



Dirección de Estudios y Políticas Públicas

**MERCADO INTERNACIONAL
DEL MOLIBDENO Y LA
PRODUCCION EN CHILE**

(DE/04/2011)

Registro de Propiedad Intelectual
© N° 210654

RESUMEN EJECUTIVO

El molibdeno se coproduce en Chile en el contexto de la minería del cobre, constituyendo el segundo producto minero de exportación, representando el año 2010 cerca del 4% del valor total de las exportaciones mineras. Por su creciente relevancia para la industria minera y el país, la Dirección de Estudios y Políticas Públicas de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) desarrolla una línea de análisis y seguimiento del mercado internacional del molibdeno y de las perspectivas de la producción nacional.

De los antecedentes consignados en el presente informe, destacan las siguientes conclusiones:

Reservas y Reservas Base

Las reservas mundiales no han sufrido variaciones relevantes durante los últimos años. La información publicada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos muestra que China, Estados Unidos y Chile concentran del orden del 80% de las reservas mundiales, que en 2010 alcanzarían a 9,8 millones de toneladas métricas finas (TMF).

Producción de Molibdeno de Mina

La producción mundial en 2010 fue de 241,9 mil TMF, con un crecimiento de 9,3% respecto del año anterior. A partir de 2006, China incrementó fuertemente la producción de molibdeno, país que generó cerca del 40% de la producción mundial durante el año 2010, superando a EE.UU que mantuvo el liderazgo hasta el año 2006.

Demanda de Molibdeno

El consumo de molibdeno sigue fuertemente ligado a la industria del acero, específicamente a la industria de aceros especiales. En 2010, la demanda mundial fue de 241,2 mil TMF, con un incremento anual de más de 16%. Para 2011 y 2012 se proyectan aumentos más moderados, pero aún a tasas por sobre el 5% anual.

La demanda prevista para el 2011 es de 258 mil TMF, equivalente a un aumento de 6,5% respecto de 2010. Para 2012 la demanda crecería 5,9% llegando a 272 mil TMF. China continúa siendo el principal demandante de molibdeno, en 2010 representó el 28% del consumo mundial y se proyecta para el 2011 y 2012 una participación de 30% y 31%, respectivamente.

Balance del Mercado

La proyección del balance mundial del mercado de molibdeno muestra un leve superávit para 2011 (+0,6%) y un ligero déficit para 2012 (-0,3%). Cabe hacer presente que luego de superado los mayores efectos de la crisis sub-prime del año 2008, se observa una fuerte reducción de los excesos de oferta. En 2009 el superávit fue de 7,2%, el cual se redujo fuertemente en 2010, cuando se situó en 0,9%.

Precio del Molibdeno

El precio nominal promedio del año 2010 fue de 15,6 US\$/lb, un 43% superior al promedio del año 2009. Este crecimiento reflejó las condiciones de recuperación de la economía mundial y por consiguiente, en la demanda por molibdeno.

Para los años 2011 y 2012 se prevé que el precio se ubique en el rango entre 11 US\$/lb y 16 US\$/lb, con un valor promedio de 13,5 US\$/lb¹.

Elaboración de productos de Molibdeno

El destino final en el uso de molibdeno es principalmente el acero inoxidable, con contenidos de hasta un 6%, usado en la construcción, piezas de aviones, de automóviles, súper aleaciones en base níquel para catalizadores en la industria petrolera. Usado también en la industria aeroespacial, automotriz, herramientas quirúrgicas, fabricación de ampollitas (filamento), pantallas de LCD, etc.

Pues bien, para llegar a ser apto para su uso, primeramente el concentrado sulfuro de Mo debe ser transformado, ó en menores instancias debe ser refinado, para posteriormente producir productos comúnmente usados para la fabricación de aceros y otros, tales como trióxido de Mo técnico y puro, ferro molibdeno, y sales de molibdeno.

Por esta razón, este informe se complementa con antecedentes sobre la elaboración industrial de productos de molibdeno para su consumo final, lo que se incluye en el anexo respectivo.

¹ El precio corresponde a la cotización MW Dealer Oxide publicada por Platts y que está referida al molibdeno contenido en óxidos grado técnico con un mínimo de 57% molibdeno y un máximo de 0,5% de cobre y 0,05 % de plomo, CIF Japón.

INDICE

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN EJECUTIVO | |
| I. INTRODUCCIÓN | 1. |
| II. MERCADO INTERNACIONAL DEL MOLIBDENO | 2. |
| 2.1 Reservas y reservas base | 2. |
| 2.2 Producción mundial de molibdeno de mina | 3. |
| 2.3 Cartera de Principales Proyectos | 5. |
| 2.4 Procesamiento del molibdeno | 6. |
| 2.5 Consumo mundial de molibdeno | 7. |
| 2.6 Análisis de precios | 8. |
| 2.7 Comercio internacional del molibdeno entre China y occidente | 11. |
| III. BALANCE DEL MERCADO Y PROYECCIÓN DE PRECIOS PARA LOS AÑOS 2011 y 2012 | 13. |
| IV. PRODUCCIÓN DE MOLIBDENO EN CHILE | 15. |
| 4.1 Producción minera de molibdenita | 15. |
| 4.2 Productos industriales de molibdeno | 16. |
| 4.3 Principales productos de molibdeno exportado | 17. |
| ANEXO: ELABORACION DE PRODUCTOS DE MOLIBDENO | 19. |

I. INTRODUCCIÓN

El comportamiento del mercado y la tendencia del precio del molibdeno es un elemento de análisis de creciente importancia para la minería nacional, dada su incidencia en las estructuras de costos de las principales empresas mineras del país y en los ingresos fiscales. En el año 2010 el molibdeno habría generado US\$ 1.628 millones en exportaciones, equivalente al 4% de las exportaciones mineras de Chile, siendo el segundo producto minero de exportación.

Con propósito de contribuir a la difusión de información y apoyar la toma de decisiones de la autoridad pública y de las empresas del sector, la Dirección de Estudios y Políticas Públicas de la Comisión Chilena del Cobre desarrolla una línea de análisis y seguimiento permanente sobre mercados nacionales e internacionales de metales distintos al cobre, entre ellos, el molibdeno el cual se resume en el presente documento, que actualiza las cifras del sector y presenta las perspectivas para los años 2011 y 2012.

El molibdeno es un metal que tiene una participación relativamente baja en el mercado de los metales, en conjunto representa aproximadamente el 1,5% del mercado mundial del cobre, se transa en bolsa sólo a partir del año 2010 y la información es limitada en comparación a la generada en el caso de los metales base o de metales preciosos.

A partir de la información disponible, en la sección 2 de este documento se analizan los aspectos fundamentales del mercado, tales como reservas mineras, producción de mina, consumo mundial y series de precios. En la sección 3 se hace referencia al balance del mercado mundial del molibdeno y a las perspectivas de precio que éste genera para el año 2011. En la sección 4 y final del documento, se detalla la producción chilena de molibdeno de mina y se muestra la evolución del volumen exportado por las compañías mineras y las empresas procesadoras en los últimos años.

Un detalle respecto de la elaboración industrial de productos de molibdeno de consumo final se incluye en el Anexo correspondiente.

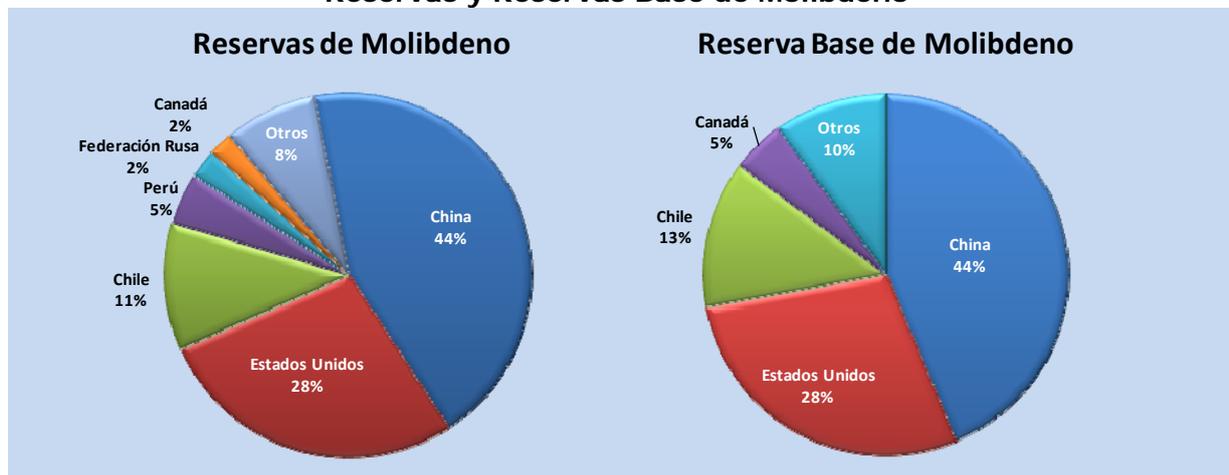
II. MERCADO INTERNACIONAL DEL MOLIBDENO

2.1 Reservas y Reservas Base

De acuerdo al United States Geological Survey (USGS) las reservas² de molibdeno en el mundo ascienden a 9,8 millones de toneladas métricas. China cuenta con 4,3 millones de toneladas (38%), Estados Unidos con 2,7 millones (31%) y Chile con 1,1 millones (13%), como se destaca en el Gráfico N°1.

Las reservas base³ de molibdeno ascienden a 19 millones de toneladas métricas, de las cuales China posee 8,3 millones (44%), Estados Unidos con 5,4 millones (28%) y Chile con 2,5 millones (13%).

Gráfico N° 1
Reservas y Reservas Base de Molibdeno



Fuente: Cochilco, sobre la base de cifras de USGS, junio 2011 (Reservas) y enero 2010 (Reservas Base).

Cabe señalar que las reservas se obtienen al evaluar los recursos de molibdeno existentes a los precios históricos de largo plazo (entre 5 US\$/lb y 7,5 US\$/lb), los cuales son sustancialmente más bajos que los precios promedio de los últimos 5 años (23,5 US\$/lb), y menores que los precios estimados actualmente de largo plazo (entre 12 a 15 US\$/lb).

Se prevé que precios de largo plazo por sobre los estimados con antelación al último ciclo de precios altos, generan incentivos para que las compañías mejoren la información geológica de sus recursos mineros. De hecho, en los

² Reserva: abarca los recursos que cuentan con suficiente información geológica y económica para ser considerados explotables en forma rentable con la tecnología y las condiciones de mercado actuales.

³ Reserva base: abarca los conceptos de reserva más aquellos recursos identificados de menor "calidad geológica" que podrían ser extraídos en el futuro, dependiendo de factores ingenieriles, económicos y medioambientales. El USGS entregó información de reservas base para los distintos minerales hasta el año 2009 (reportes de enero de 2010).

