

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



APROVECHAMIENTO DE LOS MINERALES
DE MOLIBDENO EN MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A
REYNALDO EDUARDO CRUZ RUIZ

1 9 7 9



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

THE UNIVERSITY OF MICHIGAN
LIBRARY

M-t. 92

Jurado asignado originalmente según el tema:

PRESIDENTE	Prof. Kurt H. Nadler Gundeisheimer
VOCAL	Prof. Fernando Maldonado Mendoza
SECRETARIO	Prof. Marco Antonio Chamorro Díaz
1er. SUPLENTE	Prof. Enrique Curiel Reyna
2do. SUPLENTE	Prof. Mercedes Sepulveda Buelna

Sitio donde se desarrolló el Tema:

Facultad de Química

Comisión de Fomento Minero

Nombre completo y firma del sustentante:

Reynaldo Eduardo Cruz Ruiz

R. Eduardo Cruz Ruiz

Nombre y firma del asesor del tema:

Prof. Kurt H. Nadler Gundeisheimer



A LA MEMORIA DE MI PADRE.

A MI MADRE.

A MI HERMANO.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor y maestro:
Ing. Kurt Nadler Gundeisheimer
su valiosa colaboración en la
realización del presente trabajo.

Asimismo, quiero hacer presente mi
agradecimiento a los señores Ingenieros:

Homero Monjardín López
Federico de Zuñiga Muller

por las facilidades recibidas en la
Comisión de Fomento Minero.

Finalmente, quiero agradecer al señor

Lic. Carlos Dávila Romero

la atención recibida por parte del
Consejo de Recursos Minerales, así
como sus valiosos consejos.

I N D I C E

PAGINA

INTRODUCCION		
CAPITULO I	EL MOLIBDENO Y SUS USOS	
I.1	Propiedades del Molibdeno	1
I.2	Usos Prácticos	2
I.3	Productos Comerciales	5
I.4	Usos del Molibdeno Metálico	10
I.5	Usos del Disulfuro de Molibdeno	13
I.6	Aleaciones de Molibdeno	15
I.7	Usos en las Industrias Químicas	18
I.8	Bibliografía	20
CAPITULO II	DESARROLLO HISTORICO DEL MOLIBDENO	
II.1	Antecedentes Históricos	22
II.2	Descubrimiento del Elemento	23
II.3	Investigación Preliminar y Usos	24
II.4	Producción Industrial Inicial y Usos	25
II.5	Desarrollo durante la Primera Guerra Mundial	29
II.6	Desarrollo entre las dos Guerras Mundiales	32
II.7	Recuperación como subproducto a partir de Cobres Porfídicos	33
II.8	Investigación de la Kennecott y Producción Chilena	35
II.9	La Segunda Guerra Mundial	38
II.10	Desarrollo durante la Posguerra	41
II.11	Avances Tecnológicos	43
II.12	Expansión de la Producción	44
II.13	Bibliografía	47
CAPITULO III	RECURSOS MINERALES DE MOLIBDENO	
III.1	Apreciación General	48
III.2	Minerales de Molibdeno	52
III.3	Depósitos de Molibdeno	53
III.4	Depósitos de Tipo Porfídico	55
III.5	Evaluación de los Recursos	57
III.5.1	Estados Unidos y Canadá	57

	PAGINA
III.5.2 Latinoamérica	63
III.5.3 México	67
III.5.4 Australia y Asia	73
III.5.5 Europa	74
III.6 Bibliografía	76
CAPITULO IV	PRODUCCION DE MOLIBDENO
IV.1 Generalidades	79
IV.2 Desarrollo Histórico de la Producción	80
IV.3 Principales Productores	86
IV.4 Capacidad Instalada	87-
IV.5 Sectores de Producción	89
IV.6 Principales Propiedades	91
IV.6.1 Minas de Molibdeno Primario	91
IV.6.2 Recuperación como subproducto a partir de Cobres Porfídicos	91
IV.6.3 Otros Recuperadores de Subproducto	93
IV.7 México	94
IV.7.1 Compañías Productoras	95
IV.7.2 Producción Futura de Molibdeno en México	96
IV.7.3 Proyecto Minero-Metalúrgico "La Caridad"	96
IV.7.4 Proyecto Cumobabi - Minera Frisco, S.A. de C.V.	107
IV.7.5 Proyecto Los Verdes -Industrias Peñoles, S.A.	111
IV.8 Costos de Producción	114
IV.9 Bibliografía	119
CAPITULO V	TECNOLOGIA EN LA PRODUCCION DE MOLIBDENO
V.1 Generalidades	120
V.2 Características Metalúrgicas de los Minerales de Molibdeno	121
V.3 Estructura de la Molibdenita	122
V.4 Flotabilidad Natural de la Molibdenita	124
V.5 Comportamiento de los componentes del mineral	128

