforme y diseminado. Los depósitos vetiformes actualmente sólo se encuentran en la localidad de Segovia. Los depósitos de mayor contribución para Antioquia han sido los de aluvión. El departamento no cuenta con una estimación confiable de las reservas de oro, debido a la carencia de programas de exploración detallada.

Construcción del proyecto minero

Se compone de diseño, adquisición, construcción y montaje. Dentro de esta etapa el inicio de la construcción es una actividad muy importante y de potencial alto impacto social, cultural y económico.

La exploración detallada permite la definición de un plan minero, con su correspondiente diseño de la mina, método de extracción o minado, transporte, cálculos de costos, inversiones, regalías, seguros, impuestos y gastos legales, entre los más importantes, todo lo cual conduce a la construcción de la mina. Un elemento constituyente del plan minero es el estudio de impacto ambiental con sus componentes sociales y de participación ciudadana.

Explotación

Es en esta fase cuando se extrae el mineral. Los procesos mineros incluyen trabajos de perforación, voladura, transporte interno y externo de minerales usando diversos medios, que incluyen ductos. La tecnología utilizada dependerá de las características del yacimiento, de su magnitud y del capital disponible.

Las explotaciones mineras auríferas se clasifican según si la explotación se desarrolla a cielo abierto o si es subterránea y a partir del volumen del material útil o estéril extraído. El tipo de explotación generalizado en el centro de Antioquia es la subterránea. En cuanto a volumen de material removido se tiene que la mediana minería subterránea es aquella que remueve entre 8.000 y 200.000 toneladas de material útil o estéril por año y la pequeña minería subterránea es aquella que remueve menos de 8.000 toneladas. La mayoría de las minas (96%) clasifican en la categoría de pequeña minería, algunas con plantas de beneficio propias y otras dependiendo de terceros para este proceso.

La pequeña minería subterránea se caracteriza por la utilización de taladros y martillos manuales, vagones, carretillas de mano, cajones aéreos, trituradoras de mandíbulas, molinos de bolas o de tipo californiano, mesas estáticas o mesas Wilfley, bateas o barriles de amalgamación y el proceso de cianuración por percolación con precipitación en zinc.

Extracción del mineral del socavón. Los mineros buscan y extraen el mineral de la roca de acuerdo al conocimiento sobre la geometría del yacimiento y las reservas de sus minas. Al encontrar la veta o filón se inicia el proceso de extracción. El arranque del mineral necesita de la excavación de túneles y del montaje de rieles, tambores, etc., que se hace con explosivos (dinamita) y con barrenos de varios diámetros y longitudes accionados manualmente. Para accionar los martillos neumáticos en la preparación de los barrenos se deben utilizar compresores de aire. Este proceso puede durar entre 2 y 4 horas, dependiendo del número de perforaciones y de la dureza de la roca.

Las paredes de los socavones deben sostenerse con vigas de madera, para evitar el sostenimiento natural de la roca, que puede colapsar si está debilitada estructuralmente. Deben montarse instalaciones eléctricas en todos los socavones para remplazar la luz obtenida con lámparas de carburo.

Transporte del mineral a la planta. Para el transporte interno del material se utilizan vagonetas en las galerías de la mina. Para el transporte externo de la bocamina a la planta de trituración se pueden utilizar brekers o cajones de madera accionados por cables aéreos. Cuando la mina queda lejos de la planta de beneficio se debe utilizar volquetas.

Una vez se logre la producción unificada de la mina, tal producción debe alimentar de manera continua una Planta de Beneficio de Minerales que mejore los niveles de rendimiento, recuperación y beneficio económico que se obtienen mediante la utilización de las técnicas de beneficio tradicionales.

Beneficio y transformación

En esta fase se recupera el oro mediante procesos fisicoquímicos que los separan de elementos llamados estériles o sin valor económico, con los que se encuentran asociados.

El procesamiento se inicia con la trituración primaria y secundaria, conocida en muchas partes como chancado, y continúa con la molienda y la extracción de líquidos. En el chancado se fragmenta la mena o roca mineralizada en trozos de menor tamaño para poder llevarla a la molienda, en donde se separan los minerales de valor económico del material estéril, enseguida aquellos se concentran mediante métodos gravimétricos, magnéticos, de flotación o hidrometalurgia. El concentrado es una pulpa que contiene considerables cantidades de agua, la cual se extrae depositando el mineral en un tanque en el que éste se precipita al separarse del agua. Otra forma de hacerlo es mediante la adición de productos químicos que capturan del agua las partículas más finas del mineral.

Trituración. La trituración del material muy grueso proveniente de la mina se debe hacer con ayuda de una o varias trituradoras de mandíbulas con capacidad mayor a tres toneladas por hora. Se debe realizar más de una trituración para que el material quedar reducido a bloques con diámetros máximos de 4 pulgadas. El mineral saliente es posteriormente pasado por el molino.

