

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN DEL DEPÓSITO “EI COBRE NORTE”.**RESEARCH PROPOSAL FOR DEPOSIT "COBRE NORTE".**

Maylin Laurel Gómez⁽¹⁾, Emilio Montejo Serrano⁽¹⁾

Dentro de los trabajos que se prevén para la continuación de las investigaciones geológicas y tecnológicas dentro del programa de oro, se encuentran las investigaciones geológicas que se proyectan con vistas a realizar la exploración en la zona El Cobre Norte, lo cual permitirá el incremento del grado de los recursos y la realización de un estudio de factibilidad técnico económica, para la explotación de la mineralización conocida.

En el presente informe se realiza una búsqueda bibliográfica de las tecnologías existentes para recuperación de oro, así como las perspectivas de aplicación práctica de las mismas para las menas en estudio. Adicionalmente se propone un programa de trabajo investigativo fundamentado en las características geológicas y mineralógicas del depósito. La zona de los trabajos se ubica dentro de la región que ocupa el campo menífero. El Cobre, en las estribaciones del Norte de la Sierra Maestra. Actualmente se encuentra iniciando sus operaciones la planta metalúrgica, para el procesamiento del yacimiento Oro Barita, por lo cual la zona aurífera El Cobre Norte pudiera incrementar los recursos de la zona y por tanto las reservas a procesar en dicha planta. Todo lo expuesto con anterioridad, pone de manifiesto la necesidad de continuar los estudios geológicos, desarrollo de reservas y estudios metalúrgicos del yacimiento, que demuestren la factibilidad técnica y económica para el procesamiento de la mena.

Palabras clave: Investigación tecnológica, oro, Cobre Norte

Among the works that are expected to read the geological and technological research within the program of gold are geological research project with a view to conducting exploration in the North Copper, which will increase the degree of resources and the creation of a technical and economic feasibility study for the exploitation of known mineralization.

This report takes a literature search of existing technologies for gold recovery and prospects for practical application of the same for the ores under study. Additionally we propose a program of research work based on geological and mineralogical characteristics of the deposit. The work area is located within the region occupied by the field menífero. El Cobre, in the foothills of the Sierra Maestra North. Currently initiating metallurgical plant operations, for the Golden Barite deposit processing, so the Copper North gold zone could increase the resources of the area and therefore the reserves to be processed in the plant. Everything discussed above, highlights the need for further geological studies, development of reserves and reservoir metallurgical studies that demonstrate the technical and economic feasibility for processing the ore.

Keywords: Technology research, gold, Cobre Norte

Recibido: 14 de marzo del 2013

Aprobado en su forma original: 27 de mayo del 2013

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km1^{1/2} Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: maylin@cipimm.minbas.cu

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los altos precios del oro han alcanzado niveles cercanos a los 2000 USD/onza troy y se mantienen estables a niveles entre 1600 – 1800 USD/ onza troy, lo cual hacen atractivos yacimientos que hasta hace algunos años eran inviables su explotación económica, debido a: sus pequeñas reservas, difícil tratamiento ó bajas leyes de cabeza.

El depósito de menas auríferas conocido como Cobre Norte, situado en la provincia de Santiago de Cuba, a 1 km al norte de la cantera del yacimiento El Cobre tiene prevista su explotación en los próximos años, para dar continuidad productiva a la planta de Oro Barita. Es un depósito al cual se le deben realizar investigaciones geotecnológicas para elevar la categoría sus recursos con vistas a su aprovechamiento industrial.

El objetivo de la investigación es realizar un estudio de las informaciones tecnológicas y geológicas existentes del depósito, con el propósito de conocer los recursos existentes, su categoría y las informaciones respecto a la mineralización que influyen en la tecnología a estudiar.

Los minerales auríferos, son aquellos de los cuales podemos extraer en forma rentable el oro. El oro por lo general se encuentra de las formas siguientes: como un metal nativo, formando aleaciones con el cobre, la plata y otros elementos, en diferentes proporciones. También el oro se halla asociado a otros minerales como el cuarzo, sulfuros (pirita, calcopirita, arsenopirita, galena, esfalerita, etc.), calcita, baritina y otros. El origen de estas mineralizaciones es variado, pero los principales son de origen hidrotermal, residual y de placeres. Dentro de ellos los más difundidos son de origen hidrotermal, los cuales de acuerdo a la temperatura de su formación pueden ser yacimientos hidrotermales de altas, de medias y de bajas

temperaturas, siendo los más importantes desde el punto de vista industrial, los de temperaturas medias.

Los cuerpos minerales de oro se presentan de diversas formas como son: las vetas o filones, los stockwork y los placeres.

Adicionalmente, los yacimientos deben cumplir ciertas condiciones para que sea rentable su explotación, dentro de ellas podemos enumerar las siguientes:

1. Cantidad mínima de reservas, es decir que el volumen del mineral sea suficiente para que la explotación dure un tiempo considerable.
2. Contenido o ley mínima, es decir el contenido de oro o ley del mineral debe estar enmarcada dentro del cut off o ley marginal.
3. Contenido máximo de elementos nocivos que provoquen pérdidas o una baja recuperación.
4. Accesibilidad al yacimiento, es decir la existencia de carreteras de acceso.
5. Potencias mínimas del cuerpo.
6. Potencia máxima de las rocas de escape del yacimiento.
7. Ubicación, grado de buzamiento, etc. del cuerpo mineral, de lo que depende que la minería sea subterránea, a cielo abierto ó combinada.