	PAGINA
V.6 Trituración y Molienda de Minerales de Molibdeno	129
V.7 Tecnología de la Flotación	131
V.8 Recuperación de Subproductos	135
V.9 Recuperación de Molibdeno a partir de Cobres Porfídicos	135
V.9.1 Proceso Utah	139
V.9.2 Proceso Kennecott Nokes	140
V.9.3 Proceso Morenci	143
V.9.4 Proceso Ruso de Sulfidización	144
V.10 Procesos de Purificación	146
V.11 Otras Formas de Recuperar Molibdeni ta	149
V.12 Otras Formas de Recuperar Molibdeno	154
V.13 Procesos de Conversión	158
V.14 Bibliografía	170
 CAPITULO VI EL COMERCIO DEL MOLIBDENO	
VI.1 Demanda de Molibdeno	173
VI.2 Comercio del Molibdeno	175
VI.3 Aranceles y Obstáculos Comerciales- del Molibdeno	181
VI.4 Productos de Molibdeno -Especificaciones y Precios	183
VI.5 Exportaciones de Molibdeno	188
VI.6 Comercio del Molibdeno en México	191
VI.6.1 Principales Consumidores de Molib- deno en México	191
VI.6.2 Aranceles para la Importación de - Molibdeno en México	196
VI.7 Bibliografía	198
 CAPITULO VII PERSPECTIVAS DEL MOLIBDENO	 200
CONCLUSIONES	209
BIBLIOGRAFIA GENERAL	210

INTRODUCCION

En el bicentenario del descubrimiento del molibdeno, el panorama y las perspectivas generales para este metal son prometedoras y brillantes. Este material ha alcanzado un desarrollo sin precedente desde prácticamente una curiosidad de laboratorio durante los siglos XVIII y XIX, hasta un metal de aleación importante en el siglo XX, la demanda del cual se incrementó -- 1 000 veces sólo en este siglo, de 100 toneladas por año a cerca del 100 000 toneladas por año actualmente. La demanda de molibdeno crece aun en una proporción considerablemente mayor que el desarrollo de nuestras economías y producto nacional bruto, debido a que se han encontrado usos nuevos y cada vez más importantes para este metal.

El molibdeno ha encontrado amplia aplicación en aceros y aleaciones, en los cuales se requiere resistencia, tenacidad, dureza en altas temperaturas y resistencia a la corrosión. Por consiguiente, se ha convertido en el metal de aleación esencial para la construcción de ferrocarriles, puentes, rascacielos, aviones, tuberías y muchas estructuras importantes. Es también un elemento típico de las eras del jet y del espacio, de la energía nuclear y la electrónica donde tiene algunas aplicaciones indispensables, todo esto aparte de sus usos químicos y tecnológicos; tales como catalizador, elemento en trazas para fertilizantes, pigmentos, farmacéuticos, agentes químicos, etc.

Las cualidades y propiedades del molibdeno, que le dieron usos tan amplios y diversificados, fueron descubiertas, entre otros, a través de una investigación científica sistemática y cuidadosa de sus principales productores, Climax, quien ocupa aun la dirección mundial en producción y conversión de molibdeno. Esto ha sido también el resultado de varias acciones planeadas y realizadas inteligentemente en el desarrollo y mercadeo de un producto, con el antecedente necesario de disponibilidad adecuada, de acuerdo a la demanda creciente, pero a pesar de eso con precios sólidos y estables, controlados en forma razonable y moderada.

El presente trabajo trata de exponer el panorama actual y las perspectivas en el aprovechamiento de los recursos de molibdeno en nuestro país, dentro del contexto mundial de desarrollo

que presenta este metal. Se considera asimismo el desarrollo histórico que ha tenido el molibdeno desde su descubrimiento - hasta nuestros días. La presentación de este trabajo ha sido considerablemente influenciada por el trabajo de A. Sutulov -- que se cita en las referencias de los capítulos. El autor ha encontrado el trabajo de A. Sutulov como la referencia más completa sobre el tema de todas las que fueron consultadas y reconoce que sin él, su trabajo se hubiera multiplicado considerablemente.

Al realizar el trabajo, el autor ha tenido varios objetivos en mente, principalmente, ha tratado de satisfacer su curiosidad por conocer la situación actual de un metal dentro del campo de la metalurgia no ferrosa; debido a la importancia que presenta este renglón dentro de la industria metalúrgica nacional. En segundo lugar, se ha propuesto conocer la tecnología de la producción de dicho metal y en base a todo esto considerar la posibilidad de aprovechamiento de los recursos existentes, para obtener un desarrollo más adecuado de nuestra economía. Asimismo se espera que este trabajo fomente en alguna medida el interés de otras personas por el conocimiento de otros metales no ferrosos, aparte de los que han sido tradicionales de nuestra minería.