Molienda. El molino californiano, casi artesanal y técnicamente obsoleto, debe remplazarse por un molino de bolas con una capacidad mayor a tres toneladas por hora.

Concentración. El oro es un metal que en su estado de impureza tiene una densidad de 15 g/cm^3 mientras que los minerales que lo acompañan tienen una densidad de 2.5 a 5 g/cm^3 , lo cual permite su separación por métodos gravimétricos.

El mineral molido debe ser arrastrado por el agua hasta una mesa estática, elaborada en madera y con paños para atrapar el oro grueso y libre, el cual se recupera posteriormente por amalgamación mientras que las arenas son enviadas al proceso de cianuración.

Un mejor proceso lo facilita la mesa concentradora Wilfley con una capacidad preferible mayor a dos toneladas por hora, la cual recibe el material de la mesa estática para eliminarle los estériles.

Otro aparato que puede utilizarse es el Jig o cuba de pistón cuyo principio consiste en mantener en suspensión las partículas ligeras a través de las pulsaciones que suministra un pistón mientras que los granos de oro caen al fondo por gravedad. La desventaja de este método es que la recuperación no es efectiva cuando el tamaño de las partículas de metal es inferior a 0.1 milímetros.

Luego del proceso de concentración, los residuos denominados relaves o colas con contenidos de metales no deseados y restos de las sustancias químicas utilizadas en el proceso, se depositan en áreas contiguas a las instalaciones de beneficio de mineral.

Amalgamación. La amalgamación se fundamenta en la facilidad que tiene el oro y el mercurio para formar una aleación o solución sólida que luego al fundirse permite la separación del oro por la evaporación del mercurio. Este proceso debe realizarse cuando las partículas tengan un tamaño entre las 50 micras y los 2 mm y no estén recubiertas de óxido de hierro ni arcillas.

Los concentrados ricos en oro libre procedentes de la mesa estática y de la mesa Wilfley se ponen en contactados durante un tiempo en bateas y barriles con mercurio, el cuál se une con las partículas de oro para formar la amalgama; posteriormente, la amalgama es separada de las arenas y llevada a calcinación para volatilizar el mercurio y recuperar el oro. La amalgama tiene una relación de mercurio oro desde 1:1 hasta 3:2 y la evaporación del mercurio se logra a unos 600°C. Desafortunadamente con este método es imposible recuperar material atrapado en los cuarzos y sulfuros, haciendo que el rendimiento en ocasiones esté por debajo del 60%.

Deslode. Las arenas o colas de la mesa estática, lo mismo que las colas de la mesa Wilfley deben seguir un recorrido por canales hasta un tanque deslodador, en el cual se elimina el lodo por rebose y se vierte en el río. La desventaja de este método es la baja eficiencia por que deja alta proporción de finos en las arenas, lo que dificulta la posterior percolación.

Alcalinización. En esta etapa del proceso se adiciona cal como neutralizante. Es necesario hacer pruebas para establecer la cantidad exacta que debe ser agregada para la neutralización, puesto que el parámetro no está establecido.

Cianuración. La cianuración consiste en mezclar el material triturado con una solución alcalina de cianuro sódico que tiene una concentración promedio de 0,05 % de cianuro libre, que disuelve el oro y lo mantiene en solución en forma de una sal compleja soluble. El material alcalinizado se carga a un tanque de concreto (tina de percolación) que se llena con agua y se deja en reposo aproximadamente 24 horas para eliminar las sales solubles. Luego, se descarga el agua y se agrega cianuro de sodio sólido, recirculando simultáneamente solución pobre de cianuro proveniente de la siguiente etapa (precipitación con zinc), hasta que se cubra toda la arena. El tanque de cianuración tiene un fondo filtrante compuesto por una malla por donde se filtra la solución de lixiviación con el licor cargado en oro y plata. Este proceso dura aproximadamente un mes, después de los cuales las arenas o colas residuales deben desecharse.

Se debe implementar métodos como la cianuración por agitación o por flotación, los cuales son sustentables solo para tenores altos debido a los altos costos de operación.

Precipitación. Los métodos más usados para la recuperación del oro contenido en la solución rica en metales preciosos y cianuro son la precipitación con zinc (método Merrill-Crowe) y la absorción con carbón. En el proceso de precipitación con zinc, la solución se hace pasar por cajas de concreto de 5 compartimentos que contengan zinc en polvo con el fin de hacer que se precipite el oro, separándose de la solución mientras el zinc en polvo se combina con el cianuro. Este precipitado se retira de las cajas mensualmente. Los productos

finales de este proceso son el oro en barras (bullion) y una solución de cianuro "estéril", la cual se transfiere con bombas desde las cajas de zinc a un tanque de almacenamiento para reutilizarla permanentemente en el proceso de cianuración.