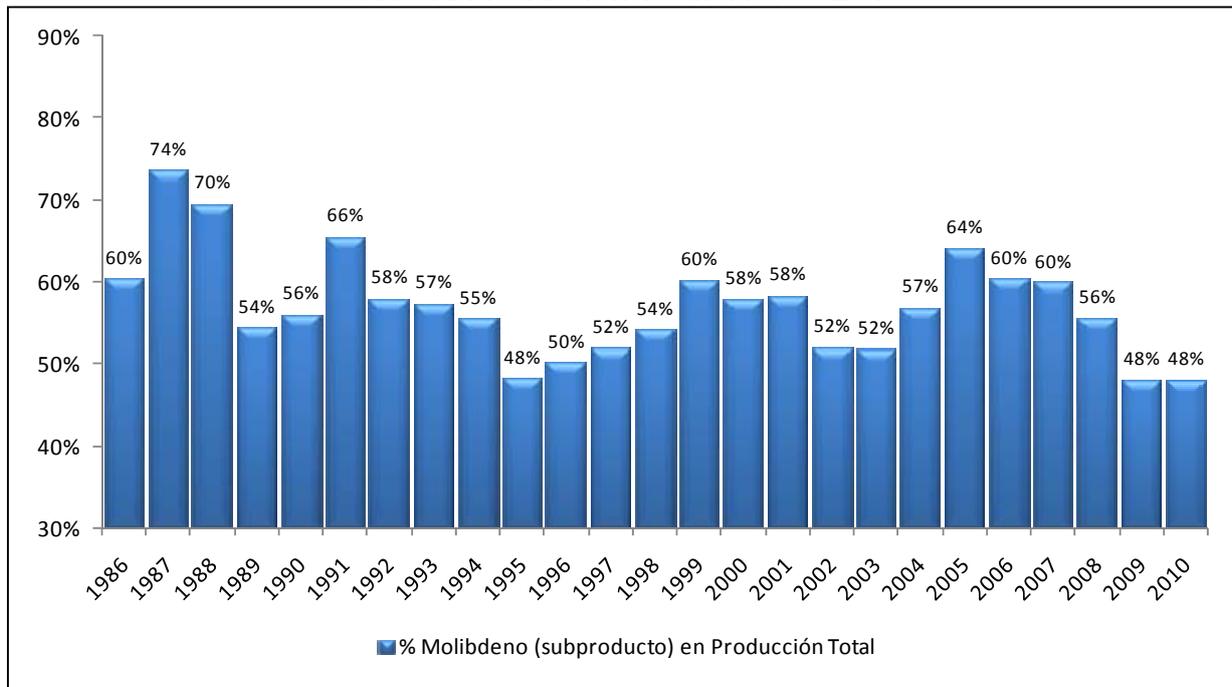
últimos años ha habido un creciente número de empresas Junior dedicadas a la búsqueda de nuevos yacimientos de molibdeno y se han reportado descubrimientos recientes en yacimientos de cobre.

2.2 Producción Mundial de Molibdeno de Mina

La producción de molibdeno de mina se obtiene de dos fuentes:

- Producción de minas primarias, es decir operaciones mineras donde el molibdeno es el producto minero principal, y
- Como subproducto, donde el molibdeno es un metal secundario, el cual está presente principalmente en yacimientos que explotan cobre.

Gráfico N° 2
% Participación de la Producción de Molibdeno como Subproducto
sobre la Producción Total 1986 – 2010



Fuente: Cesco (2010), sobre la base de CMP Group Commodities Research.

En el Gráfico N°2 se observa la producción de molibdeno como subproducto reaccionó rápidamente con el ciclo al alza de los commodities (a partir de 2003), con lo que aumentó su participación respecto al total de molibdeno de mina producido en el mundo. Por su parte, la producción primaria de molibdeno mostró un desfase respecto a la tendencia de precio, aumentando su producción y participación en el total producido sólo a partir de 2006. En este último movimiento tuvo una gran relevancia el incremento de la producción primaria en operaciones de pequeña escala en China, país que

obtiene la mayor parte de su producción de molibdeno de dicha fuente (ver Gráfico N°3).

En el corto plazo las operaciones que generan molibdeno como subproducto presentan mayor flexibilidad, ya que pueden aumentar producción modificando sus planes mineros para explotar sectores más ricos en molibdeno o mejorar la recuperación, sin expandir capacidad.

Las empresas de producción primaria tienen procesos y planificación optimizada, por lo que en el corto plazo carecen de flexibilidad para aumentar producción. En el mediano y largo plazo, las operaciones de producción primaria pueden expandir capacidad en función de los recursos mineros o iniciar nuevas faenas productivas. Ello no ocurre en procesos que producen molibdeno como subproducto, ya que están limitadas por sus planes de explotación y capacidad de procesamiento del mineral primario.

Considerando la mayor flexibilidad de producción de las minas primarias en el mediano y largo plazo, así como las expectativas de precios promedios por sobre los registrados en el boom de commodities de los años 2004 a 2008, se prevé que la tendencia de crecimiento de la participación de producción primaria de molibdeno se consolide en los próximos años.

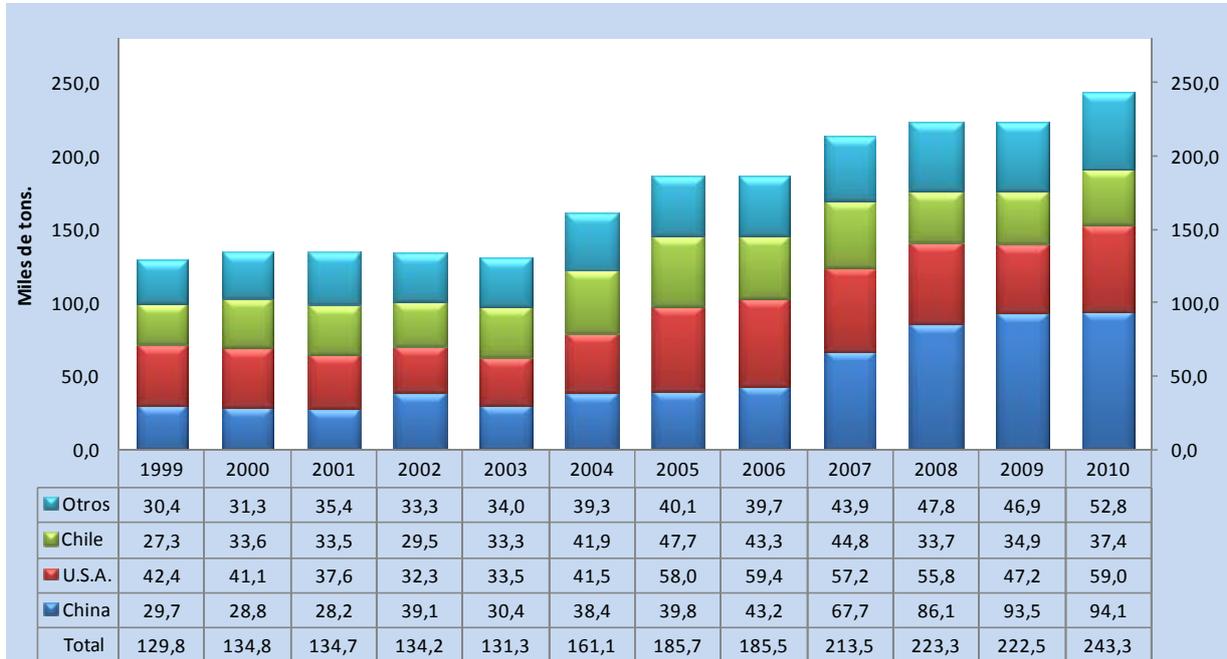
El Gráfico N°3 se observa que en el año 2007 China se convirtió en el primer productor mundial de molibdeno de mina con 31,7% de la producción mundial, desplazando a Estados Unidos al segundo lugar (26,8%) y Chile al tercero (20,9%). En 2008 China aumentó la producción en 27,2%, mientras que Chile la redujo en 24,7%.

En 2009 China continuó creciendo pero a un ritmo más moderado (+8,6%). Por el contrario, Estados Unidos redujo la producción debido a recortes y cierres de operaciones tanto en las minas primarias de molibdeno como en las operaciones de cobre de alto costo (-15,3%).

En 2010 la producción de China se mantuvo estable producto de las medidas del gobierno para racionalizar la industria productora, cerrando operaciones de menor envergadura y mayores costos, consolidando el sector de empresas más competitivas en el largo plazo. El crecimiento de 8,7% de la producción mundial de 2010 estuvo explicado principalmente por la recuperación de Estados Unidos que aportó el 64% de la mayor producción y Perú el 24,2%.

De esta forma, en 2010 China participa del 38,7% de la producción mundial de mina, Estados Unidos del 24,3% y Chile del 15,4%. La suma de la producción de los tres países representó aproximadamente el 80% de la producción de mina a nivel mundial, dando cuenta de un mercado con alto grado de concentración geográfica.

Gráfico N° 3
Producción mundial de molibdeno de mina por país (Miles Ton)
Período 2001-2010



Fuente: Cochilco, sobre la base de WBMS, información pública de empresas y de IMoA, junio 2011.

2.3 Cartera de Principales Proyectos

La Tabla N° 1 detalla la cartera de los principales proyectos para incrementar la producción de molibdeno de mina. Ello, sin considerar las expansiones en operaciones de cobre que actualmente están en producción, ni los proyectos menores o en etapas tempranas de desarrollo.

Cabe destacar que las cifras de producción e inversión estimadas, así como el año de inicio de operación corresponden a información pública de las empresas, que en general no han tenido modificaciones significativas en cuanto a montos de inversión y capacidad de producción en los últimos tres años, alterándose sólo los plazos de entrada en operación.

A la fecha, destacan las noticias del financiamiento de dos de los principales proyectos, Mt. Hope de General Moly y Spinifex Ridge de Moly Mines, previéndose la materialización en los próximos 3 años.