ESTUDIO SOBRE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA OBTENCIÓN DE ORO.

La zona mineralizada de El Cobre Norte se ubica dentro de la región que ocupa el campo menífero El Cobre a 1 km al norte de la cantera del depósito El Cobre y en la secuencia media de Hongolosongo, cubierta por rocas vulcanógenas sedimentarias de la secuencia superior.

El oro lo podemos encontrar en la naturaleza incrustado en el mineral, donde una vez liberado por molienda, se puede proceder a la

lixiviación del mismo; o encapsulado en la matriz donde en este caso la cianuración no es posible sin un tratamiento previo de flotación, tostación etc. El tamaño del grano de oro es determinante en el proceso metalúrgico elegido. Se divide por el tamaño, en oro grueso que viene a ser el oro aluvial en forma de pepitas, el oro filoniano en forma de escamas o hilos, hasta un tamaño no menor a 0,2 mm. El denominado oro fino que se encuentra en un rango de tamaños entre el oro grueso y el oro ultra fino, está entre 0,2 mm (200 micrones) y los 10 micrones, quedando el denominado oro ultra fino que estaría libre o encapsulado menor a 10 micrones.

Tipos de tecnologías empleadas en la recuperación de oro.

El tratamiento de los minerales auríferos se basa fundamentalmente en las propiedades del oro, como son su baja reactividad, su alto peso específico y a las propiedades de los minerales a los que está asociado, como son su carácter hidrofóbico, su solubilidad en soluciones cianuradas, las aleaciones naturales presentes (electrum, telurios, etc.), entre otras. Todo lo anterior determina la posibilidad de empleo de diversos esquemas de tratamiento metalúrgico ó combinación de ellos, para recuperar los metales preciosos. A continuación se describen algunos procesos aplicados en la obtención del oro, los cuales van a estar determinados por las características del metal en el mineral.

Flotación

Este proceso se aplica en el caso de que el oro se encuentre mayoritariamente asociado a los sulfuros. Éste se lleva a cabo en celdas de flotación en las que se inyecta aire con el objetivo de separar las partículas hidrofóbicas del seno del líquido, las que se adhieren a la superficie de las burbujas y ascienden a la superficie. La modificación selectiva de las partículas a separar se obtiene mediante la adición de colectores, depresores y activadores. Para lograr la estabilidad de las

burbujas de aire y evitar que se rompan se adiciona al proceso los espumantes obteniéndose un concentrado de sulfuros rico en oro.

Tostación

Es un proceso pirometalúrgico que se emplea para producir un cambio químico en la estructura de un mineral. La tostación es un proceso de calentamiento usado para minerales de oro asociado a sulfuros, con ella se produce su descomposición y se libera el oro para el contacto con las soluciones de cianuro. Resultados recientes demuestran que la lixiviación a presión (HNO_3) o la biolixiviación de sulfuros, puede ser considerada como alternativa a la tostación.

Proceso de Oro Intec (IGP)

Este novedoso método ha sido desarrollado como una alternativa basada en haluros para recuperar el oro de los depósitos de sulfuros refractarios lo que ofrece beneficios significativos en reducción de capital y costos de operación. Desde el punto de vista medioambiental reporta beneficios por el hecho de no requerirse el cianuro de sodio el cual es altamente tóxico.

En general el tratamiento comúnmente empleado para este tipo de depósitos consiste en la flotación del mineral molido para producir un concentrado, seguido de una etapa de pre-tratamiento para oxidar los minerales de sulfuro (tostación, oxidación a presión y biolixiviación) para terminar con la extracción del oro del residuo de oxidación por lixiviación con cianuro.

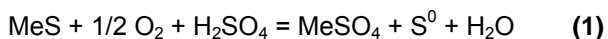
Sin embargo el método IGP se basa en la utilización de un haluro en la etapa de pre-tratamiento, en lugar de un medio de sulfato. El empleo de un método de haluro permite que la oxidación del sulfato se lleve a cabo simultáneamente con la disolución del oro. La solución cargada de oro es separada del mineral oxidado y el oro disuelto puede ser recuperado por adsorción con carbón activado

seguido de las etapas de elución y electrodeposición. La culminación exitosa del desarrollo a escala de laboratorio del IGP ha llevado al diseño de una planta a escala piloto en Sydney (Moyes, J., 2006). Éste método aún no ha alcanzado resultados a nivel industrial pero constituye una alternativa favorable.

Proceso Albion

Una tecnología alternativa para la oxidación de los sulfuros refractarios es el Proceso Albion. La tecnología Albion Process fue desarrollada por MIM Holdings (ahora Xstrata Plc), para tratar los concentrados producidos a partir de minerales refractarios de metales básicos y preciosos. Éste fue desarrollado en 1993 y ha sido patentado por todo el mundo. El proceso Albion es una combinación de molienda ultra fina y lixiviación por oxidación a presión atmosférica. Incorpora el revolucionario IsaMill para producir un concentrado activado, finamente molido, con relativamente bajo insumo de energía específica. La etapa de lixiviación por oxidación se realiza en tanques agitados que funcionan a presión atmosférica. El oxígeno se introduce a la mezcla de lixiviación para favorecer la oxidación. La lixiviación es auto térmica, y no requiere de calor externo alguno.