El precipitado se funde para recuperar el oro. También se origina material de desecho que consiste en impurezas, incluyendo metales pesados. Estas escorias deben descargarse en un depósito de material de desecho.

La alternativa sugerida es la absorción con carbón, sobre todo en las operaciones en las que las cantidades de plata que viene asociada con el oro en la solución son bajas. En este proceso, la solución es impulsada por bombas a través de columnas de carbón activado. El oro y la plata de la solución se adhieren al carbón, y la solución "estéril" que todavía contiene cianuro, se lleva a un tanque de almacenamiento. El oro y la plata son separados del carbón por un tratamiento con soda cáustica caliente. Después, la solución pasa por una celda para bañar el metal. El carbón gastado se reactiva en un horno para poder reutilizarlo.

En las operaciones de extracción por lixiviación se utilizan los tanques de almacenamiento para almacenar la solución de cianuro que luego se rociará sobre el depósito, sobre la solución lixiviada del depósito y sobre la solución estéril que resultan del procesamiento del oro. Por razones ambientales y económicas, todos los tanques de almacenamiento deben tener forros para evitar escapes de la solución de cianuro.

Las operaciones de extracción por lixiviación con cianuro pueden usar un sistema cerrado o abierto para el manejo de la solución de cianuro. En un sistema abierto, se trata o se diluye la solución estéril que queda después de recuperar el oro, para cumplir con las normas aplicables de calidad de agua para concentraciones de cianuro y luego se descarga al ambiente. En un sistema cerrado se reutiliza o se recicla la solución de estéril para minimizar la necesidad de más cianuro, y para cumplir con las normas ambientales que pueden ser aplicables en el sitio minero. Se recomienda que se siga operando el sistema cerrado en las minas y entables.

Fusión y obtención del oro en pepa. El lodo negro que se obtiene de la precipitación es calcinado y fundido con ayuda de fundentes apropiados para obtener lo que se conoce como oro en pepa.

Refinación. El proceso de refinación mediante ácido nítrico, se basa en la propiedad que tiene este ácido de diluir los metales que acompañan al oro, ya que este no es atacado por el ácido nítrico, mientras que la plata y el cobre respectivamente forman nitratos solubles. Las etapas de este proceso son:

Mezcladura. Se realiza este proceso para obtener la aleación con porcentaje de oro entre 250 y 285 milésimas con el fin de facilitar el ataque de los reactivos, lo cual se logra adicionando cobre de alta pureza a una temperatura aproximada de 1100°C a la aleación a refinar. Esta aleación fundida se debe verter despacio y a chorros finos dentro de un tanque

con agua. En el fondo del tanque queda la granalla, que es extraída para secarse y pesarse, con el fin de comprobar que no ha hallan pérdidas.

Ataque químico. La granalla se somete a calentamiento con ácido nítrico en un recipiente refractario con el fin de disolver el cobre y la plata presentes en la aleación. Esta reacción es acompañada por la emisión de gases de óxido nítrico, el cual se combina con el oxígeno del aire para producir gases amarillos, rojos y marrones densos. El cese de estos gases indica la culminación de la reacción por agotamiento del ácido nítrico o por saturación de la solución con iones metálicos. Se obtiene así una solución fuertemente ácida de color azul intenso y con alto contenido de metales que pueden ser recuperados posteriormente, mientras que en el fondo del recipiente permanece un residuo marrón oscuro que es el precipitado de oro; la solución se elimina por decantación. El ataque químico debe repetirse cuantas veces sea necesario hasta que no haya desprendimiento de vapores rojos ni el ácido cambie de color.

Lavado y secado. El precipitado de oro se lava con agua hasta que esta permanezca totalmente clara y al mezclarla con un poco de amoníaco no se vuelva azul y siga incolora. Posteriormente, el precipitado se deposita en un recipiente metálico para calentarlo a unos 80°C hasta evaporar el agua presente.

Fundido y afinado. El oro seco se funde a una temperatura de 800°C en crisoles de grafito o porcelana. Dependiendo de la cantidad a fundir se agrega sales (sal de nitró, bórax) para retirar trazas de impurezas y afinarlo. El oro contenido en el crisol cambia su color marrón por el color amarillo característico del oro fino. La mayoría de los metales básicos presentes como impurezas se convierten en cloruros que salen convertidos en humos o en escoria formada con el bórax. Finalmente se saca el oro del crisol y se pesa. El lingote resultante será de 990 a 998 milésimas, dependiendo del cuidado que se haya tenido en cada etapa del proceso.