CAPITULO I

EL MOLIBDENO Y SUS USOS

No obstante que el metal molibdeno ha sido conocido por 200 años, a pesar de eso, sus usos prácticos industriales datan sólo hasta las primeras décadas de este siglo, y su consumo significativo hasta mediados de los años treinta. En este sentido, el molibdeno es un metal moderno, y su importancia -- fué comprendida únicamente cuando fueron desarrolladas las tecnologías modernas de producción de aleaciones y se conocieron sus propiedades.

I.1 PROPIEDADES DEL MOLIBDENO

Como es sabido, el molibdeno es un metal que tiene Número Atómico 42, Peso Atómico 95.95 y gravedad específica 10.2 . - Pertenece al sexto grupo del sistema periódico de elementos, y tiene dos capas electrónicas - capas N y O - incompletas. La distribución de los electrones en las capas incompletas es: en N - $4s^2, 4p^6, 4d^5$ y en O - $5s^1$. Sin embargo, en sus compuestos, el molibdeno puede ser di, tri, tetra, penta o hexa valente.

En estado metálico puro, el molibdeno es un metal blanco, similar al platino. El punto de fusión del molibdeno es 2 610 °C y el punto de ebullición es 5 560 °C. En este sentido es - el sexto metal más refractario: solamente el carbono, renio, - osmio, tántalo y tungsteno tienen puntos de fusión mayores, en este orden.

En su estado puro, el molibdeno es tenaz y dúctil y de dureza moderada (no raya al vidrio). Sin embargo en sus aleaciones, el molibdeno proporciona dureza y tenacidad, aumenta la resistencia a la tracción, la resistencia a la termofluencia - y generalmente mejora la distribución de dureza.

La conductividad térmica del molibdeno es aproximadamente la mitad que la del cobre ($0.346 \text{ cal/seg cm/}^\circ\text{C}$) y, entre los metales, tiene el coeficiente de expansión térmica más bajo, - el cual es únicamente de 4.9×10^{-6} por °C en el intervalo entre 25 °C y 100 °C. El calor de fusión para el molibdeno es - 6.7 Kcal por mol y el calor de vaporización es 117.4 Kcal por mol.

Entre las propiedades eléctricas del molibdeno que son de interés está su resistencia eléctrica, que es de 5.2×10^{-6} a 0°C . Esta resistencia aumenta con la temperatura y alcanza un valor de 24.6×10^{-6} ohm cm a 800°C y es de 72×10^{-6} ohm cm a una temperatura de $2\ 400^\circ\text{C}$.

El metal molibdeno no se oxida fácilmente en aire o agua a temperaturas moderadas; sin embargo, comienza a oxidarse rápidamente en altas temperaturas y forma trióxido molibídico a temperaturas superiores a 600°C . En aleaciones el molibdeno mejora la resistencia a la corrosión, tal es el caso de los aceros Ni-Cr y alto cromo - aceros inoxidable - , lo cual produce un material superior para el manejo de productos químicos.

El molibdeno forma cuatro óxidos - MoO , Mo_2O_3 , MoO_2 y MoO_3 , de los cuales los tres primeros son anhídridos básicos, mientras que el último es un anhídrido ácido. Estos óxidos reaccionan fácilmente con grupos orgánicos oxhidrilo y carbonilo.

En general, los compuestos molibídicos son descompuestos - desproporcionadamente para producir compuestos de valencia superior e inferior. Por esta razón es raro que los productos contengan compuestos de una sola especie, lo cual dificulta la identificación de los compuestos del molibdeno. Además, los compuestos del molibdeno son sensibles a la humedad y se hidrolizan fácilmente, formando hidratos, oxo- o hidroxocompuestos.

I.2 USOS PRACTICOS

Las propiedades que hacen al molibdeno un metal importante son: alto punto de fusión; alto módulo de elasticidad; alta resistencia a temperaturas elevadas; alta conductividad térmica; alta resistencia a la corrosión; bajo calor específico; y bajo coeficiente de expansión.

En general el molibdeno se usa en cuatro formas: (1) en la forma natural de su apariencia mineralógica predominante, que es el disulfuro de molibdeno o molibdenita; (2) en la forma de molibdeno metálico, él cual se fabricaba por pulvimetalurgia antes de 1946, pero ahora es producido cada vez más por

fundición de arco; (3) en la forma de materiales de baja aleación a base de molibdeno; y (4) en la forma de aceros de alta-aleación.

La mayor parte del elemento molibdeno se consume en forma de aceros aleados, lo cual significa cerca del 70% de sus usos totales. Las fundiciones aleadas, superaleaciones y otras --aleaciones corresponden a un 15% adicional, lo cual lleva el --total de usos del molibdeno en el sector ferroso, hasta 85%. -- El polvo de molibdeno y sus productos alcanzan únicamente de 4 a 5%, mientras que los usos químicos y cerámicos, de los cua--les los principales son catalizadores y pigmentos, consumen --cerca del 8 a 9% de la producción mundial de molibdeno. El 2% restante de la demanda de molibdeno corresponde a la categoría de usos diversos, principalmente en forma de disulfuro de mo--libdeno.

