

DESARROLLO HISTÓRICO DE LA RECUPERACIÓN DE MOLIBDENO EN LA CARIDAD

FIDEL SALVADOR SALTIJERAL ÁLVAREZ

Grupo México, Minera México, Unidad La Caridad, Departamento de Control Metalúrgico, Planta Concentradora, Nacozari de García, Sonora, México, (salvador.saltijeral@mm.gmexico.com)

RESUMEN

La historia del desarrollo de la recuperación de molibdeno la ubicaremos con origen en el año 1994, a pesar de que las producciones de éste elemento están desde el año 1982 en La Caridad. En 1994 los precios del molibdeno lo convierten en un producto de importancia similar a la del cobre y ello marcó la pauta para realizar una investigación y mejorar su recuperación. En el presente trabajo se mencionan las etapas, cambios y ampliaciones realizados a un nivel industrial para llevar la recuperación de molibdeno desde un valor inicial de 23.20% hasta 66.74%, actual valor récord histórico de la Planta Concentradora. Entre las aplicaciones más importantes han sido la selección de un colector de molibdeno, ampliación de los circuitos de flotación de la planta concentradora y de la planta de molibdeno, la aplicación de un sistema dual de reactivos (PAS y NaSH) para el circuito de separación, plan de minado con característica de cobre equivalente y mejoras metalúrgicas por cambio en la estrategia operativa.

ABSTRACT

The historical development of molybdenum recovery, will be considered as arising in 1994; even though, La Caridad began producing this commodity since early 1982. In 1994, molybdenum prices make it a commodity as important as copper, therefore this situation gave rise to the need to carry out research to improve its recovery. This paper mentions, the stages, changes and increases in production capacity carried out at an industrial level that took us from an original 23.3 % recovery to the current record historical level of 66.74% molybdenum recovery. We may mention among these important applications, the selection of a Molybdenum collector, flotation circuit revamp in both copper and molybdenum concentrators, the application of a binary reagent system (PAS & NaSH) for the separation circuit, a mining plan that incorporates the concept of equivalent copper as well as metallurgical improvements due to changes in operating strategy.

INTRODUCCION

El molibdeno en La Caridad es recuperado como subproducto de su proceso de concentración general para cobre y molibdeno. Esto significa que las condiciones estratégicas metalúrgicas y operativas están dirigidas a beneficiar el cobre más que el subproducto. Dentro de esa regla los metalurgistas y operadores deberán realizar las investigaciones y maniobras convenientes para optimizar su recuperación.

El mineral del cual se extrae el molibdeno es la molibdenita (MoS_2), Mo=59.94%, que es un mineral de color azul grisáceo. Usualmente, la molibdenita en un cuerpo de mineral pórfido de cobre es depositada en un diferente tiempo geológico que la mineralización de cobre y eso se manifiesta en el sentido de que las mineralizaciones de ambos elementos no corresponden a un mismo patrón. Esto provoca variaciones frecuentes en los resultados de recuperación y producción.

APLICACIONES INDUSTRIALES PERÍODO 1994-2006

Aplicación de hidromina como colector de molibdeno

La primera aportación producto de una investigación aplicada en campo fue el descubrimiento e integración de una mezcla de productos químicos afines a la molibdenita, el cual incluyó

hidrocarburos, derivados de xantatos, espumantes y surfactantes. Este producto fue llamado hidromina y se utilizó en la planta durante el período de 1994 hasta principios del 2005. El beneficio real inicial medido fue de 7 unidades adicionales de recuperación de molibdeno llevando la recuperación desde un valor original de 23.20 hasta un 30.20%.

Ampliación de la planta de separación Cu-Mo

La mayor producción de molibdeno obtenida a partir de la aplicación de la Hidromina obligó a ampliar los circuitos de separación Cu-Mo en 1996, colocando 12 celdas de 300 ft³ tipo Denver con aire inducido como el nuevo circuito de flotación primaria y dejando como nueva primera etapa de limpieza las antiguas 16 celdas de 100 ft³ tipo Denver, las cuales eran la flotación primaria. Este aumento de capacidad reflejó una mejoría en la eficiencia de separación Cu-Mo medida en 4.20 unidades de recuperación total de molibdeno para alcanzar un valor final de 34.40%.