La reacción general de una lixiviación mediante Proceso Albion es:



La temperatura es controlada por la tasa de adición de oxígeno, y por la densidad de la mezcla de la lixiviación. Los costos de capital de una planta de proceso Albion pueden ser substancialmente menores que los de una planta comparable de lixiviación bacteriana o a presión, debido a la simplicidad de los diagramas de flujo del proceso.

Proceso de lixiviación de oro con cianuro

La tecnología actual de lixiviación de metales preciosos se ha desarrollado ampliamente

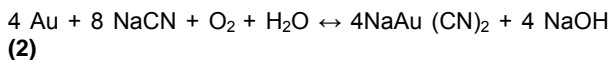
desde mediados de la década del 70, aunque los principios de lixiviación así como los de extracción de oro mediante cianuración tienen una larga historia. Sin embargo, es en los últimos 20 años que la lixiviación se ha desarrollado hasta llegar a ser un método eficiente para tratar el oro oxidado y los minerales de plata. Una desventaja de la tecnología de lixiviación en pilas actualmente existente es la reducción del porcentaje de extracción de metales que se obtiene del mineral en comparación con lo que sucedería con la lixiviación convencional. La extracción de oro mediante cianuración llegó a ser un proceso comercial a través del trabajo pionero de dos hermanos escoceses, los doctores Robert y William Forrest, conjuntamente con John S. MacArthur, químico autodidacta. Estos hombres, experimentando por años en un laboratorio casero en Escocia, buscaban encontrar un proceso mejorado para recuperar el oro de los minerales complejos. Tuvieron éxito en su búsqueda y en 1887 se les emitió la Patente Británica 14, 174. Posteriormente se emitieron las Patentes Estadounidenses 403,202 y 418,137 para estos tres hombres en 1889. El proceso que abarcaban estas patentes incluía la agitación de pulpa ante la presencia de aire, seguido de precipitación con polvo de zinc de la solución filtrada de oro y cianuro. La lixiviación de minerales de metales preciosos empleando el proceso de cianuración fue inicialmente sugerida por la Dirección de Minas de EE.UU. en 1967.

La primera aplicación de lixiviación comercial se efectuó a fines de los años 60 por parte de Carlin Gold Mining Company al norte de Nevada. Cortez Gold Mines inició la primera operación a gran escala a principios de los años 70 lixiviando dos millones de toneladas de oro de ley marginal. A mediados de la década del 70, se perfeccionó la tecnología de lixiviación en pilas de oro con el fin de tratar depósitos arcillosos de baja ley. Las mejoras, tales como la lixiviación en pilas usando aglomeración, fueron puestas en marcha por el aumento de la exploración de depósitos de baja ley ya que el precio del oro aumentaba

drásticamente. Muchos de los depósitos descubiertos no pudieron ser procesados mediante las técnicas convencionales de lixiviación porque las arcillas o finos generados durante la trituración impedían la percolación uniforme de la solución a través de las pilas de mineral.

La tecnología de lixiviación en pilas usando aglomeración es aplicable a la mayoría de minerales de oro y relaves de flotación. Los resultados de las mejoras tecnológicas que se han producido a través de los años 70 y en los años 80 pueden apreciarse en los drásticos aumentos del nivel de producción. Para 1993, la producción de oro a partir de la lixiviación en pilas había aumentado a más del 35 % del total de la producción de oro en EE.UU. desde un estimado de 6 % en.

En 1900 Leonard Holmes realizó pruebas de cianuración con minerales auríferos sulfurados en México y E.M. Hamilton y demostró en planta la aplicabilidad del proceso a minerales de este tipo. Las razones para la amplia aceptación del proceso de cianuración son de tipo económico y metalúrgico. Este proceso se basa en el hecho de que una solución débilmente alcalina de cianuro tiene una acción preferencial para disolver el oro contenido en la mena. La ecuación más aceptada para representar la disolución del oro por soluciones diluidas de cianuro es la de Elsner:



De esta manera cuando se ponen en contacto la solución de cianuro con la superficie del mineral en un medio acuoso y que contiene oxígeno, se forma un complejo de tipo auricianuro de sodio y un hidróxido (Suárez, M. y col., 1991).

En el proceso de cianuración intervienen varios factores entre los que se encuentran (Suárez, M. y col., 1991):

- Tamaño de partícula.

- Naturaleza física de los sólidos (óxidos, sulfuros, etc.).
- Condiciones de la superficie del mineral: desgastada o superficie primaria, etc.
- Velocidad de difusión. La velocidad a la cual el solvente se mueve hacia o desde la partícula del mineral.
- Velocidad de los movimientos rotatorios entre sólidos y solventes.
- Concentración del solvente. A mayor concentración del solvente (NaCN) menor es el tiempo requerido para obtener un porcentaje dado de recuperación.
- Temperatura. Generalmente un aumento en temperatura dará un mayor porcentaje de recuperación para el mismo tiempo de contacto.
- Tiempo. A mayor tiempo de lixiviación mayor porcentaje de recuperación.

Durante los últimos años se ha hecho bastante uso del cianuro para la extracción de oro a partir de sus minerales, proceso que ha demostrado una eficiencia tecnológica ampliamente aceptada. Es por esto que hoy en día el proceso más utilizado para la disolución del oro es la lixiviación con cianuro. Esto es debido a su alta eficiencia de extracción, a partir de una gran variedad de menas y concentrados, bajo costo, química de reacción simple y estabilidad. Sin embargo presenta algunas desventajas como ser altamente tóxico, presenta bajas velocidades de disolución respecto a otros agentes lixiviantes, no es selectivo y forma compuestos complejos con una gran variedad de iones metálicos, como los llamados cianicidas, aumentando su consumo.