Los usos más comunes del molibdeno en aceros, en orden de importancia decreciente, son: aceros de aleación total (cerca del 50% del total); aceros inoxidable y resistentes al calor (aproximadamente 20%); aceros de herramientas (10%); aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA) - 7% y aceros al carbono y eléctricos - 5%.

Como se ha mencionado, la adición de molibdeno a los aceros y fundiciones proporciona dureza uniforme y tenacidad a --los materiales, al mismo tiempo que aumenta la resistencia a --la tracción y la resistencia a la termofluencia de las aleacio--nes, particularmente en altas temperaturas. Tanto en los aceros como en las fundiciones, el molibdeno mejora significativamente la resistencia y la tenacidad en alta temperatura del ma--terial. Esto es muy importante para aleaciones de aceros de he--rramientas y aceros rápidos.

Por otra parte, el molibdeno mejora la resistencia a la --corrosión de las aleaciones. Esto es particularmente importan--te en el caso de aceros que contienen Cr y Ni. Una adición de aproximadamente 4% de molibdeno produce resultados óptimos en--tales aceros. Por otra parte, los aceros de herramientas de --alta velocidad, requieran hasta 8.5% de molibdeno.

En aceros de muy baja aleación, la adición de 1% de molibdeno mejora la resistencia a la abrasión. Esto sucede también con las fundiciones con manganeso, donde una adición de 1% hace posible el uso de un contenido mayor de C antes de que ocurra endurecimiento. Los aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA) se utilizan en la actualidad ampliamente para la fabricación de tuberías para gasoductos. Estos aceros, que contienen 0.25% de Mo únicamente y 0.05% de C, pueden soldarse en condiciones frías extremas, lo cual los hace útiles en climas árticos.

En términos generales, puede establecerse que las aleaciones de baja aleación a base de molibdeno tienen aproximadamente las mismas propiedades físicas y químicas que las no aleadas con molibdeno. A diferencia de esto, en las propiedades mecánicas, donde se requiere una alta resistencia a la termofluencia y a la ruptura, o se necesitan temperaturas altas de recristalización (para retener los efectos de endurecimiento por trabajo), se prefiere el uso de aleaciones de molibdeno en lugar de utilizar aleaciones que no contengan este metal.

El hecho fundamental que da ventaja al molibdeno sobre el tungsteno - y que ha provocado actualmente que este metal tome los mercados de este último - , es que mientras los dos metales tienen átomos con diámetros casi iguales, el peso atómico (y por consiguiente la densidad) del molibdeno es sólo la mitad del correspondiente al tungsteno. Esto implica que para producir los mismos efectos en las aleaciones, se necesita utilizar únicamente la mitad - cantidad en peso - de molibdeno para obtener propiedades similares a las que presentan las aleaciones de tungsteno. Si a esto se agrega el hecho de que el tungsteno es considerablemente más caro y menos abundante que el molibdeno; es claro entonces, porque el molibdeno ha tomado primacía en este tipo de empleo en aleaciones.

Con respecto al molibdeno metálico, este se utiliza generalmente en las industrias eléctricas y electrónicas para la fabricación de lámparas fluorescentes e incandescentes, tubos termiónicos, hornos eléctricos, contactos eléctricos y electrodos, así como para escobillas, pilas secas miniatura, transductores electrónicos y rectificadores. Aparte de estos usos eléctricos,

el metal molibdeno tiene una amplia utilización en las industrias militar y aeronáutica, para la fabricación de motores de jet, proyectiles y accesorios. Es esencial también para las plataformas de lanzamiento de cohetes espaciales.

En la industria del trabajado mecánico, el molibdeno se utiliza en fundición para piezas y núcleos, herramientas para trabajo en caliente, barrenos, y otros usos diversos. Es además, excelente para forros y placas de enfriamiento y para la soldadura de equipos fijos. Por consiguiente es utilizado para electrodos de soldadura por resistencia, ruedas para transmisión de molinos y moldes. Algunos termopares se basan en el uso de molibdeno o aleaciones a base de molibdeno. Otras áreas de utilización incluyen la industria de energía nuclear (intercambiadores de calor, tuberías, protectores térmicos y partes estructurales), industrias química y vidriera, etc.