Tabla N° 1
Principales proyectos de producción de molibdeno de mina

Proyectos Producción de Molibdeno como Subproducto

| Mina | Ubicación | Propiedad | Producción (TMF) | Inversión (MU\$) | Inicio Operación |
|--------------|-----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| Mineral Park | EE.UU. | Mercator Minerals | 4.750 | 227 | 2009-2011 |
| Magistral | Perú | Inca Resources | 2.860 | 400 | s/i |
| Rosemont | EE.UU. | Augusta Resources | 2.050 | 900 | s/i |
| Total | | | 9.660 | 1.527 | |

Proyectos Producción Primaria de Molibdeno

| Mina | Ubicación | Propiedad | Producción (TMF) | Inversión (MU\$) | Inicio Operación |
|------------------|-------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| Mt Hope | EE.UU. | General Moly | 17.250 | 850 | 2012 |
| Climax | EE.UU. | Freeport McMoran | 13.500 | 500 | 2012 |
| Spinifex Project | Australia | Moly Mines | 10.900 | 1.000 | 2013 |
| Malmberg | Groenlandia | Quadra FNX | 10.000 | 600 | s/i- |
| Ruby Creek | Canadá | Adanac Molybdenum | 5.000 | 550 | s/i- |
| Liberty | EE.UU. | General Moly | 7.000 | 490 | s/i- |
| Total | | | 63.650 | 2.991 | |

Fuente: Cochilco, a partir de información pública de las empresas mineras, julio 2011.

En la Tabla anterior se observa que los proyectos que producen molibdeno como subproducto no tienen una fecha estimada para iniciar la operación, a excepción de Mineral Park, el único proyecto que ya entró en operación, pero proyecta una ampliación de capacidad productiva durante el año 2011. Esto se debe a que la mayoría se encuentran en etapa de prefactibilidad o factibilidad, por lo que todavía es necesario desarrollar etapas adicionales de evaluación, antes de contar con un cronograma definitivo de construcción y puesta en marcha. Situación que además está condicionada a la evolución del mercado del cobre. En similar situación se encuentran los últimos tres proyectos de producción primaria (Malmberg, Ruby Creek y Liberty).

Los proyectos Mt. Hope, Climax y Spinifex han cumplido todas las etapas de evaluación y cuentan con un plan específico de desarrollo. Sin embargo, su materialización dependerá de la proyección futura del mercado del molibdeno y de las condiciones del financiamiento que les resta por conseguir.

2.4 Procesamiento del Molibdeno

El destino final del molibdeno es principalmente el acero inoxidable, con contenidos de hasta un 6% de Mo, usado en la construcción, piezas de aviones, de automóviles, súper aleaciones en base níquel para catalizadores en la industria petrolera, las industrias aeroespacial, automotriz, de herramientas quirúrgicas, en la fabricación de ampollitas (filamento), pantallas de LCD, etc.

Pues bien, para llegar a ser apto para su uso, primeramente el producto mineral (Molibdenita) debe ser transformado, ó en menores instancias debe

ser refinado, para posteriormente producir productos comúnmente usados para la fabricación de aceros y otros, tales como trióxido de Mo técnico y puro, ferro molibdeno, y sales de molibdeno.

En el Anexo se describe el procesamiento para la elaboración de productos industriales de molibdeno a partir de la molibdenita, sea primaria o secundaria.

2.5 Consumo Mundial de Molibdeno

El 77% del consumo de molibdeno se registra en la industria del acero, tales como: herramientas e instrumentos de alto rendimiento (10%), aceros inoxidables (26%) y aceros para ingeniería y construcción (34%) y aceros comunes (7%). Otros usos del molibdeno son como catalizador en la industria química, como lubricante (molibdeno metálico) y para la fabricación de súper-aleaciones.

El Gráfico N°4 desglosa el consumo de molibdeno por su uso inicial.

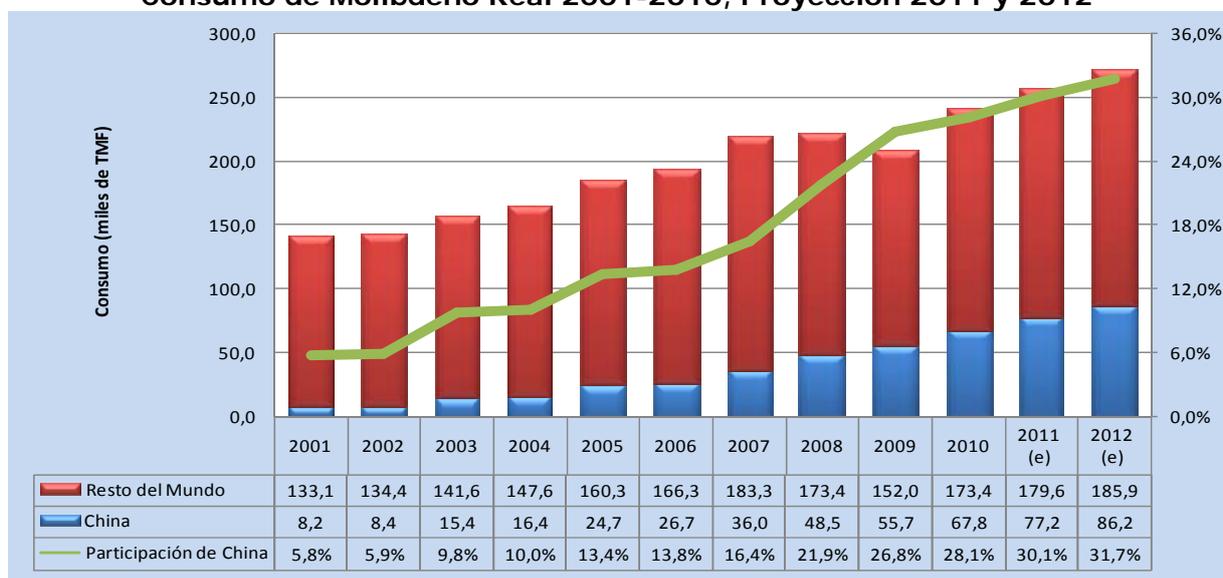
Gráfico N° 4
Consumo Estimado de Molibdeno por Uso Inicial



Fuente: Cochilco, sobre la base de información de IMoA publicada por Platts, junio 2011.

El crecimiento del consumo en los últimos años esta explicado principalmente por China, crecimiento que se ha visto en parte compensado por el menor consumo de Europa Occidental, Estados Unidos y Japón. Esta situación también es extensiva a otros commodities, y tiene que ver con el fuerte proceso de industrialización del gigante asiático y la relocalización de la producción industrial desde países desarrollados hacia China. En el Gráfico N°5 se observa la evolución del consumo mundial, la participación China y la proyección de consumo para los años 2011 y 2012.

Gráfico N°5
Consumo de Molibdeno Real 2001-2010, Proyección 2011 y 2012



Fuente: Cochilco, sobre la base de información pública de Reuters, IMoA y otros, junio 2011.

En el periodo 1990-2001 China representaba entre 6% y 7% del consumo mundial de molibdeno. A partir del 2002 aceleró la tasa de consumo, situándose en 2010 por sobre el 28% de participación a nivel global. Este comportamiento estuvo asociado, principalmente, a la apertura de la economía China y los programas de desarrollo de infraestructura impulsado por el gobierno central.

El alza en el consumo de China se inicia en los años 2003 y 2005 con aumento de 83% y 51%, respectivamente. No obstante, que a nivel global el consumo de molibdeno se redujo 6,4% en 2009, China mostró un crecimiento cercano al 15%, lo que demuestra la fortaleza de la demanda de la economía asiática, que mantiene una tasa de crecimiento promedio del Producto Interno Bruto (PIB) en torno al 10% anual, siendo un demandante relevante no sólo para los principales commodities, sino que para otros mercados minerales de menor tamaño.

2.6 Análisis de Precios

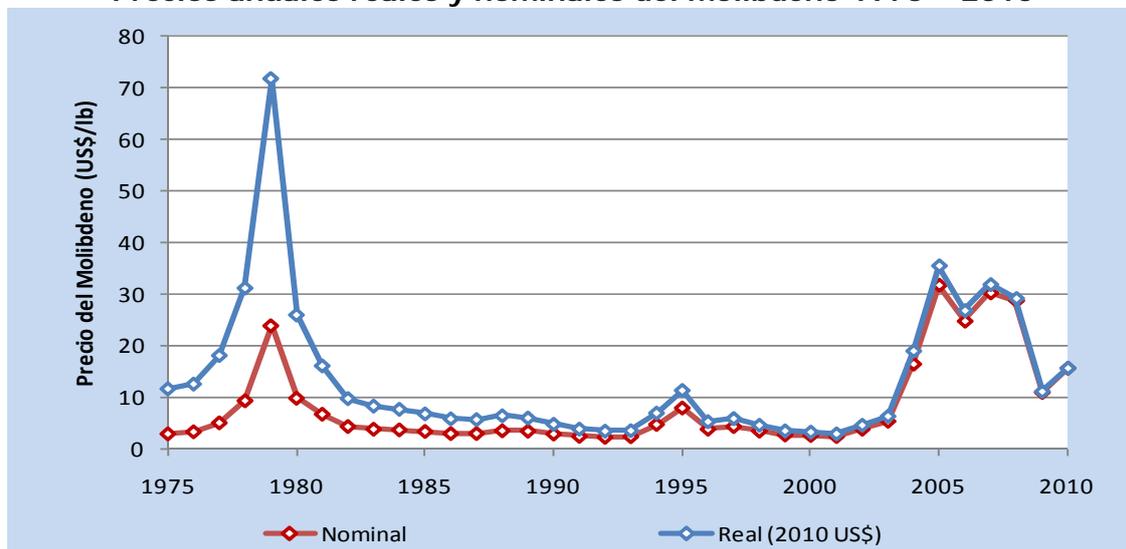
Debido a que el molibdeno inició transacciones bursátiles en febrero de 2010, y además los volúmenes transados representan un porcentaje poco significativo del mercado global de molibdeno, el precio de referencia para fijar las condiciones contractuales entre productores, traders y

consumidores, corresponde al precio del óxido de molibdeno que publica semanalmente Platts Metals Week⁴.

Este precio corresponde al valor promedio ponderado por volúmenes de material y valor monetario transado en el período de una semana en los mercados de Europa, Estados Unidos y Japón. No considera los volúmenes transados en China debido a restricciones a la comercialización implementadas por el país asiático, políticas que han generado dos mercados, pero distintos.

Sin embargo, existen precios de referencia para el mercado chino que sirven de comparación y para el análisis de los flujos de productos desde y hacia China.

Gráfico N° 6
Precios anuales reales y nominales del molibdeno 1975 – 2010



Fuente: Cochilco, sobre la base de Platts. MW Dealer Oxide, junio 2011. El precio corresponde a óxidos de molibdeno con un contenido mínimo de 57% de Mo.

Del Gráfico N°6 muestra que en los últimos 35 años el precio promedio nominal anual del molibdeno ha oscilado entre 2 y 5 US\$/lb. Excepcionalmente se observaron precios a fines de la década de 1970 y principios de la década de 1980 entre 6,7 y 24 US\$/lb, respectivamente. En el año 1995 fue de 7,9 US\$/lb y en el período 2003 a 2008 se ubicó entre 5,3 y 31,7 US\$/lb, y en 2010 se ubicó en 15,6 US\$/lb.