De las soluciones de nitrato de plata y nitrato de cobre resultantes del ataque químico, previamente sedimentadas y filtradas, se recupera la plata precipitándola como cloruro de plata (precipitado blanco) mediante la adición de una solución saturada de cloruro de sodio (sal común), repitiendo esta operación tantas veces como sea necesario. Por decantación se separa el cloruro de plata de la solución de nitrato de cobre y de sodio (solución azul). El cloruro de plata se lava varias veces hasta eliminar la acidez completamente (el cloruro de plomo se elimina mediante lavados con agua caliente) y se reduce a plata metálica con ácido sulfúrico al 20% en una cantidad aproximadamente igual al volumen que se tenga de cloruro de plata y con la adición de zinc en forma de polvo. La transformación de cloruro de plata a plata metálica se completa cuando el color blanco del cloruro de plata pasa a color gris plomo uniforme. En este proceso se debe tener cuidado con la adición de zinc en exceso que genera la formación de sulfatos, que difícilmente son removidos en los lavados.

La plata recuperada es lavada varias veces para eliminar la acidez y los residuos metálicos de zinc, luego debe filtrarse y secarse, para posteriormente ser fundida con la adición de bórax en algunos casos.

La etapa de beneficio y transformación finaliza con el procesamiento del oro mediante metalurgia de refinamiento que se realiza en las grandes fundiciones.

Cierre y remediación

El cierre de minas debería planearse e iniciarse desde el mismo comienzo de una explotación minera, sin importar el tamaño de la misma. Una vez concluida la extracción del mineral, se deben realizar una serie de actividades de supervisión y control que garanticen que las actividades de remediación hayan sido completadas. Estas actividades pueden prolongarse en el tiempo hasta satisfacer los planes de cierre. La remediación no implica de ninguna manera que el área minada debe volver a su estado original, pero sí disponer de los medios y acciones necesarias que la habiliten para usos futuros.



Procesos de producción de oro

INSUMOS REQUERIDOS EN LOS PROCESOS DE BENEFICIO Y TRANSFORMACIÓN DE ORO

Los principales insumos necesarios para la actividad de extracción y beneficio del oro son el cianuro de sodio, polvo de zinc, mercurio, ácido nítrico, carbón activado, cal, algunos combustibles y los explosivos. Los primeros se consiguen con cierta facilidad en el comercio de Medellín, mientras que los explosivos los suministra el ejército.

ACCIONES NECESARIAS PARA LA EXTRACCIÓN Y BENEFICIO DEL ORO

Se han identificado varios temas críticos alrededor de los cuales se deben ejecutar acciones sectoriales respecto a la minería artesanal y a la pequeña minería:

- Generar información geocientífica básica como insumo indispensable para el desarrollo del sector y como la principal herramienta de valoración de los proyectos mineros. Actualmente el sector presenta un limitado conocimiento de los recursos naturales minerales no renovables.
- Apoyar la actividad minera del oro en Antioquia mediante la formulación de proyectos de inversión que tengan por objeto incrementar la productividad de esta actividad.
- Promover los proyectos mineros ante inversionistas y el sector financiero, con base en estudios y planes mineros, por los mineros y las entidades públicas y privadas comprometidas con el tema.
- Consolidar la estructura institucional en sus labores de fiscalización y seguimiento, permitiendo el desarrollo ágil y dinámico de la inversión.
- Controlar eficientemente los requerimientos técnicos y ambientales de las explotaciones de oro. En primera instancia la autoridad minera debe reducir el número de trámites requeridos por el minero para realizar un control ambiental efectivo.
- Implantar tecnologías limpias en el beneficio de minerales en la región, contribuyendo a incrementar la eficiencia en calidad y el volumen del producto del beneficio.
- Impulsar y mejorar los procesos productivos en la joyería artesanal y formal, para dar mayor valor agregado al oro producido en Antioquia.
- Expedir un marco jurídico y reglamentario sobre la minería artesanal y las pequeñas explotaciones.

- Adelantar un estudio técnico-económico de las explotaciones artesanales y de las pequeñas explotaciones de la región.
- Facilitar el acceso al financiamiento, estableciendo un sistema apropiado y permanente.
- Fortalecer el desarrollo de las capacidades de los mineros artesanales.
- Profesionalizar a los artesanos, promoviendo el interés por la explotación formal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artesanías de Colombia (2004). *Informe de noviembre de 2004 de la cadena productiva de la joyería en Antioquia*. Bogotá.

Minercol & Artesanías de Colombia (2003). *Informe final*. Programa Nacional de Joyería. Minercol, Bogotá.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2003). *Política nacional de apoyo a la cadena productiva de la industria de la joyería, metales, piedras preciosas y bisutería en Colombia*. Artesanías de Colombia, Bogotá.