Con respecto al disulfuro de molibdeno, sus usos principales son como lubricantes. Como se explicará posteriormente con más detalle, los cristales de molibdenita presentan - debido a su comportamiento laminar - una resistencia térmica y mecánica considerable a la presión y la temperatura. La molibdenita relativamente pura y libre de sílice puede utilizarse provechosamente como lubricante en lugar de los aceites y las grasas clásicas. Una parte de la molibdenita se utiliza directamente para la producción de aleaciones especiales, siempre y cuando su contenido de azufre no sea perjudicial.

I.3 PRODUCTOS COMERCIALES

Los usos químicos, metalúrgicos y algunos otros usos del molibdeno requieren la transformación de los concentrados de molibdenita obtenidos, a una forma comercial, que se obtiene desde las plantas de beneficio de mineral, hasta obtener productos con una garantía máxima de pureza y con propiedades químicas definidas.

El diagrama I.1 muestra una presentación esquemática clara de cómo el molibdeno alcanza sus formas comerciales, partiendo desde los minerales.

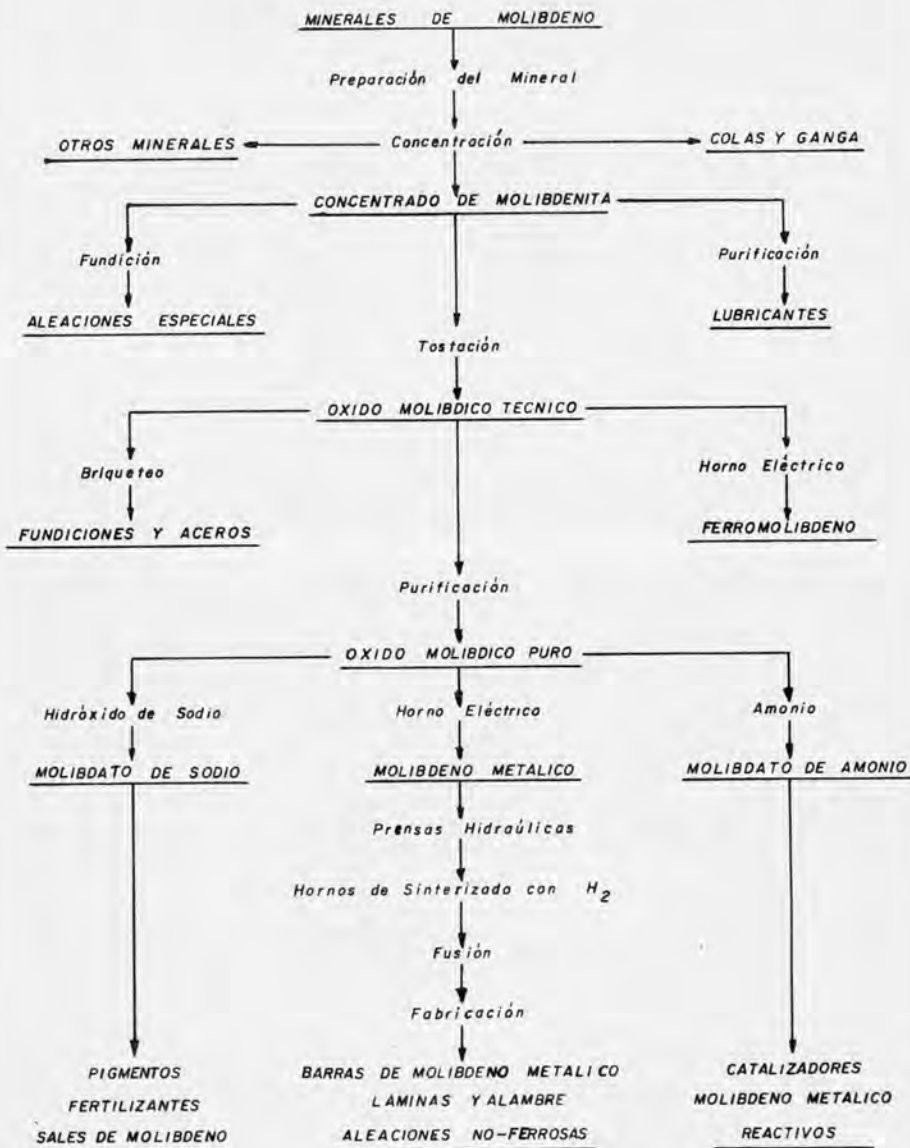
Es conveniente notar que todo el molibdeno, o prácticamente todo el de uso comercial, se obtiene a partir de un solo mineral que es la molibdenita. Este mineral es concentrado a partir de diferentes tipos de menas, tales como las menas primarias de molibdeno, menas tipo cobre-molibdeno, y a partir de algunas otras menas complejas (tungsteno, uranio, bismuto), utilizando el proceso de flotación. En muy pocos casos el producto primario se obtiene por métodos hidrometalúrgicos, como se discutirá posteriormente.