Cabe recordar que a fines de la década del setenta se suscitó una serie de eventos que contribuyeron al alza y luego a la brusca caída del precio. En

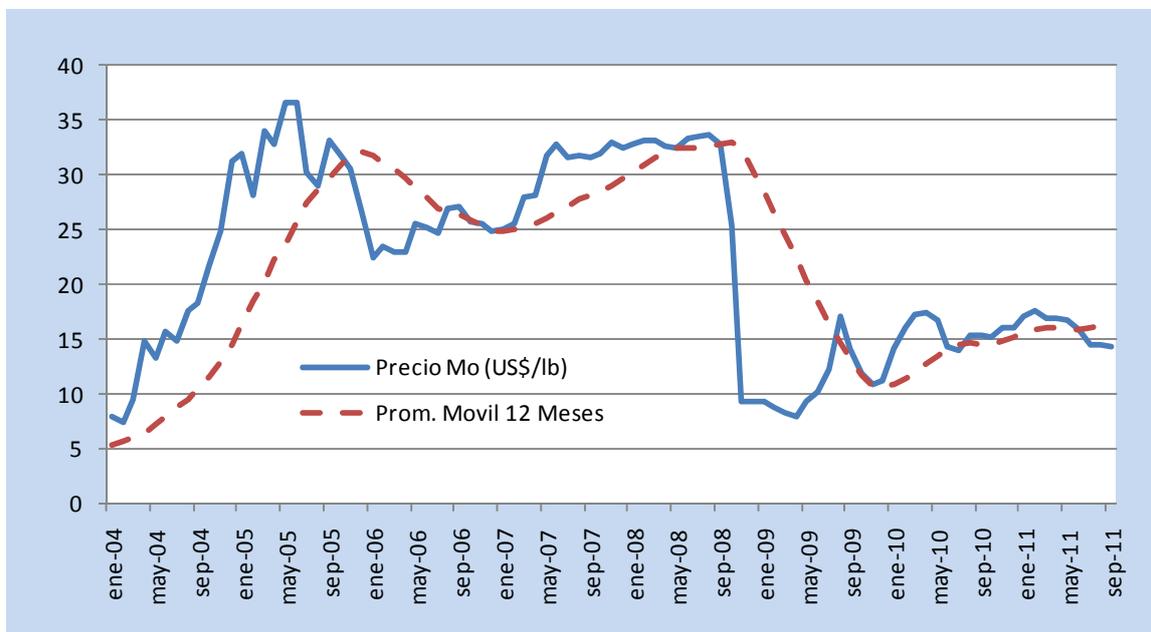
⁴ El precio corresponde a la cotización MW Dealer Oxide publicada por Platts y que está referida al molibdeno contenido en óxidos grado técnico con un mínimo de 57% molibdeno y un máximo de 0,5% de cobre y 0,05 % de plomo, CIF Japón.

esos años, se produjo una fuerte demanda de aceros especiales resistentes a la corrosión y a la temperatura, producto de un período de crecimiento económico importante y la búsqueda de recursos de hidrocarburos líquidos y gaseosos en las economías desarrolladas, proceso asociado a la crisis del petróleo.

En este escenario, se generó un incremento importante en la demanda de petróleo, materias primas y otros productos, provocando de paso un proceso inflacionario que terminó con el ciclo de expansión económica y redujo la demanda por metales. Además, el molibdeno se vio afectado por la sustitución por vanadio que efectuaron algunos productores de acero, dada la mejor relación calidad/precio.

Por otra parte, el breve episodio de peaks de precios en 1995 se habría originado por una huelga en la mina primaria de molibdeno Endako, ubicada en Canadá, que en esos años producía un porcentaje relevante de la producción mundial. Al analizar los precios reales y eliminar los episodios excepcionales de precios altos, se observa un comportamiento de largo plazo bastante estable con una leve tendencia decreciente, dentro de una banda que oscila entre 3 US\$/lb y 7 US\$/lb.

Gráfico N° 7
Precios mensuales nominales del molibdeno enero 2003 – septiembre 2011



Fuente: Cochilco, sobre la base de Platts. MW Dealer Oxide, septiembre 2011.

El Gráfico N° 7 se observa la evolución del precio del molibdeno en los últimos cinco años, su abrupta caída durante el último trimestre de 2008 y la

lenta recuperación a partir de mediados de 2009, a partir de entonces, el precio ha oscilado entre 14 US\$/lb y 17,5 US\$/lb.

El aumento de la demanda por materias primas, destinadas al desarrollo de infraestructura productiva y la generación de productos de exportación de China fue el motor tras el incremento de las cotizaciones de los distintos metales en a partir de 2009. Tal situación se vio potenciada por la incapacidad de la oferta de materias primas para cumplir con las expectativas de crecimiento de la demanda, lo que reforzó el ciclo de alza de precios.

El mercado de molibdeno se ha caracterizado en los últimos años por:

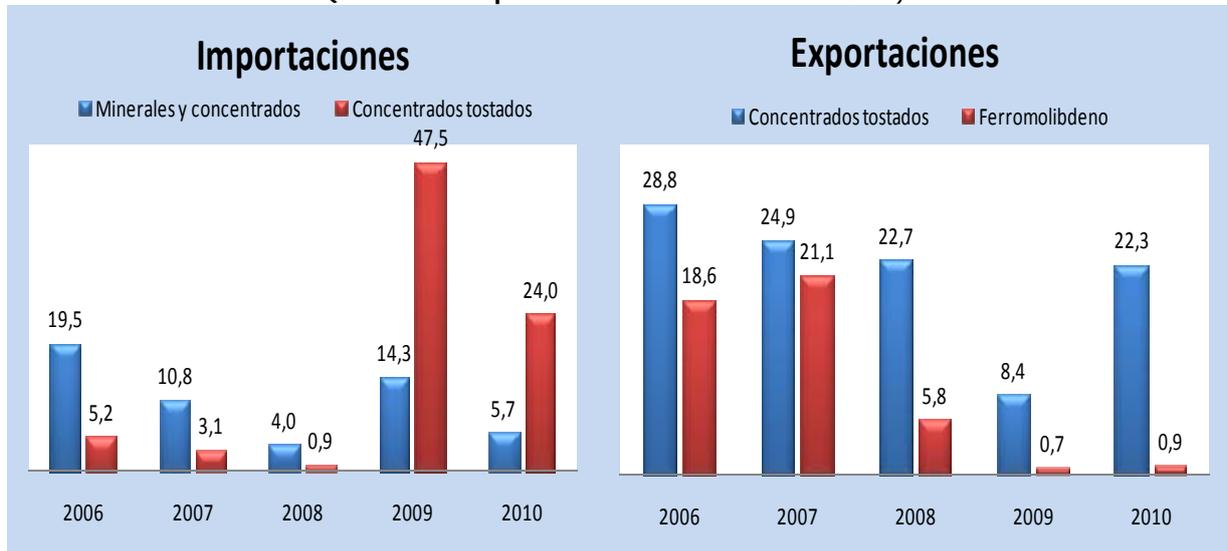
- Crecimiento casi nulo de la producción de molibdeno proveniente de minas occidentales. A excepción de las minas en China, los productores primarios del mundo occidental se han enfrentado al deterioro de las leyes de mineral, lo que ha imposibilitado aumentos de producción.
- Implementación progresiva de tasas arancelarias y fijación de cuotas de exportación por parte del gobierno chino han generado incertidumbre en los principales centros de consumo de molibdeno.
- Demanda robusta en China y los países de la Comunidad de Estados Independientes, compensan la débil demanda de Europa, Japón y Estados Unidos.

2.7 Comercio Internacional de Molibdeno entre China y Occidente

El molibdeno es considerado un material estratégico en la industria del acero y para el desarrollo de infraestructura especializada, ello explica que China adoptara medidas específicas para proteger el sector⁵. En China existe un esfuerzo para desincentivar las exportaciones de molibdeno de bajo valor agregado y la retención de ese molibdeno para generar productos de mayor elaboración, y asegurar el abastecimiento doméstico de la industria de aceros especiales.

⁵ Ver sección 2.5 del informe Mercado Internacional y Minería del Molibdeno en Chile, febrero 2008

Gráfico N° 8
China, Importaciones y Exportación de Molibdeno
Periodo 2006 – 2010
(Cifras de importación en toneladas totales)



Fuente: Cochilco, sobre la base de WMS, enero 2010.

El análisis de las cifras de los últimos cinco años muestra una drástica caída de las exportaciones de China, de más de 70% para los concentrados tostados en 2009 y por sobre 20% si se compara con el año 2010 y casi la total eliminación de las exportaciones de ferromolibdeno.

La situación anterior era, hasta el año 2008, en parte contrarrestada por una reducción significativa de importaciones de molibdeno hacia China. Sin embargo, en los último dos años nuevamente China fue un activo acumulador de productos de molibdeno, especialmente de concentrados tostados.

III. BALANCE DEL MERCADO Y PROYECCIÓN DE PRECIOS PARA LOS AÑOS 2011 Y 2012

A partir de un catastro de las actuales operaciones, de los nuevos proyectos en minas primarias y aquellas que producen molibdeno como subproducto, se ha realizado una estimación del balance mundial del mercado del molibdeno proyectado para los años 2011 y 2012. El resultado se presenta en la Tabla N°2.

Tabla N° 2
Balance del Mercado Mundial del Molibdeno 2008-2012

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 (e) | 2012 (e) |
|--|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Producción Mundial de Molibdeno (TMF) | 223.346 | 222.544 | 243.291 | 258.229 | 271.322 |
| Variación Porcentual (%) | 4.6% | -0.4% | 9.3% | 6.1% | 5.1% |
| Consumo Mundial de Molibdeno (TMF) | 221.901 | 207.679 | 241.193 | 256.810 | 272.069 |
| Variación Porcentual (%) | 1.2% | -6.4% | 16.1% | 6.5% | 5.9% |
| Balance de Mercado (TMF) | 1.445 | 14.865 | 2.098 | 1.419 | -747 |
| Balance como porcentaje del consumo anual (%) | 0.7% | 7.2% | 0.9% | 0.6% | -0.3% |
| Precio (US\$/lb) | 28,7 | 10,9 | 15,6 | 11-16 | 11-16 |

Fuente: Cochilco, a partir de cifras de IMoA, Macquarie Research, UBS y otros, y de acuerdo a cifras de intercambio comercial y a cifras de producción del WBMS.

El balance muestra un leve superávit en 2008 (+0,7% del consumo de ese año), producto de la caída hacia finales del último trimestre consecuencia de la crisis subprime. El mismo efecto se aprecia en el superávit del año 2009 (casi 15 mil TMF, o +7,2% del consumo), que responde netamente a una brusca caída en el consumo, de más de 6% en base anual.