Ampliación de la flotación primaria de la Planta Concentradora

Se realizó la ampliación de la flotación primaria de la Planta Concentradora en 1998, extendiendo el tiempo de retención de la pulpa en 5 minutos con la colocación de 40 celdas tipo Wemco de capacidad individual de 1000 ft³. La justificación y selección de las celdas se basó en amplios estudios de muestreos en campo para demostrar la diferencia de mezclado entre las actuales celdas outokumpu de 1350 ft³ y las nuevas celdas Wemco. También se hizo un estudio comparativo entre celdas Wemco de alta capacidad (4500 ft³) contra las tradicionales celdas pequeñas (1000 ft³) definiendo que se obtenía una mayor recuperación con las que finalmente se instalaron. El incremento de recuperación de molibdeno medido con la colocación de las nuevas celdas fue de 8 unidades estableciendo la recuperación total de molibdeno en 42.40%.

Aplicación de modificadores de superficie de base amoniacal

Durante el período 1999-2002 se realizaron extensos estudios para encontrar un modificador de superficie ó un depresor selectivo que permitiera obtener concentrados más limpios y operar con una flotación selectiva. Se descubrió una afinidad sinérgica entre la molibdenita y los compuestos amoniacales. La explicación hipotética para éste fenómeno era que las partículas de molibdenita venían de origen recubiertas de una capa de óxido ó de un material arcillosos, carbonoso (nunca se identificó a detalle) y que esa capa era completamente soluble en el compuesto amoniacal, lo cual generaba una limpieza de partícula y le regresaba a la molibdenita su flotabilidad natural. Esto era muy notorio principalmente en la flotación por columna de flotación donde la eficiencia de flotación de molibdenita normalmente era 50% y con la inclusión del compuesto amoniacal se podían alcanzar valores de 85-90% de eficiencia. De las 5 aplicaciones de los compuestos amoniacales con patente en trámite solamente se continúan aplicando 2 de ellas. En flotación primaria y en limpieza de concentrado, donde se ha bajado el consumo de cal con el uso de éste tipo de compuestos. El beneficio medido por el uso de los compuestos amoniacales fue de 1.50 unidades de recuperación adicional, llegando así a un valor de 43.90. El desuso reciente se debe a que en la planta se ha procesado una mena con mineralización de superficie más limpia.

Cambio del colector de molibdeno

En el año 2005 se realizó una gran cantidad de pruebas de laboratorio para seleccionar un nuevo producto químico como colector de molibdeno y se evaluó a nivel industrial contra la antigua hidromina. Los resultados mostraron que el beneficio por aplicar el nuevo producto eran de 3.51 unidades adicionales de recuperación de molibdeno, llevando la recuperación total hasta 47.41. Desde entonces, éste nuevo colector ha tenido base permanente en la estrategia operativa en la flotación primaria y limpieza de concentrado de la Planta Concentradora y al final también en la Planta de Separación mezclado con otro.

Aplicación de colector y espumante en las etapas agotativas de la flotación primaria de la Planta Concentradora, 2006

Continuando con los estudios de cinética de flotación primaria de la Planta Concentradora se aplicó el nuevo colector de molibdeno y espumante en las etapas intermedias y agotativas de la flotación primaria para contrarrestar la lenta flotación de las partículas gruesas de molibdeno y se obtuvieron resultados positivos, midiendo el beneficio en 2.10 unidades adicionales de recuperación de molibdeno para llegar a un total de 49.51%. Junto con la aplicación de los reactivos en estas etapas de flotación también coincidió con el cambio de la química del espumante para sostener la compatibilidad de productos, un beneficio extra fue la reducción del consumo de espumante en 5.92 g/ton respecto al anterior producto sin deterioro metalúrgico y con una notoria mejoría en la estabilidad de la cama de espuma para favorecer la flotación de los especímenes minerales valiosos de cobre y molibdeno.

Aplicación del sistema dual en la planta de separación Cu-Mo (PAS y NaSH)

La mayor presencia de Cobre como Calcopirita en el mineral nos obligó a buscar el procedimiento apropiado para la separación Cu-Mo que nos permitiera incrementar la eficiencia de separación y obtener producción de concentrado de Molibdeno con los estándares de calidad requerida, ya que con el proceso estándar no era posible obtenerlos. El nuevo proceso seleccionado fue utilizando el hidrosulfuro de sodio (NaSH) como el agente depresor principal, inicialmente se evaluó en el circuito de separación completo.