Como se ha mencionado, sólo una parte insignificante de los concentrados de molibdenita puede utilizarse directamente, debido a que el azufre es una impureza indeseable para la mayoría de los usos químicos y metalúrgicos. Por consiguiente es necesario someter al 97-98% de los concentrados de molibdenita-obtenidos a un proceso de tostación, para obtener óxido molibdico técnicamente puro. Existe una diferencia de precio entre el sulfuro y el óxido de molibdeno, que es de aproximadamente 20 centavos de dólar por libra de contenido de molibdeno y que se supone sirve para cubrir los costos de tostación y las pérdidas de producto. Siendo baja esta diferencia promueve el uso de óxido molibdico.

La mayor parte de la producción de molibdeno es utilizada para propósitos metalúrgicos, principalmente para fabricar aceros, fundiciones y aleaciones. Sin embargo, la adición de molibdeno en estos casos puede efectuarse en forma de óxido o de ferromolibdeno. No obstante, la preparación del ferromolibdeno requiere procedimientos costosos, lo cual incrementa cada libra de molibdeno contenido en 30 a 45 centavos de dólar, cuando se compara con el uso del óxido. Por tanto, el ferromolibdeno se utiliza menos que el óxido molibdico en la elaboración de aceros y fundiciones. Se estima que únicamente entre el 20 y 25% del molibdeno consumido en usos metalúrgicos es utilizado en forma de ferromolibdeno.

Una parte relativamente menor de la producción total de molibdeno, es dirigida a usos químicos y usos metalúrgicos especiales. Esto rara vez excede al 10-15% del total, y en estos casos es necesario experimentar después de la tostación, una etapa de purificación para transformar a molibdato de sodio o

DIAGRAMA I.1. TRATAMIENTO TECNOLÓGICO DEL MOLIBDENO DESDE SUS MENAS HASTA SUS PRODUCTOS FINALES



o de amonio o para obtener molibdeno metálico.

El molibdato de sodio es la forma básica de consumo para pigmentos, fertilizantes y otras sales de molibdeno. El molibdato de amonio sirve en la fabricación de catalizadores, reactivos y molibdeno metálico. Por otra parte, el molibdeno metálico obtenido en hornos eléctricos, es transformado en barras, láminas y alambre.

El diagrama I.2, preparado por el U.S. Bureau of Mines, indica las formas comerciales y los usos finales del molibdeno. Se estima que en 1973, en los Estados Unidos (productor del 63% de la producción mundial, consumió aproximadamente el 65% de su producción y exportó el resto), los usos finales del molibdeno fueron los siguientes: 27% en la fabricación de equipo para transporte; 22% en la fabricación de maquinaria industrial; 28% en compañías dedicadas a la elaboración de alimentos y generación de energía; 10% en aplicaciones químicas y lubricantes; 4% en las industrias eléctricas y electrónicas; y el resto en materiales y barras de cubierta dura, aleaciones magnéticas permanentes, etc.

Específicamente, el consumo total de molibdeno en los Estados Unidos durante 1973, expresado en toneladas métricas, fué clasificado como sigue:

1.- Industrias del Gas y del Petróleo	9 180	TM
2.- Transportación	8 915	TM
3.- Maquinaria Industrial	7 200	TM
4.- Químicos	3 285	TM
5.- Eléctricos	1 350	TM
6.- Otros	2 950	TM
T o t a l:-	<u>32 880</u>	TM

Por otra parte, la producción neta de los diferentes productos para el consumo directo fué como sigue:

1.- Oxido molíbdico	28 480	TM
2.- Polvo metálico	1 634	TM
3.- Molibdato de amonio	1 623	TM
4.- Molibdato de sodio	692	TM
5.- Otros	<u>5 846</u>	<u>TM</u>

T o t a l: 38 275 TM

Tomando en consideración que en 1973 los Estados Unidos -- produjeron un total de 52 633 TM de molibdeno, se observa que -- únicamente cerca del 73% del molibdeno obtenido en forma de con centrado de molibdenita o recuperado de otra forma, se transfor mó a óxido molíbdico y otros productos. De hecho, la produc--- ción de óxido molíbdico fué el doble de la reportada, sólo que-- más de la mitad del mismo se embarcó para la fabricación de -- otros productos de molibdeno. Esta cantidad corresponde a - - 31 500 TM en 1973. Sucede lo mismo en el caso del polvo metáli co y del molibdato de amonio. La producción total para estos - productos es de 2 062 TM y 3 680 TM respectivamente. El molib- dato de sodio es un producto final y el grupo mezclado de otros incluye al ferromolibdeno, molibdato de calcio, ácido fosfomo-- líbdico, disulfuro de molibdeno, pentacloruro de molibdeno y -- hexacarbonilo de molibdeno.

I.4 USOS DEL MOLIBDENO METALICO

Como se ha mencionado, el metal molibdeno en forma no alea da tiene usos muy limitados. No obstante, el hecho de que úni- camente de 4-5% del molibdeno total es utilizado en esta forma, estos usos son de gran importancia tecnológica e industrial.