La reducción en el consumo de molibdeno está asociada a los países desarrollados y podría haber sido mayor de no mediar dos factores: la racionalización de la producción en Estados Unidos (tanto en la producción primaria de molibdeno como la asociada a la industria del cobre) y el aumento sostenido del consumo en China.

Durante el año 2010 se redujo fuertemente el superávit situándose tan sólo en 0,9% del consumo de ese año. Este resultado del mayor consumo de China y la recuperación en el consumo del resto de los países, que volverían a mostrar cifras similares a las del año 2008.

La estimación del balance de mercado para el 2011 y 2012 da cuenta de un mercado prácticamente en equilibrio con un superávit marginal y luego un leve déficit (+0,6% y -0,3% medido como porcentaje del consumo anual respectivamente).

En el periodo enero-septiembre de 2011 el precio del molibdeno experimentó una caída de 17,5%. Esto ante las negativas perspectivas de crecimiento de los países desarrollados, consecuencia tanto del sobre-endeudamiento fiscal que afecta a algunas economías de Europa como el debilitamiento del crecimiento en EEUU. Situación que se prevé afecte marginalmente la tasa de crecimiento de China, la cual se ubicaría en torno al 9% en 2011 y 2012.

Las cifras a septiembre del 2011 confirman que China no ha disminuido la exportación de productos de acero (+9,5%), principal uso productivo del molibdeno, así como las importaciones de hierro (11,1%). En este escenario, se proyecta para los años 2011 y 2012 que el precio del molibdeno si bien podría seguir cayendo, este tendría un piso en 11 US\$/lb y un valor máximo de 16 US\$/lb, con una clara tendencia a situarse en la zona media del intervalo en ambos años, es decir en torno a 13,5 US\$/lb.

IV. PRODUCCIÓN DE MOLIBDENO EN CHILE

4.1 Producción Minera de Molibdenita

En el año 2010 la producción chilena de molibdeno de mina en la forma de sulfuro de molibdeno (molibdenita) fue de 37 mil tm de Mo contenido, sobre una producción mundial de mina que se estima cercana a 243 mil tmf.

Tabla N° 3
Producción chilena de molibdeno de mina por empresa (TMF)

| Empresa / Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Codelco | 27.203 | 27.857 | 20.525 | 21.558 | 21.675 |
| Los Pelambres | 9.847 | 10.156 | 7.759 | 7.792 | 8.759 |
| Sur Andes | 2.549 | 2.582 | 2.578 | 2.768 | 1.927 |
| Collahuasi | 3.362 | 4.038 | 2.471 | 2.541 | 4.476 |
| Minera Valle Central | 316 | 278 | 353 | 266 | 348 |
| Total Chile | 43.278 | 44.912 | 33.687 | 34.925 | 37.186 |

Fuente: Cochilco, sobre la base de Anuario, Informe Mensuales de Cochilco y estimaciones.

A nivel de empresas, Codelco fue el principal productor de molibdeno, en 2010 habría generado el 58% de la producción, seguido por Minera Los Pelambres con casi 24%.

Entre los años 2005 y 2006 la producción de molibdeno se redujo en 10%, lo que se explica fundamentalmente por una baja de 26% en la producción de Codelco. En 2007, la producción tuvo un aumento de 3,8%, en línea con fluctuaciones normales en los niveles productivos.

Sin embargo, en 2008 se produjo una baja sustancial, de casi 25% con respecto al año anterior. Esto consecuencia de una fuerte reducción en la producción de Codelco, y en menor medida por bajas en las producciones de Los Pelambres y Collahuasi. La baja en Codelco se debió a la caída de la producción de cobre en las distintas divisiones de la empresa por problemas operacionales, disputas laborales y empeoramiento en variables mineras (menores leyes, secuencia de la explotación, mayor profundidad de los yacimientos, etc.).

Durante el año 2009 se habría visto una recuperación poco significativa en la producción de Codelco, pero un aumento relevante en la producción de Anglo American Sur Andes (28%), producto de la expansión de la faena Los Bronces.

Por último, en 2010 destaca el aumento de producción en Collahuasi, de casi 2.000 TMF, producto de la explotación de zonas con mayores leyes, incremento en Los Pelambres (+967 TMF, en línea con los aumentos en la producción de cobre), y la caída en Anglo American Sur asociado con los desarrollos productivos de la expansión de la operación y las menores leyes del mineral explotado.

4.2 Productos industriales de molibdeno

Chile dispone de una capacidad de tratamiento de molibdenita para obtener productos comerciales de uso industrial, que se exportan principalmente.

La siguiente tabla identifica las plantas industriales, su capacidad y productos finales obtenidos.

Tabla N° 4
Plantas industriales, Capacidad y Producto Final

| | | Codelco | Pelambres | Collahuasi | Valle Central | Sur Andes | Molymet Chile |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|------------|---------------|-----------|---------------------|
| | Capacidad (Ton Mo Fino) | 32.000 | 10.000 | 8.000 | 700 | 5.000 | 54.150 |
| Producción (2010) | Propia | 21.675 | 8.759 | 4.476 | 3.48 | 1.927 | - |
| | Maquila | - | - | - | - | - | 43.500 ⁶ |
| Productos | MoS ₂ alto Cu | 9.790 | - | 4476 | 348 | 1927 | - |
| | MoS ₂ bajo Cu | 6.000 ⁷ | 8.759 | - | - | - | - |
| | MoO ₃ alto Cu | 5.885 | - | - | - | - | - |
| | MoO ₃ bajo Cu | - | - | - | - | - | 27.700 |
| | MoO ₃ puro | - | - | - | - | - | 4.800 |
| | Sales de Mo | - | - | - | - | - | 2.000 |
| | Ferromolibdeno | - | - | - | - | - | 9.000 |
| Destino | | Molymet, exportación | Molymet, exportación | Molymet | Molymet | Molymet | Exportación |

Fuente: Elaborado en Coquimbo

La mayor procesadora del mundo es Molymet S. A., que alcanza una capacidad de 175 millones de libras de Mo (alrededor de 80.000 TMF), en donde la capacidad en Chile es de alrededor de 120 millones de libras de Mo (54.000 TMF). El detalle de las capacidades, sus productos y las fuentes de abastecimiento a nivel corporativo se presenta en la tabla siguiente:

⁶ Producción estimada, sobre la base de importaciones y exportaciones

⁷ Capacidad se aumentará a 7.500 TMF/año a partir de 2012

Tabla N°5
Capacidad de Producción Molymet

| País | Planta | Ton Mo Fino | Productos | Abastecimiento |
|-----------------|-------------------|-------------|---|--|
| Chile | MolymetNos | 40.550 | MoO ₃ bajo Cu, MoO ₃ alto Cu, Trióxido de Mo puro, Sales de Mo, Perrenato de amonio, Renio metálico, Ferromolibdeno | Chile: Codelco, Pelambres, Collahuasi, Sur Andes, Valle Central. Perú: Southern Perú, Antamina, Toquepala, Cuajone. México: La Caridad, San Manuel. USA: Morenci, Kennecott Utah Copper |
| | Molynor | 13.600 | MoO ₃ alto Cu | |
| México | Molymex | 12.000 | MoO ₃ alto Cu, MoO ₃ bajo Cu | |
| Bélgica | Sadaci | 11.200 | MoO ₃ bajo Cu, Ferromolibdeno | |
| Alemania | Chemimetall | 590 | Molibdeno metálico y Dióxido de molibdeno | |
| China | Louyang High-Tech | 1.500 | Piezas metálicas de Mo (barras, planchas, láminas, alambre, cátodos y otros) | |

Fuente: <http://www.molymet.cl/>
Cochilco, sobre la base de importaciones y exportaciones

4.3 Principales productos de molibdeno exportado

La Tabla N°6 muestra el volumen exportado de los principales productos de molibdeno.

Tabla N°6
Exportaciones chilenas de molibdeno (millones US\$ FOB)

| Producto | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Concentrados de molibdeno | 875,1 | 1.390,00 | 490,7 | 141,5 | 227,3 |
| Óxidos de molibdeno | 1.339,90 | 1.702,30 | 2.023,40 | 961,5 | 947,2 |
| Trióxidos de molibdeno | 243,6 | 238,4 | 266,9 | 61,3 | 147,3 |
| Ferromolibdeno | 547,5 | 705,4 | 837,8 | 196,2 | 305,7 |
| Total | 3.006 | 4.036 | 3.619 | 1.361 | 1.628 |

Fuente: Cochilco, sobre la base de Anuario e Informe Mensuales de Cochilco.

En los últimos años se vio un importante crecimiento del valor de las exportaciones explicado por la alta cotización del mineral en el mercado internacional, los niveles de precios promedio mensuales oscilaron entre 23 US\$/lb y 35 US\$/lb.

La situación anterior impulsó a las compañías mineras a incrementar producción a partir de 2004 cuando creció un 25% con respecto al año anterior, estabilizando la producción de molibdeno de mina en niveles por sobre las 40.000 toneladas, tendencia que solo se interrumpió en 2008.

Otra de las razones que incrementó el volumen de exportaciones, dice relación con el considerable aumento que experimentaron las importaciones de concentrados de molibdeno provenientes desde Perú y México. Estos concentrados son procesados en Chile y re-exportados a los principales centros de consumo de Europa, Estados Unidos y Asia en forma de óxidos de molibdeno, ferromolibdeno y otros productos de molibdeno.

Sin embargo, a partir de 2008 la situación cambia drásticamente por dos factores. Primero una fuerte reducción en la producción del país y segundo, la caída en los precios experimentada en 2009 y 2010, a menos de la mitad del valor por volumen unitario de producto exportado.

Las cifras para el año 2010 muestran que el monto por exportaciones de productos de molibdeno se habría movido en torno a US\$ 1.630 millones.

ANEXO

ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE MOLIBDENO

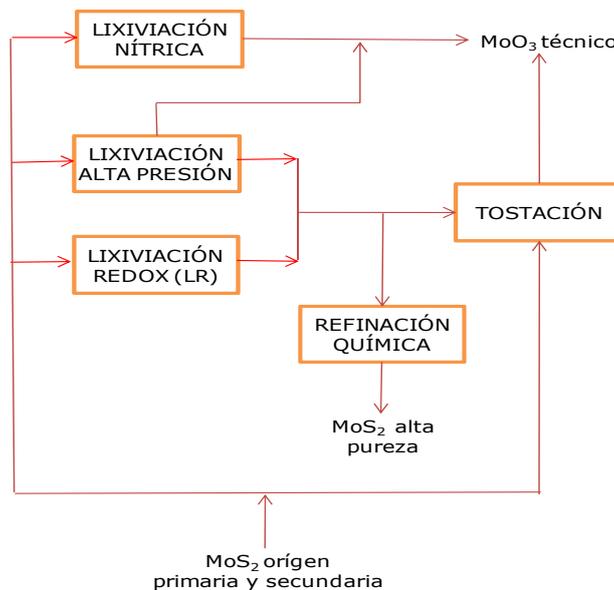
El destino final en el uso de molibdeno es principalmente el acero inoxidable, con contenidos de hasta un 6%, usado en la construcción, piezas de aviones, de automóviles, súper aleaciones en base níquel para catalizadores en la industria petrolera. Usado también en la industria aeroespacial, automotriz, herramientas quirúrgicas, fabricación de ampolletas (filamento), pantallas de LCD, etc.