Como alternativa para minimizar los problemas anteriormente dichos se han realizado investigaciones con el objetivo de encontrar nuevos reactivos que mejoren la velocidad de lixiviación del oro, entre ellos se encuentran el tiosulfato de amonio y la tiourea los que se describen en los siguientes epígrafes.

Lixiviación de oro con tiosulfato de amonio

El tiosulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2\text{O}_3$, tiene la propiedad de acomplejar el oro y la plata y se utiliza como fertilizante. Esta sustancia aumenta la velocidad de disolución del oro, permitiendo el uso de reactores de lixiviación más pequeños. Presenta un comportamiento favorable para minerales que contienen cobre, pues la disolución de oro en una solución de tiosulfato de amonio es una reacción que puede ser catalizada directamente por la presencia de ión cúprico. El complejo oro-tiosulfato no se adsorbe por el carbón lo que constituye una ventaja frente a minerales de tipo carbonáceo. El tiosulfato resulta ser menos tóxico, medioambientalmente menos dañino y más selectivo que el cianuro. Existe cierto consenso en el mundo científico con respecto al uso de este reactivo como un método alternativo al cianuro, pero el proceso aún no ha logrado aplicaciones comerciales. Dificultades inherentes a la química de la solución y métodos adecuados de recuperación han limitado mayor progreso del método.

Lixiviación de oro con tiourea

La tiourea, $\text{CS} (\text{NH}_2)_2$ probablemente en la actualidad ha recibido la mayor atención como alternativa de agente lixivante del oro y la plata. El interés demostrado por la tiourea es atribuido por la cinética extremadamente rápida asociada con la lixiviación del oro y plata. Sin embargo el alto consumo del reactivo y problemas de pasivación en superficies recubiertas da como resultado eficiencias bajas de lixiviación en muchos casos. La tiourea es un compuesto orgánico, los cristales que se disuelven en agua dan una solución acuosa estable en soluciones ácidas. El consumo esperado de tiourea en una lixiviación de minerales de oro está en el orden desde 0,5 hasta 2 kg/ton, a lo que debe agregarse el costo del oxidante y el del ácido requerido para obtener el pH y compensar los consumos propios del mineral, costos que pueden hacer prohibitivo el método. La

lixiviación con tiourea es un complemento excelente para considerar donde la cianuración es deficiente o ineficaz. Como son los casos de existencia de cianidas, de minerales refractarios de oro grueso, oro ocluido en carbonatos, oro asociado a sulfuros, arseniuros, antimoniuros y a especies de cobre. Antes de considerar seriamente el uso de la tiourea en la disolución del oro, desde un mineral determinado, deberá realizarse una cuidadosa experimentación metalúrgica a nivel de laboratorio y planta piloto, con muestras representativas. Solamente un adecuado soporte experimental, permitirá determinar todos los factores de consumo y los reactivos necesarios para el adecuado procesamiento del mineral.

Como se mencionaba anteriormente el cianuro es el reactivo más empleado para la lixiviación del oro. Para esto existen varios métodos, pero los comúnmente usados son la lixiviación en pilas y la lixiviación por agitación.

La lixiviación en pilas consiste en el apilamiento del mineral a procesar para ser rociado con soluciones cianuradas por el sistema de goteo, aspersion o tipo ducha. Con este método se procesan grandes cantidades de mineral, cuya ley es de baja a mediana con un porcentaje de recuperación entre un 70 % y un 85 %. Aunque también se usa para depósitos de pequeño volumen y de alta ley, debido a sus bajos costos de capital y operación. El mineral para ser procesado por esta tecnología debe ser poroso y permeable para lograr una correcta disolución del oro.

La lixiviación en tanques agitados consiste en que una vez molido el mineral a un tamaño menor a los 105 micrones se coloca en tanques donde es disuelto con agitación por una solución alcalina de cianuro por tiempos que van desde las 6 hasta las 72 horas. Este método es empleado para minerales que tienen alta ley pues los costos de inversión de capital son altos, aunque estos pueden ser compensados por el alto porcentaje de recuperación que oscila entre un 80% y un 95%.

El método escogido para realizar la lixiviación dependerá principalmente de un análisis económico incluyendo valores de inversión y operación, además de realizar una serie de pruebas a nivel de laboratorio y piloto que permitan analizar el comportamiento del mineral frente a la tecnología. Cuyos resultados van a depender de ciertos factores influyentes en la recuperación del oro como son:

1. El tipo de mineral que contiene oro.
2. El mineral portador que contiene al mineral aurífero.
3. La distribución y localización del oro en el mineral portador.
4. Granulometría del oro.

PERSPECTIVAS DE APLICACIÓN PRÁCTICA DE ESTAS TECNOLOGÍAS PARA EL DEPOSITO “EL COBRE NORTE”.

En la actualidad las menas del depósito Cobre Norte no han sido sometidas a ensayos metalúrgicos a nivel de laboratorio y piloto. Se han realizado algunos estudios geológicos para estimar los recursos con que cuenta la región, con el objetivo de demostrar la factibilidad técnica y económica para el procesamiento de las menas auríferas.