Se aplicó el proceso de NaSH en toda la Planta durante los meses de agosto y septiembre de 2006. El proceso siempre fue inestable debido principalmente a las grandes cantidades de NaSH empleadas, haciendo prácticamente imposible el abastecimiento del producto de parte del proveedor para mantener operando la planta de manera continua. Los paros de planta arrojaron pérdidas de Molibdeno y dieron un saldo negativo en su eficiencia. Cuando irremediamente se tuvo que frenar el proceso con NaSH y obligadamente regresamos al de ferrocianuro de sodio para evitar más pérdidas, se encontró que podíamos tener un proceso híbrido. Aplicando el ferrocianuro de sodio (PAS) en la flotación primaria y limitando el uso del NaSH en limpiadoras. No teníamos conocimiento de la existencia en el mundo de una aplicación semejante para este tipo de plantas.

La experiencia ya nos había mostrado que era condicionante incluir una etapa de lavado y espesamiento entre el proceso PAS y el proceso NaSH debido a la incompatibilidad de ambos productos. Además de que dicha etapa intermedia le daría estabilidad a la etapa de flotación con NaSH en cuanto a la densidad de pulpa se refiere. Los resultados de ésta combinación fueron de 88.46% de eficiencia para menas con casi un 90% de Cu como calcopirita cuando inicialmente el proceso por PAS estaba siendo descontinuado por obtener eficiencias muy bajas, con valores de 71.72% para una presencia de Cu como Calcopirita mayor a 75%. De allí se definió la estrategia operativa apropiada, donde el proceso con NaSH debe utilizarse para menas con valores de cobre como calcopirita mayor al 75% en tanto que para las menas con valores inferiores a 75% se debe utilizar el PAS.

Con el proceso combinado se redujo la cantidad de NaSH consumida hasta a una tercera parte de su consumo en solitario desde 25 kg/Tms hasta 9 kg/Tms de concentrado procesado y el PAS se incrementó desde 1.43 kg/Tms hasta 4 kg/Tms de concentrado en el sistema dual, siendo el consumo actual. La ventaja de éste proceso es que permite trabajar minerales con un amplio rango de Cobre como Calcopirita y con eficiencias muy altas. Además de asegurar la calidad de los concentrados de molibdeno para su venta final.

La repercusión en la recuperación total de molibdeno fue de 5.20 unidades adicionales para llegar a un valor de 54.71%.

Estrategia de minado cobre equivalente y mejor calidad de materia prima a procesos, baja presencia de óxidos

Las leyes de cobre en los orígenes de la explotación del yacimiento eran con valores desde 0.60 a 0.80%, actualmente, después de 30 años se encuentran valores menores a 0.40% y diseminados, de manera que la vida media de la mina a la misma velocidad de explotación es de 4 a 6 años. Sin embargo, a medida que se ha avanzado en su explotación, se han encontrado grandes volúmenes de mineral con leyes de molibdeno superiores a 0.050% con una mineralización diferente a la del cobre. Esta separación de origen, respecto al cobre, plantea la disyuntiva de seguir explotando por cobre y dejar intocable el molibdeno con una expectativa de vida muy corta ó bien el combinar de manera racionalizada tanto el cobre como el molibdeno, aunque ello implique bajar aún más los valores de cobre enviados a la Planta Concentradora, por incrementar los de molibdeno. La sustitución planeada de molibdeno por valores de Cobre conduce a una extensión de la vida de la Mina hasta 40 años adicionales sin reducción del beneficio neto que actualmente se obtiene. Desde octubre 2006 se minó bajo éste concepto en el nivel industrial.

Cobre equivalente se refiere a la estrategia de explotación considerando el valor económico de incrementar la cantidad de molibdeno en el mineral para reemplazar valores económicos aportados por mayores leyes de cobre.

La estadística histórica nos ha mostrado que existe una correlación importante entre los valores de molibdeno en alimentación a flotación y su propia recuperación, siendo mayores los valores de recuperación cuando los valores de cabeza son más altos. La estrategia de minado como cobre equivalente establece un incremento de la cantidad de molibdeno enviado a los procesos.

Otra parte fundamental de la estrategia de minado como cobre equivalente va acompañado de una selectividad en la elección de materia prima para los procesos. Adaptarse a las características naturales del yacimiento para evitar el obligar a procesar una alta ley de cobre acompañada de minerales oxidados y en cambio decidir la sustitución de esa falta de ley de cobre con molibdeno y con mineral con alto % de sulfuros de cobre.