Pues bien, para llegar a ser apto para su uso, primeramente el concentrado sulfuro de Mo debe ser transformado, ó en menores instancias debe ser refinado, para posteriormente producir productos comúnmente usados para la fabricación de aceros y otros, tales como trióxido de Mo técnico y puro, ferro molibdeno, y sales de molibdeno.

1.- TRATAMIENTO DEL SULFURO DE MO (MoS_2).

El concentrado de Molibdeno, necesariamente debe ser convertido a trióxido de Mo (MoO_3) para así poder continuar como materia prima para los diversos procesos y productos posteriores. Pero, tanto el concentrado de origen primario como secundario poseen impurezas a niveles no apto para su transformación. La figura N° 1 muestra el esquema general de tratamiento del sulfuro de Mo.

Figura N° 1
Esquema de transformación del sulfuro de Mo



Fuente: Cochilco.

De acuerdo a la figura N° 1, actualmente existe una pequeña cantidad de molibdenita de buena calidad que hace posible enviarla directamente al proceso de tuesta y obtener un trióxido de Mo técnico apto para las refinaciones siguientes. También es factible tostar directamente la molibdenita alto cobre, en donde el trióxido de Mo obtenido debe necesariamente ser sometido a una limpieza química (lixiviación sulfúrica)

La mayor cantidad de molibdenita disponible, tanto de origen primario como secundario sin tratamiento previo, posee un alto contenido de impurezas que tiene 2 grandes problemas, que son:

- Problemas operacionales en el proceso de tostación.
- El trióxido de Mo obtenido no es comerciable.

Para corregir este problema, la molibdenita de alto contenido de impurezas es sometida previamente a una limpieza química, que de acuerdo a la figura N° 1 las más conocidas son: la lixiviación redox (LR), la lixiviación nítrica, y la lixiviación a presión. Luego de esto, la molibdenita puede ser enviada a tostación, así como también ser usada como materia prima para obtener la MoS₂ de alta pureza para destino lubricantes.

2.- LIMPIEZA DEL SULFURO DE MO

2.1 Lixiviación Redox

La lixiviación redox (LR), es un proceso continuo-batch, que consiste básicamente en la lixiviación con cloruro férrico (FeCl₃) del concentrado de molibdenita, para eliminar las impurezas metálicas que en su mayor cantidad es cobre, con contenidos además de plomo, arsénico, hierro, calcio. El proceso requiere de temperatura y presión para aumentar la cinética de disolución y de un potencial de oxidación, dado por el cloruro férrico.

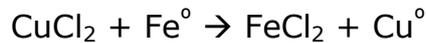
El proceso se inicia en un estanque de preparación de pulpa y homogenización, posteriormente pasan a autoclaves en las que con presión y temperatura disuelve los componentes formando cloruros, en donde la reacción principal es la siguiente:



La pulpa se conduce a estanques de expansión y evaporador flash en donde es enfriada, luego se conduce a filtros donde se separa la solución del sólido. El sólido (MoS₂) es llevado al proceso de tostación, y la solución producto del filtrado se conduce a cementación con chatarra de fierro en donde se obtiene un precipitado de cobre. La solución limpia de Cu en un alto porcentaje de su flujo se alimenta a planta regeneradora del cloruro férrico mediante cloro gas, mientras que el porcentaje restante se conduce a tratamiento de efluentes.

El sólido lixiviado con una humedad de 8%, es conducido a un proceso de secado, alcanzando una humedad final de menos del 1%, que finalmente es envasado.

La solución ferrosa rica en cobre es procesada con chatarra de hierro para obtener cemento de cobre, donde la reacción química es la siguiente:



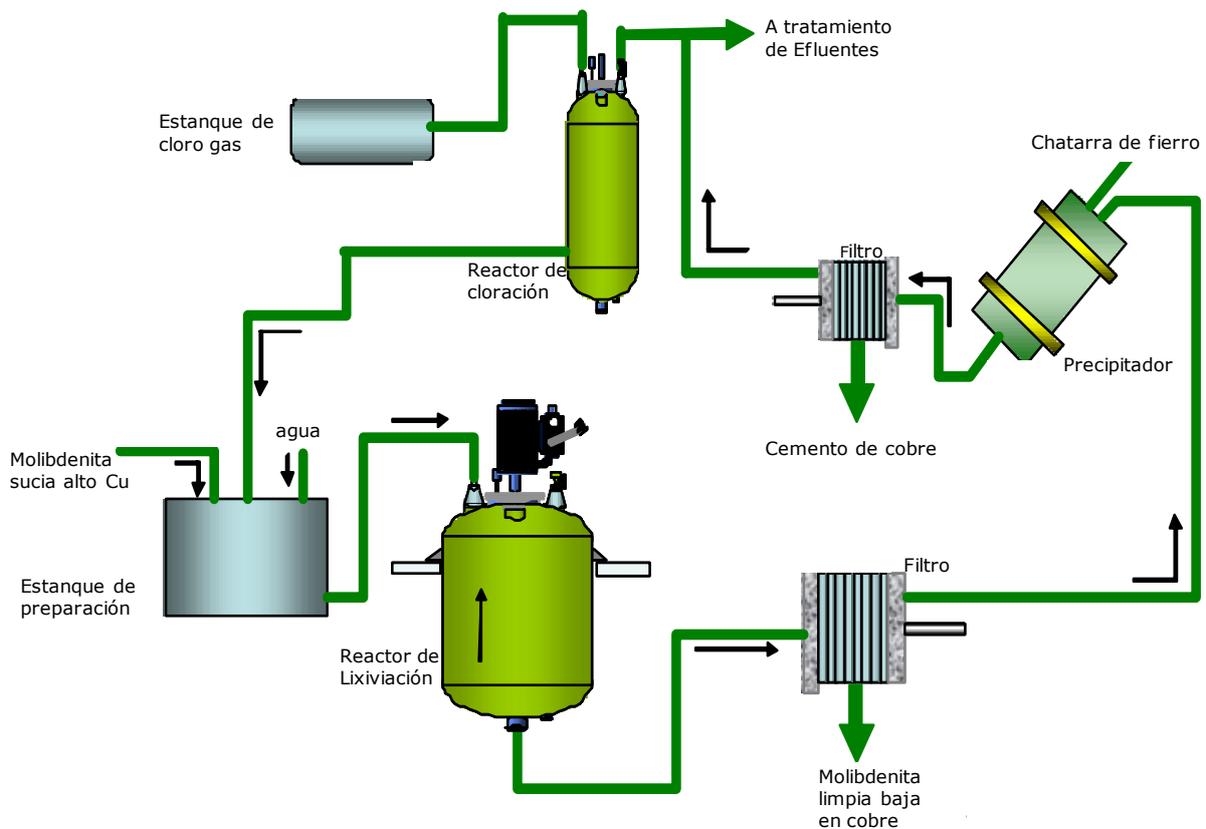
La solución rica de cloruro ferroso es enviada a regeneración como cloruro férrico con adición de cloro gaseoso, por medio de la reacción química siguiente:



El cloruro férrico regenerado se vuelve a utilizar en el proceso de lixiviación, mientras que la solución ferrosa diluida es enviada a tratamiento de efluente, que consiste básicamente en la filtración y la neutralización por medio de cal para el cumplimiento de la legislación ambiental.

La figura N° 2 muestra un esquema de los principales equipos involucrados.

Figura N° 2
Principales equipos involucrados

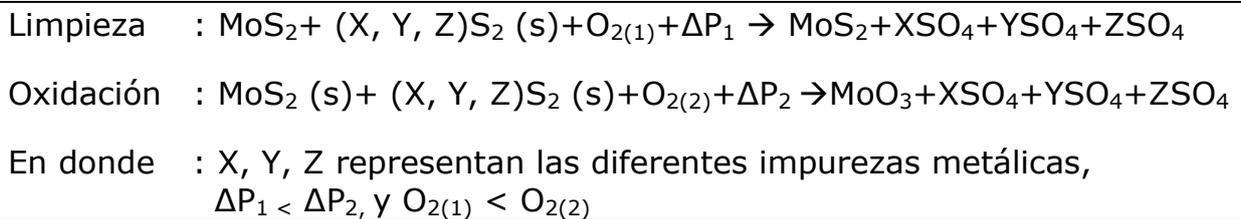


Fuente: Cochilco.

2.2 Lixiviación Alta Presión

Proceso conocido para zinc, cobre, fierro y níquel, y recientemente usado para el molibdeno. Consiste básicamente en la lixiviación en autoclave a altas presiones y con adición de oxígeno. Tanto la presión ejercida como la adición de oxígeno son de acuerdo al producto final a obtener, que puede ser molibdenita limpia (baja presión) ó trióxido de Mo (alta presión). El proceso es muy eficiente en la eliminación de impurezas, y sólo la eliminación de plomo no es la óptima, en donde el proceso LR resulta más eficiente.

El proceso se inicia en un estanque de preparación de pulpa y homogenización. Posteriormente pasa a un reactor a presión (autoclave), en donde se aplica alta presión, aumentando la temperatura por la propia de la reacción exotérmica, donde la reacción principal es la siguiente:

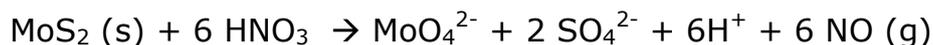


La solución sulfatada es sometida a extracción por solventes para eliminar el contenido remanente de molibdeno y renio, mientras que el refino es enviado a tratamiento de efluentes.

2.3 Lixiviación Nítrica

Proceso menos conocido, usado principalmente en la India, que tiene problemas de seguridad y medioambientales. Al igual que la lixiviación Redox, es un proceso continuo-batch, que consiste básicamente en la lixiviación del concentrado de molibdenita con Ácido Nítrico (HNO_3), para eliminar las impurezas metálicas que en su mayor cantidad es cobre y sales de calcio y sodio.