En los años 1994 a 1998 se realizaron estudios en esta zona por la A.E. Geominera S.A. y una compañía extranjera. De las informaciones recogidas se tiene que (Luna, A. y col., s.a):

- La mineralización sulfurosa es similar a la del yacimiento Oro Barita, presentando una intensidad variable en forma de vetas, nidos y diseminaciones.
- Las vetas de sulfuro alcanzan varios centímetros de espesor, ocupando partes o casi todo el testigo, dando aspecto de una mena masiva en intervalos que no exceden los 50 cm.

- La mineralización cuarzo sulfurosa está estrechamente relacionada con la mineralización aurífera.
- La esfalerita es el sulfuro más abundante en las menas, predomina la esfalerita de color oscuro.
- La pirita se presenta en cristales, vetillas, relleno de grietas y agregados irregulares. La calcopirita se presenta en vetillas y nidos acompañada por esfalerita y en casos aislados por galena.
- La galena es la menos difundida, en forma de cristales y agregados irregulares.
- Del oro se conoce su presencia por los análisis químicos, pero no ha sido observado macroscópicamente en esta zona.

Para tomar una decisión exacta acerca de la tecnología a emplear en el procesamiento de las menas auríferas del depósito El Cobre Norte debe existir un estudio a escala de laboratorio y piloto que fundamente el esquema tecnológico implantado en la planta de Oro Barita, pues lo que se pretende es tratar el mineral en dicha instalación. Para esto se deben tomar muestras representativas del yacimiento y someterlas a análisis químico, granulométrico, mineralógico, pruebas de lixiviación en columnas, etc. para justificar el empleo de esta tecnología.

El esquema tecnológico propuesto y que existe en la planta industrial de Barita es el que sigue:

Trituración y Aglomeración-Lixiviación en pilas con solución de cianuro- Precipitación del oro con polvo de zinc-Fundición del cemento de oro.

Los trabajos investigativos con mineral de superficie (más oxidados), de la zona de Barita confirmaron que este se puede lixiviar en pilas con recuperaciones de alrededor del 63 %, por lo que las menas auríferas del depósito el Cobre Norte se pretenden procesar por esta tecnología, según las informaciones geológicas

plantean que presentan una mineralogía “similar”. La percolación en pilas es la tecnología que se emplea en Oro Barita, generalmente para minerales de baja ley, la cual es muy barata respecto a la lixiviación en tanques agitados, pues requiere mayor inversión en equipos y costos de operación, por lo que se destina generalmente a yacimientos con alta ley de oro. La obtención del oro a partir de la solución lixiviada se realiza en la planta de Oro Barita por el proceso de precipitación con polvo de zinc (Merrill Crowe), aunque se puede realizar también por el método de adsorción con carbón activado, donde la solución que proviene de las pilas de lixiviación, o de los tanques de agitación, se hacen pasar por varias columnas, que contienen carbón activado, que adsorben selectivamente los metales preciosos en solución. Las soluciones de cianuro de oro se alimentan a las columnas en contracorriente para que mantengan las partículas de carbón en suspensión, evitando que el lecho se compacte.

La presencia de gran cantidad de sulfuros en la mena de oro tiene el inconveniente de que consume mayor cantidad de cianuro durante el proceso de lixiviación y en este caso lo que se debiera realizar es la flotación de los minerales de sulfuros y en caso de haber asociado oro a la ganga (cuarzo) la lixiviación de las colas de flotación con cianuro en tanques agitados.

Por último el proceso de obtención del oro concluye con la fundición del cemento de oro, derivado de la precipitación con zinc para obtener un doré que es el producto final de la planta.

ESTUDIO DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA - TECNOLÓGICA.

Antecedentes

Los trabajos investigativos realizados a nivel de laboratorio para decidir la variante tecnológica a emplear en el procesamiento de las menas auríferas, ha sido referido a la zona mineralizada de Oro Barita, a partir de

muestras tecnológicas representativas de ese lugar. En la zona El Cobre Norte y en todo el campo menífero El Cobre en los años 1994 a 1998 se realizaron trabajos geológicos por la A.E. Geominera S.A. y una compañía extranjera. Se recopiló información existente, por parte de un grupo importante de profesionales, de los afloramientos, pozos, trincheras y muestreos con resultados de oro que tienen ubicación, para conocer las zonas mineralizadas de oro en el campo menífero El Cobre y efectuar el cálculo de recursos minerales de oro en la zona El Cobre Norte.

Desde 1994 se ha perforado alrededor de 17 pozos para un total de 3 791 m de la zona de Cobre Norte, donde se incluyen algunos en las cercanías de Mina Nueva y Melgarejo. En 1994 se perforó el pozo 524 no encontrándose mineralización aurífera importante, sin embargo se detectó mercurio y plata. En el período de noviembre del 1995 a febrero de 1996 se perforaron 3 pozos en las cercanías del hoyo S69. Durante mayo de 1996 se perforaron 3 pozos encontrándose mineralización de oro y plata importante. En el mes de mayo de 1997 se estudiaron otros 5 pozos donde se encontró una débil mineralización aurífera donde no sobrepasaba el valor de 1 g/t de Au. En perforaciones previas realizadas por especialistas cubanos en 1985, se detectó mineralización de zinc, cobre y pirita similar a la de la zona cuarzo-sulfurosa de Oro Barita.

Los mayores contenidos de oro se ubicaron en el interior de los pozos 545, 547, 554, 558 y 561, donde la zona mineralizada se encuentra en el mismo nivel estratigráfico para cada pozo.