Debido a su alto punto de fusión, excelente estabilidad di mensional durante el desgasificado y su montaje subsecuente, -- presión de vapor baja, emisividad electrónica y otras propieda- des importantes, el molibdeno se ha convertido en un metal básic o para la fabricación de tubos termiónicos. También, se uti- liza un porcentaje alto de molibdeno metálico para la produc--

ción de alambre en la industria de iluminación, en este caso -- reemplazando satisfactoriamente al tungsteno.

Otra aplicación amplia del metal molibdeno es en resistencias para hornos eléctricos. Los elementos tales como; alambre cinta, varilla o lámina extendida pueden permanecer a temperaturas del orden de 2 200 °C, siempre y cuando sean protegidas de la oxidación por medio de una atmósfera inerte o utilizando vacío.

Otro campo importante para el molibdeno metálico es su uso en contactos eléctricos y electrodos. El molibdeno produce buenos contactos, resiste el desgaste mecánico y es casi libre de fusión. Los electrodos de molibdeno también se desgastan muy ligeramente.

El molibdeno es también un metal vital en las industrias aeronáutica y militar. Se utiliza ampliamente para fabricar -- partes estructurales, incluyendo toberas, bordes de ataque de superficies de control, conos de recirculación, placas radiadoras de calor, álabes de turbina, bombas, generadores de gas, -- etc. En los aviones supersónicos se utiliza para fabricar los discos con aspas del rotor de la turbina. Las aleaciones de molibdeno se utilizan también para recubrimientos protectores.

En la industria del trabajo mecánico, el molibdeno metálico se utiliza en forma de barras y soportes -mangos- para mejorar la vida de la herramienta, y su uso permite un incremento en -- las velocidades y los movimientos de empuje de dicho instrumento. El molibdeno metálico disminuye el desgaste por pulimento en álabes y permite un pulimento más frío con menor distorsión y aumenta la precisión de éstas piezas. Comparado con los carburos, el molibdeno tiene la ventaja de poseer mejor maquinabilidad, tenacidad y disponibilidad en tamaños mayores. Los electrodos de soldadura y los troqueles se recubren con molibdeno -- para una mejor operación en soldadura eléctrica, soldadura de cobre, bronce y otros materiales con alta conductividad. En general, los materiales recubiertos con molibdeno incrementan la duración de servicio y no muestran tendencia a desgastarse por fatiga. Esto es particularmente deseable en la industria electrónica, donde es muy importante contar con una buena conductividad térmica y eléctrica; así como disponer de materiales

que tengan dureza y propiedades de contacto en caliente.

Otra aplicación del molibdeno metálico comprende moldes de cucharón de pruebas para tomar muestras de hierro fundido y acero. En este caso, el molibdeno permanecerá más tiempo que cualquier otro material. Para metales altamente radioactivos, los cuales reaccionan con la mayoría de los materiales utilizados - para moldes, la fundición se efectúa en moldes de molibdeno recubiertos con tungsteno por medio de plasmajet.

El metal molibdeno y las aleaciones a base de molibdeno -- son también utilizados en la fabricación de algunos termopares. Los más conocidos son del tipo molibdeno/tungsteno, los cuales trabajan perfectamente hasta 2 500 °C y sirven para determinaciones de temperatura en acero fundido y escorias. Otro termo par muy prometedor es el de molibdeno/renio, él cual tiene una fem considerablemente alta y muestra estabilidad y exactitud bajo diferentes condiciones especiales, tales como neutras, oxi--dantes y reductoras. Los termopares de molibdeno/niquel y molibdeno/hierro muestran exactitud hasta 1 250 °C y 1 400 °C respectivamente.

El molibdeno tiene además usos importantes en la industria nuclear debido a sus características de adsorción térmica de -- neutrones y sus propiedades en alta temperatura. La expansividad baja de este metal se utiliza en artefactos tales como rejillas que soportan bloques de grafito moderador o en dispositi--vos de elevación y descenso. El molibdeno es también el mate--rial refractario más apropiado para resistir a los metales lí--quidos, tales como sodio, bismuto, litio, etc., los cuales se utilizan en algunas plantas nucleares. El molibdeno sirve también para la fabricación de intercambiadores de calor, tuberías protectores térmicos y otras partes estructurales.

En la industria química, la buena resistencia del molibdeno a los medios ácidos y a los metales líquidos, combinada con su costo relativamente bajo, extiende su campo de utilización. - El uso de molibdeno incorporado en válvulas, lanzas de vapor, - intercambiadores de calor, recalentadores y tanques de aviones está aumentando.