El proceso se inicia en un estanque de preparación de pulpa y homogenización, posteriormente pasan a reactores a presión atmosférica y temperatura disuelve los componentes formando sulfatos, en donde la reacción principal es la siguiente:



La solución sulfatada es sometida a extracción por solventes para eliminar el contenido remanente de Mo, mientras que el refino es enviado a tratamiento de efluentes.

En cuanto a los gases nitrosos resultantes, estos resultan nocivos para los operadores, por lo que el reactor debe contar con eficiente depresión para evitar el contacto, y a su vez se debe usar máscaras antigases especiales.

En lo que respecta a la conversión, ésta es demasiado baja (alrededor de 80%), por lo que este proceso no es comúnmente usado.

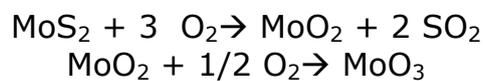
3.- PRODUCCIÓN DEL TRIÓXIDO DE MOLIBDENO

3.1 Tostación de Molibdenita

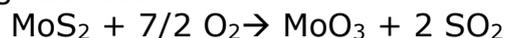
La Tostación de Molibdenita tiene como finalidad la conversión del concentrado de Sulfuro de Molibdeno (MoS_2) en trióxido de Molibdeno u OxMo (MoO_3 grado técnico).

El reactor más usado mundialmente para la tuesta es el horno de piso múltiple (Nichols Herreschoff) de operación continua, donde el concentrado desciende por gravedad, en contracorriente respecto del gas de proceso (aire principalmente). La reacción de oxidación es exotérmica y se debe mantener un perfil de temperatura entre 400 y 700° C, que permita la ocurrencia de las reacciones del molibdeno sulfurado a trióxido de molibdeno.

Las 2 reacciones principales son:



Por lo que la reacción global es:



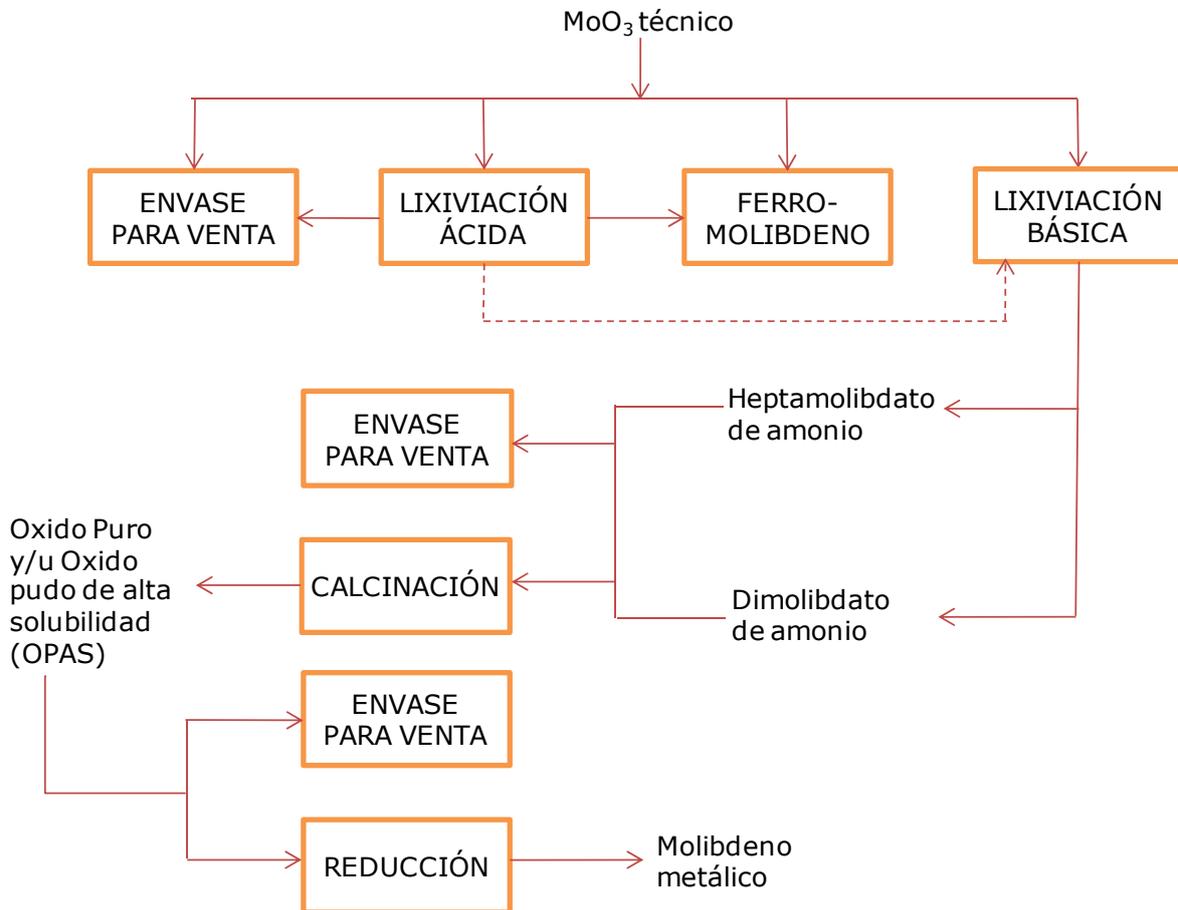
Los gases generados en el horno de tostación industrial, salen con aproximadamente 450 a 500 °C, donde son enfriados y limpiados mediante precipitadores electrostáticos secos y húmedos, para luego pasar a planta de ácido.

El producto trióxido de Mo técnico material que sale del horno con aproximadamente 600 °C, es enfriado en tornillos transportadores refrigerados por agua y ajustada su granulometría en un sistema de clasificación y molienda.

3.2. Tratamiento del Trióxido (MoO_3)

El trióxido de molibdeno (MoO_3), es el punto de partida para la obtención de diversos productos, cuyo destino final son los aceros especiales y las súper aleaciones. La figura N° 3 muestra el esquema general de tratamiento del trióxido de Mo.

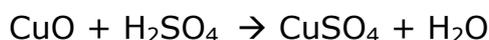
Figura N° 3
Esquema de transformación del trióxido de Mo

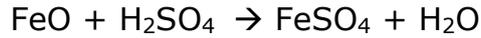


a) Lixiviación Ácida:

El proceso de Lixiviación Ácida, es un proceso continuo-batch, que consiste en una lixiviación con ácido sulfúrico (H₂SO₄) del trióxido de Mo técnico, para eliminar las impurezas metálicas que en su mayor cantidad es cobre y fierro. El objetivo es dejarlo apto para posteriores procesos de purificación, así como también poder ser enviado directamente a envasamiento. El proceso es a presión atmosférica, y requiere de temperatura para aumentar la cinética de disolución.

El proceso se inicia en un estanque de preparación de pulpa y homogenización, posteriormente pasan a otros reactores a temperatura de 80 °C, donde se disuelve los componentes formando sulfatos, en donde la reacción principal es la siguiente:



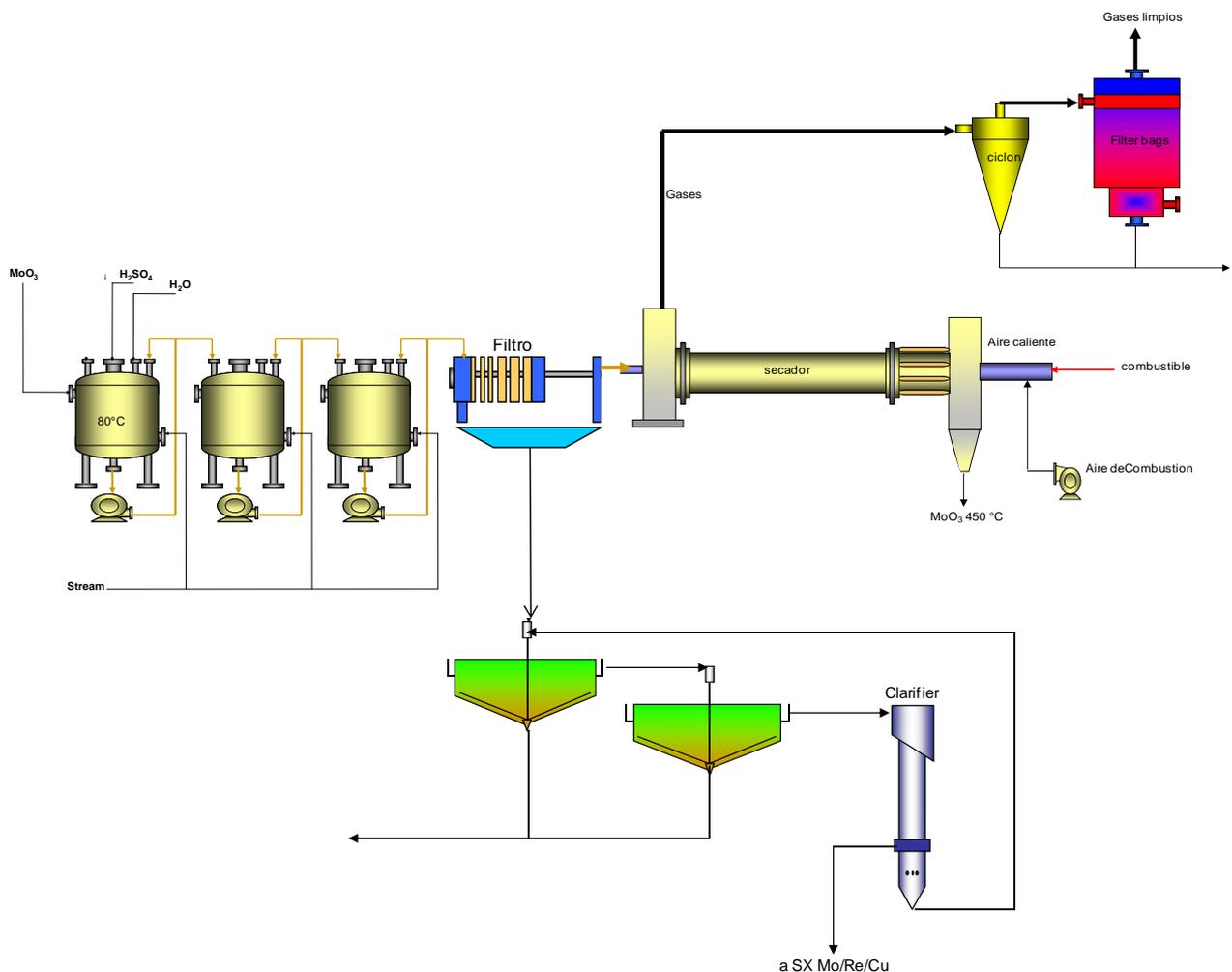


La pulpa lixiviada se conduce a una etapa de separación sólido-líquido mediante filtros. El sólido (MoO_3) es llevado al proceso de secado, y la solución producto del filtrado se conduce a una etapa de extracción por solventes selectivas de Mo, Re, y Cu. Finalmente la solución rica en Cu pasa a EW, mientras que la solución refino se conduce a tratamiento de efluentes.