El prospecto de oro denominado Mina Nueva se localiza sobre una pequeña colina con dimensiones comparables a la de Barita, a una distancia de aproximadamente 400 m al sur del depósito el Cobre Norte. En esta zona durante el año 1996 se perforaron tres pozos para estudiar la mineralización del lugar, estos fueron el 565, 566 y 569. En el hoyo 566 se

detectó 2,65 % de cobre y 1,19 g/t de oro sobre 3,25 m. En el hoyo 569 localizado 56 m al oeste del hoyo 566 se detectó 0,51 g/t Au sobre 16,5 m incluyendo 0,45 % de Cu y 1,05 g/t Au sobre los 5 m. La zona de cobre detectada en el pozo 566 tiene similitudes con la mineralización de cobre de la mina El Cobre.

Características geológicas del depósito Cobre Norte.

La zona mineralizada de El Cobre Norte se ubica a 1 km al norte de la cantera del yacimiento El Cobre y en la secuencia media del miembro Hongolosongo, cubierta por rocas vulcanógenas de composición medio-ácidas, con predominio de tobas andesíticas, dacíticas y en la parte superior del corte lentes de calizas e ignimbritas. Por debajo, tobas de composición medio-ácida, brechosas con alto grado de silicificación, vetas de cuarzo y sulfuros diseminados, donde se localiza la mineralización aurífera. Esta secuencia es la más desarrollada en la región pues se ubican el mayor número de manifestaciones minerales del campo menífero El Cobre (Luna, A., Medina A., Falero R.).

La zona mineralizada de El Cobre Norte tiene una profundidad vertical de 150-200 m. La mineralización cuarzo sulfurosa está estrechamente relacionada con la mineralización aurífera. La mineralización sulfurosa es similar a la del yacimiento Oro

Cálculo de los recursos del depósito El Cobre Norte.

En la etapa de 1994 – 1998 se realizó un cálculo de recursos por Wayne Berman (especialista canadiense), los parámetros utilizados en el cálculo son (Luna, A. y col):

- Contenido de borde de oro: 0,4 g/t.
- Bloque con contenido medio de oro: > 1,00 g/t.
- Peso volumétrico: 2,6 t/m³.

El cálculo arrojó un estimado de 6 toneladas de oro, con un mineral con contenidos

Barita y se presenta en forma de vetas, nidos y diseminaciones. La esfalerita es el sulfuro más abundante en las menas, presentándose en forma de vetillas y nidos, la forma de los granos es irregular y la esfalerita que predomina es de color oscuro lo cual indica que está combinada con hierro. La pirita se presenta en cristales, vetillas, relleno de grietas y agregados irregulares. La calcopirita se halla en vetillas y nidos, acompañada por esfalerita y en casos aislados por galena, la cual es la menos difundida (Luna, A. y col).

En la región hundida, Clodomira, hay presencia de una zona amplia de yeso anhidrita formando un stockwork. Por debajo de ésta se presenta la zona silicificada, cuya asociación mineralógica es cuarzo, representada por tobas vítreas de diferente granulometría y en las que aparece la mineralización aurífera. En la zona levantada Mina Nueva las rocas están oxidadas, manchadas de óxidos e hidróxidos de hierro (Luna, A. y col).

Las alteraciones principales en toda la zona son silicificación generalmente con vetas de cuarzo y sulfuros diseminados, sericitización, argilitización con caolinita y alunita, zonas limonitizadas y hematitizadas que son el reflejo de las zonas de oxidación en el área y cloritización (Luna, A. y col).

promedio de oro y plata de 1,88 g/t y 2,18 g/t respectivamente.

En el año 2004 se realizó el cálculo de los recursos, por especialistas cubanos, de las regiones Mina Nueva y Clodomira ubicadas al este y oeste respectivamente de la falla transversal N-S que atraviesa todo el campo menífero El Cobre.

El cálculo de los recursos de los dos cuerpos principales de la zona El Cobre Norte (zona hundida Clodomira) se realizó utilizando los parámetros de cálculo que aparecen a continuación (Luna, A. y col):

- Contenido de borde de oro: 0,5 g/t
- Potencia mínima industrial: 1 m

- Intercalación estéril máximo: 3 m
- Peso volumétrico: 2,3 t/m³

Esta zona mineralizada aurífera (hundida) presenta un contenido de oro promedio de 2,22 g/t y entre los dos cuerpos principales se calcularon 5,2 t de oro. Esta zona resulta de mucho interés pues podría incrementar las reservas a procesar en la planta de Oro Barita. Además se realizó el cálculo de los recursos de la zona Mina Nueva (levantada), la cual presenta mineralización aurífera en superficie (S8). Los pozos 566 y 569 cortan zonas mineralizadas auríferas que no afloran a la superficie pero que pudieran estar próximas a ella (Luna, A. y col). Esta zona tiene un contenido de oro de 2,4 g/t de oro con aproximadamente 0,08 t de oro.

Tecnología de procesamiento.

Las menas auríferas del prospecto Cobre Norte aún no han sido estudiadas ni procesadas por tecnología alguna, se investiga la posibilidad de que sean tratadas en la planta

ubicada en Oro Barita con el objetivo de dar continuidad a dicha planta.

Según los estudios realizados del depósito, se concluye que éste presenta una mineralogía similar a la del yacimiento Oro Barita, destacándose lo siguiente:

- La mineralización cuarzo-sulfurosa está estrechamente ligada con la mineralización aurífera.
- La mineralización sulfurosa es similar a la del yacimiento Oro Barita.
- La esfalerita es el sulfuro más abundante en las menas, predominando la de color oscuro.
- Existe presencia de pirita, calcopirita y en menor medida galena.
- El oro se encuentra muy fino, pues se conoce su presencia debido a los análisis químicos.
- La zona mineralizada tiene una profundidad de 150-200 m lo que requiere de minería subterránea para su explotación.