Estos dos factores contribuyeron a un aumento de recuperación total en 2.15 unidades, para alcanzar un 56.86%, cifra récord en ese tiempo.

MODIFICACION A ESTRATEGIAS OPERATIVAS Y DE PRODUCCION, 2007-2008

Aplicación de mezcla entre colector molibdeno y espumante en la flotación de la Planta de Separación Cu-Mo

En el proceso de separación Cu-Mo se introdujo un colector de molibdeno del tipo ligero, realizando una mezcla de productos entre el propio colector de molibdeno y el espumante existentes en planta concentradora; manejando proporciones variantes de acuerdo a la conducta metalúrgica del mineral y con observación directa en campo con la condición de cama de espuma deseada. Esta herramienta permitió incrementar la eficiencia de la Planta de Separación desde un valor de 88.46% que se había alcanzado con el sistema dual de PAS y NaSH hasta valores de 94%. El cuidado que debe tenerse es evitar flotar cantidades excesivas de impurezas que impidan alcanzar la calidad de concentrado final requerido para venta. Ese control se adquiere con la mezcla en proporción apropiada entre los reactivos que se incluyen. Esta aplicación significó 2.05 unidades más de recuperación para obtener un 58.91% de recuperación total de molibdeno.

Aplicación de mezcla entre colector molibdeno y espumante en la flotación agotativa de limpieza de la Planta de Concentradora

Con el mismo concepto del inciso anterior, referente al colector de molibdeno tipo ligero, se llevó la aplicación a la flotación agotativa del circuito de limpieza en la Planta Concentradora. Los resultados positivos fueron inmediatos y ello se reflejó en 1.09 unidades adicionales de recuperación total de molibdeno para alcanzar la meta del 60%.

Producción de concentrado de molibdeno con menor calidad

El concentrado de molibdeno producido por La Caridad tenía la característica de ser de máxima calidad de los concentrados existentes en el mercado con valores de 57% a 58% Mo y con la menor cantidad de impurezas de cobre, plomo, arsénico, etc. Obtener un concentrado con esa calidad significaba una barrera para su producción al provocar una recirculación excesiva de productos intermedios y desfavoreciendo a la recuperación. La estrategia de reducir el requerimiento de calidad hasta un valor de 52-54% Mo en el concentrado final liberó el circuito de flotación y permitió normalizar la producción e incrementar la recuperación. La eficiencia de la Planta de Separación alcanzó la cifra récord de 97% y la recuperación total de molibdeno llegó a 61%.

Producción de concentrado de cobre con menor calidad

La misma estrategia se aplicó con la calidad de concentrado de cobre reduciéndola desde 28% hasta un 23% en la Planta Concentradora. Este evento permitió normalizar derrames en el circuito de limpieza modificando camas de espuma que permitieran la salida de la molibdenita, además de reducir la adición de cal para favorecer las condiciones de flotación de molibdeno. El beneficio medido por ésta estrategia fue de 1.09 unidades adicionales de recuperación, situando el valor total en 62.09%.

FLOTACIÓN AGRESIVA EN PRIMERAS CELDAS DE LA FLOTACIÓN PRIMARIA DE PLANTA CONCENTRADORA, 2009

La flotación agresiva consiste en dar mayor derrame desde las primeras celdas de flotación primaria manteniendo camas de espuma bajas con adición de espumante en caso de requerirse. También incluye un incremento en la adición de colector de molibdeno al molino debido a que en este punto existirán las siguientes condiciones:

- Mayor tiempo de acondicionamiento.
- Mejor mezclado del reactivo en contacto con las partículas de mineral.
- En el molino se forman las caras nuevas en las partículas de molibdeno al estar siendo liberadas y es el momento en que la probabilidad de colectarlo es mayor.

Para poder cumplir con la condición de Flotación Agresiva sin disminuir la calidad del concentrado de Cobre, fue necesario mantener un pH de 11.00 en flotación primaria, debido a que en este valor de pH el proceso se vuelve más selectivo. La aplicación de estas dos estrategias operativas permitió incrementar la recuperación de molibdeno hasta 4.65 unidades llegando a 66.74%.

Finalmente se logró romper el paradigma referente a que un uso excesivo de cal actúa en decremento de la recuperación de molibdeno, debido a que esto depende de las características mineralógicas del molibdeno que llegue a Planta Concentradora.