La humedad del sólido lixiviado es de aproximadamente 0.2%, donde posteriormente puede ser directamente envasado, ó pasar a etapas siguientes como Ferro molibdeno ó a lixiviación básica para producir sales de Mo.

La figura N° 4 muestra un esquema de los principales equipos involucrados.

Figura N° 4
Principales equipos involucrados



Fuente: Cochilco.

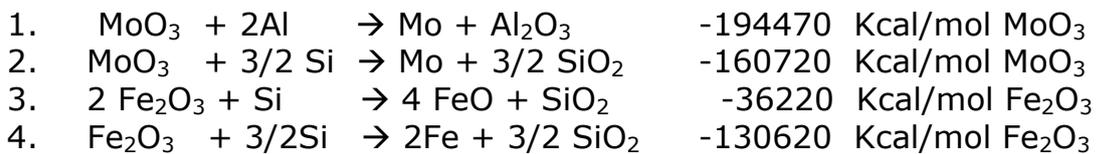
b) Ferro molibdeno:

El producto Ferro molibdeno, contiene principalmente molibdeno y hierro, y es una ferroatomada que se fabrica mediante un proceso piro metalúrgico, llamado Silico-Aluminotermia, mediante batch, en reactores debidamente diseñados. El producto obtenido es un Ferro molibdeno de entre 60 y 70 % de Mo.

La materia prima normalmente usada es:

- Trióxido de Mo
- Reductores: aluminio 99,5% y Ferrosilicio (FeSi)
- Fundentes: Cal y Óxido de hierro (FeO/Fe₂O₃)
- Chatarra de hierro

Las reacciones principales son:



Las reacciones exotérmicas del proceso hacen alcanzar una temperatura de aproximadamente 1850 a 1900 °C, y se obtienen 2 fases, metal y escoria.

La escoria obtenida es de bajo índice de basicidad, altamente ácida, saturada en SiO₂. Una escoria típica es la siguiente:

- Al₂O₃ : 11-13 %.
- SiO₂ : 68 - 75 %.
- FeO : 8 - 12 %.
- CaO : 5 - 8 %.
- Punto de Fusión : 1350 - 1400 °C.
- Índice de Basicidad: 0.35 and 0.40

c) Lixiviación Básica:

El proceso de Lixiviación Básica, es un proceso continuo-batch, que consiste en una disolución con amoníaco anhidro (NH₃) del trióxido de Mo técnico, para eliminar las impurezas metálicas que en su mayor cantidad es cobre y hierro. El objetivo es dejarlo apto para posteriores procesos de purificación, para producir posteriormente Heptamolibdato de amonio y Dimolibdato de amonio. El proceso es a presión atmosférica, y requiere de temperatura para aumentar la cinética de disolución.

El trióxido de molibdeno técnico que viene de la etapa de tostación está contaminado con variadas impureza, por lo cual para la producción de productos puros de molibdeno el OxMo es sometido a lixiviación con una solución amoniacal (NH₄OH) de un 8 a 10% de concentración. Esta etapa es llevada a cabo a 70°C y tiene una conversión entre el 80 y 95%.

La solución amoniacal resultante de la disolución contiene una serie de metales además del molibdeno, por lo cual es necesaria una etapa de purificación. Ésta se realiza mediante la precipitación con sulfuro de amonio [(NH₄)₂S] de los metales en forma de sulfuros metálicos. La solución obtenida, de entre 150 y 200 g/L de Mo, es filtrada y es apta para los procesos posteriores de cristalización de las sales de amonio, tanto de Dimolibdato, como de Heptamolibdato.

Dimolibdato de amonio((NH₄)₂Mo₂O₇):

La solución purificada es convertida a Dimolibdato de amonio mediante cristalización a 100 °C, que mediante evaporación se alcanza la concentración entre 280 y 300 g/L de Mo para obtener así una sal de Mo denominada Dimolibdato de amonio.

El producto obtenido es posteriormente centrifugado, saliendo con una humedad del 10% aproximadamente. Para su comercialización, la última etapa del proceso consiste en un secado con aire seco indirecto, para lograr al requerimiento del 0,2% de humedad en el producto final.

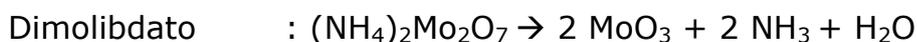
Heptamolibdato de amonio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O):

La solución purificada es convertida a Heptamolibdato de amonio mediante cristalización a 15 °C, a precipitación al adicionar ácido sulfúrico para llegar a pH entre 3 y 4. La concentración final debe ser de entre 200 g/L de Mo para obtener así una sal de Mo denominada Heptamolibdato de amonio.

El producto obtenido es posteriormente centrifugado, saliendo con una humedad del 10% aproximadamente. Para su comercialización, la última etapa del proceso consiste en un secado con aire seco, para lograr al requerimiento del 0,2% de humedad en el producto final.

d) Calcinación

El proceso productivo para la obtención de trióxido de Mo puro, tanto para el Dimolibdato como del Heptamolibdato de amonio, se realiza generalmente en hornos calcinadores rotatorios a temperaturas de entre 350 - 500 °C, mediante calor indirecto, bajo la siguiente reacción de calcinación:



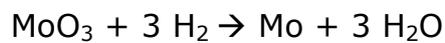
Heptamolibdato : $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 7 \text{MoO}_3 + 6 \text{NH}_3 + 7 \text{H}_2\text{O}$

El MoO_3 resultante es un Oxido Puro de Alta Solubilidad, comercialmente conocido como OPAS.

Los gases son captados en plantas recuperadoras de amoniac, obteniéndose una solución amoniacal (NH_4OH) de 1 a 3% de concentración, reutilizándose para el proceso de disolución de trióxido técnico.

e) Reducción

Finalmente, es posible obtener Mo metálico mediante reducción con hidrógeno, mediante la siguiente reacción de reducción:

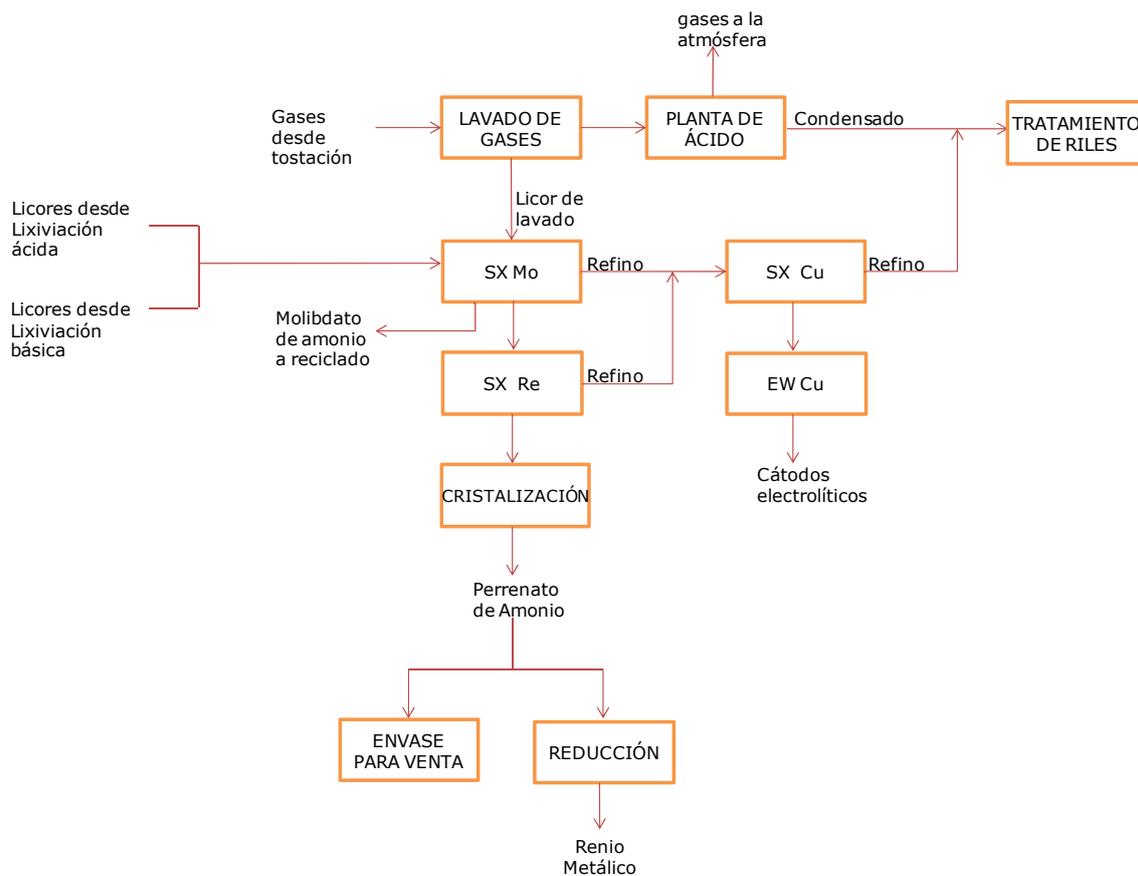


El proceso se realiza mediante sistema batch en hornos reductores con sistema de retorta.

3.3 Tratamiento de soluciones resultantes de los procesos de transformación de Mo.

Los gases producidos en el proceso de tostación, que son captados en el sistema de lavado de gases, generan una solución ácida rica en Molibdeno y Renio, que junto a las soluciones generadas tanto en las lixiviaciones ácidas como básicas, son tratadas de acuerdo al esquema de la figura N° 5.

Figura N° 5
Esquema de tratamiento de soluciones de los procesos de transformación



El proceso principal de limpieza de soluciones, previo al tratamiento de riles, es primeramente la extracción por solventes de Mo con aminas terciarias, en donde el Mo recuperado como molibdato de amonio es reprocesado.

Posteriormente es recuperado el Renio como Perrenato de amonio mediante evaporación/cristalización, para luego ser secado a temperaturas moderadas y ser envasado, ó ser enviado a reducción con hidrógeno en hornos de retorta similares a los empleados para Mo metálico, para obtener Renio Metálico.

El refino obtenido de los procesos descritos, es finalmente enviado a extracción por solventes de Cu convencional con aldoximas y cetoximas, obteniéndose cátodos electroobtenidos.

Documento elaborado por:

José Joaquín Jara Donoso (DEPP)

Anexo elaborado por:

Jorge Martínez Saavedra (DEGE)

**Director de Estudios y Políticas Públicas (S):
Vicente Pérez Vidal**

OCTUBRE, 2011