Para procesar las menas auríferas de este depósito se propone utilizar la planta industrial de Oro Barita cuyo esquema de procesamiento aparece a continuación:

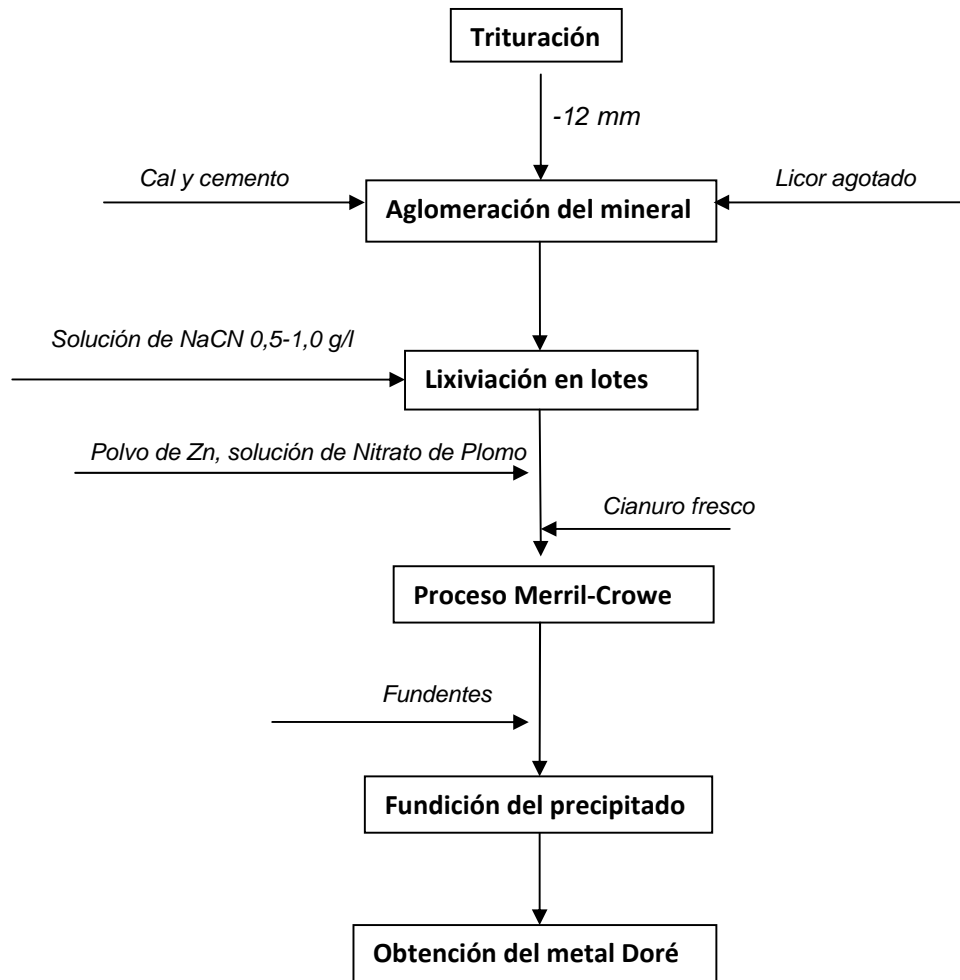


Figura 1. Esquema tecnológico de procesamiento de la planta Oro Barita.

Para lo cual se llevará a cabo una serie de pruebas a escala de laboratorio y ampliada que justifiquen dicha tecnología, pues en estas menas hay presencia de agentes cianídicos que consumen cianuro de sodio en exceso. Si las pruebas dan resultados negativos para la

tecnología de lixiviación en lotes, se propone otro esquema tecnológico que consiste en la flotación de los minerales de sulfuro seguido de una lixiviación en tanques agitados de las colas generadas en el proceso de flotación

PROGRAMA DE TRABAJO DE LA INVESTIGACIÓN

En el año 2012 comenzó la explotación del yacimiento Oro Barita, de características similares a este depósito, empleando una tecnología de Percolación en Lotes – Merrill Crowe – Fundición, para la obtención de un Doré como producto final.

Por su cercanía a estas instalaciones se prevé, que este depósito garantice la continuidad productiva de la planta industrial al agotarse las reservas del yacimiento Oro Barita. Para lograr esto es necesaria la ejecución de los estudios geológicos detallados, los estudios tecnológicos de laboratorio y escala ampliada, así como las evaluaciones técnico - económicas que permitan elevar el conocimiento y categoría de las reservas para su aprovechamiento industrial.

Los objetivos del programa de trabajo comprenden la realización de estudios a escala de laboratorio y ampliada de muestras representativas del depósito con vistas a evaluar su comportamiento en primera instancia a una tecnología de Percolación en Lotes – Merrill Crowe – Fundición, que permita garantizar la continuidad productiva de la planta industrial construida para la explotación del yacimiento Oro Barita.

En caso de dar negativos los resultados anteriores, se debe buscar a nivel de laboratorio una solución al aprovechamiento de las menas de Cobre Norte.

Características de los minerales a procesar.

Los minerales del prospecto Cobre Norte, según la bibliografía consultada, indica que los minerales presentes son similares a los del yacimiento Oro Barita. No obstante resulta conveniente resaltar:

- Mineralización portadora de los metales preciosos: cuarzo – sulfurosa.
- La esfalerita (ZnS) constituye el sulfuro más abundante.

- Presencia de pirita y calcopirita.
- Granulometría del oro muy fina, pues hasta la fecha solo ha sido detectado por análisis químico (no ha sido observado al microscopio).
- Los cuerpos minerales, se encuentran a gran profundidad (150 – 200 m), por lo que va a requerir minería subterránea, que encarecerá la explotación.

Como se puede apreciar las características del mineral no parecen ser muy favorables para el proceso de lixiviación en pilas debido a:

1. El oro se encuentra principalmente asociado a los sulfuros en tamaños muy finos (< 20 micras) requeriría de una molienda muy fina para exponerlo a las soluciones lixiviantes, aspecto este que no logra la tecnología de percolación pues el mineral solo se tritura (6 – 12 mm) y se aglomeran, por lo que se afectaría considerablemente la recuperación.
2. La existencia de grandes cantidades de agentes cianicidas, como zinc y cobre. Cabe destacar que por ejemplo el yacimiento Oro Barita que confronta graves problemas por la disolución de cobre en los licores y su alto contenido en los Doré, por la exploración detallada su contenido medio de cobre era de solo 0,01 % (100 g/t), sin embargo el mineral de Cobre Norte según la información recogida en la tabla 1 tiene 0,08 % (800 g/t), por tanto 8 veces más cobre. Mientras en zinc tiene 1,01 % (10100 g/t) lo que presagia un alto consumo de cianuro y Metales Doré de baja calidad.
3. Otro aspecto a tener en cuenta en la eficiencia de esta futura inversión, es la profundidad en que se localizan los cuerpos minerales que requerirán de la costosa minería subterránea.

No obstante las dificultades expresadas anteriormente, en base a las características de los minerales de Cobre Norte, la prioridad a

estudiar es la percolación en lotes tal como se expresa en los objetivos. Para minimizar el consumo de cianuro y la disolución de metales como el cobre y el zinc se estudiará la lixiviación en soluciones muy diluidas de cianuro e incremento de la calidad de los Doré por tratamientos químicos ó pirometalurgicos de los cementos de oro obtenidos en el proceso de Merrill Crowe. Si los resultados por el esquema de percolación son negativos se propone ejecutar pruebas considerando el depósito tal como es: un prospecto de minerales sulfurosos con contenidos atractivos de minerales preciosos, con vista a obtener por flotación un concentrado selectivo de sulfuros y analizar de ser atractivo, la lixiviación con cianuro en tanques agitados de la ganga acompañante. Esto permitiría por otra tecnología, analizar la posibilidad futura de aprovechamiento de estos recursos para la economía nacional.

CONCLUSIONES

1. Los yacimientos de oro en la naturaleza son de procedencia variada encontrándose los que son de origen hidrotermal, residual y de placeres; siendo los más difundidos los de origen hidrotermal. Dentro de ellos, los yacimientos hidrotermales de temperaturas intermedias, son los de mayor valor comercial.
2. Las formas en que se presentan los cuerpos minerales de oro son: las vetas o filones, los stockwork y los placeres.
3. Según la mineralogía que presentan las menas auríferas, el tamaño de grano y la forma en que aparece el oro en el mineral, existen varias tecnologías a nivel mundial para recuperarlo. De ellas la más usada es la lixiviación con cianuro de sodio.
4. Es importante el estudio de las menas auríferas del depósito El Cobre Norte con vistas a incrementar la vida útil de la planta industrial de Barita, pues de acuerdo a los recursos minerales existentes, el contenido de oro promedio calculado fue de 2,22 g/t.
5. Para decidir cuál tecnología emplear en el tratamiento de las menas auríferas es

necesario un estudio técnico para probar cual alternativa es la más viable.

6. Para tratar el mineral de la zona El Cobre Norte debe ser evaluada en primer lugar, la tecnología implementada en Barita utilizando la planta actual.
7. Debido al tamaño de las partículas de oro en el mineral portador y a la presencia de agentes cianicidas existe la posibilidad de verse afectada la recuperación del oro por el proceso de lixiviación en lote, lo que debe determinarse en las investigaciones.
8. Al ser la zona de mineralización aurífera profunda, se requiere de minería subterránea lo que encarece la operación.

RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo un programa de investigaciones específico para este tipo de mineral con muestras tecnológicas representativas de la zona El Cobre Norte.

BIBLIOGRAFÍA

- Albionprocess (en línea) (consulta: 17 oct. 2012)
<http://www.albionprocess.com/es/technology.html>
- Guía Ambiental para Proyectos de Lixiviación en Pilas. (en línea) [consulta: 12 sept. 2012]
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/..../guias/lixiviacion.pdf>
- Luna, A., Medina A., Falero R. Resultados de los trabajos de exploración en el depósito Oro Barita y las perspectivas de encontrar nuevos recursos. V Congreso de Geología y Minería. 24-28 de marzo. ISBN 959-7117-11-8.
- Luna, A. y col. Informe sobre información geológica de las zonas mineralizadas de oro en el campo menífero El Cobre.
- Moyes, J, 2006. El Proceso de Oro Intec (IGP). Department of Chemical Engineering Maze Crescent University of Sydney NSW. Australia. Web site www.intec.com.au
- Suárez, M. y col, 1991. Libro Tecnología del Oro. Caracas, Venezuela.