I.5 USOS DEL DISULFURO DE MOLIBDENO

Este producto, recuperado generalmente en su forma natural del mineral molibdenita, se presenta como un mineral de color gris-azulado o negro de gravedad específica relativamente alta entre 4.8 y 5.0, y dureza extremadamente baja correspondiente al No. 1 en la escala de Mohs. El mineral tiene un coeficiente de fricción muy bajo con valor de aproximadamente 0.02, el cual es considerablemente menor al correspondiente para deslizamiento sobre hielo. Este coeficiente de fricción se conserva a temperaturas comprendidas entre - 150 °C hasta casi 400 °C. La estabilidad térmica se mantiene además en vacío y en atmósferas no oxidantes, hasta temperaturas del orden de 1 100 °C. El mineral es resistente a la oxidación a temperatura ambiente y humedad baja, aunque muestra cierta susceptibilidad a la oxidación en aire húmedo, produciendo un material con características ácidas perceptibles. En aire seco la oxidación comienza lentamente, a 400 °C y se incrementa rápidamente a 500 °C. La molibdenita es diamagnética y es un mal conductor. Exhibe una buena afinidad para las superficies metálicas. Esto está, sin duda, relacionado a su estructura molecular.

La molibdenita cristaliza en un sistema hexagonal en forma de láminas muy finas. Cada lámina está compuesta de dos capas de azufre separadas por una capa de átomos de molibdeno, lo cual proporciona un enlace de celdilla en capas. Los enlaces covalentes entre el molibdeno y los átomos de azufre son más fuertes que las fuerzas perdidas entre las láminas de átomos de azufre de capas adyacentes azufre-molibdeno-azufre. Con las superficies metálicas el molibdeno forma enlaces moleculares fuertes.

El molibdeno en forma de molibdenita es utilizado en escala muy pequeña, probablemente no mayor del 3% de la producción mundial. Existen dos aplicaciones principales para la molibdenita; (1) lubricantes y aditivos para lubricantes y (2) aditivos para aceros. En los últimos casos, los cuales son muy aislados y especiales, la molibdenita se agrega al acero fundido cuando este requiere un cierto contenido de azufre.

La principal aplicación de la molibdenita es, sin embargo-

en el campo de la lubricación. El principal objetivo de la lubricación, como se sabe, es para separar asperezas de dos superficies en deslizamiento y, por consiguiente, eliminar el desgaste. Tal separación o eliminación del contacto metal-metal puede obtenerse por lubricación hidrodinámica o por lubricación entre las superficies expuestas.

En la lubricación hidrodinámica las asperezas de las superficies lubricadas se encuentran separadas por un fluido. Sin embargo, esta separación se ve afectada grandemente por dos factores: (1) presión y (2) temperatura. Bajo condiciones de presión elevada, el líquido lubricante puede ser desalojado. El desalojamiento del lubricante provocará fricción y elevación repentina de la temperatura, lo cual, entre otras cosas, quema el aceite o la grasa utilizada. Algunas máquinas tienen que trabajar a temperaturas elevadas, lo cual hace inconveniente el uso de aceite como lubricante.

La ventaja del disulfuro de molibdeno como lubricante es que reemplaza a los aceites y grasas en condiciones donde estos normalmente se descomponen, es decir, bajo temperaturas y presiones extremas. El hecho de que la molibdenita puede adherirse fácilmente a las superficies metálicas y formar un enlace molecular fuerte y reemplazar la fricción entre dos superficies metálicas por una fricción ligera entre dos capas de átomos de azufre, es la base de los lubricantes modernos tipo molicote. Debido a su afinidad fuerte con las superficies metálicas, la molibdenita se empaqueta fácilmente en los valles entre las asperezas de las superficies de apoyo y se adhiere de manera similar a los declives. Esto ayuda a alisar la superficie entera e incrementa el área de carga. Este sistema de lubricación ha permitido en la práctica cargas de hasta 475 000 psi, lo cual está fuera de la resistencia elástica de la mayoría de los metales. Cuando la presión sobre la película lubricante es incrementada, probablemente debido a la reorientación del cristal laminar, el coeficiente de fricción se reduce, y aun bajo fuerzas muy altas su valor es de aproximadamente 0.025, que es un valor menor al correspondiente al de deslizamiento sobre hielo.

Estas características extraordinarias de lubricación encuentran aplicaciones muy amplias en el campo del trabajado en frío, es decir; trefilado, prensado y trabajos en frío. En la

fabricación de alambres y tubos, la duración del molde se incrementa considerablemente y el endurecimiento por trabajo se reduce. En la laminación de filamentos, donde se requieren presiones muy altas, la adición de un 10% de disulfuro de molibdeno - coloidal al aceite circulante mejora el acabado, reduce el endurecimiento por trabajo e incrementa la duración de los rodillos.

Las características en alta temperatura de los lubricantes a base de molibdeno se han utilizado exitosamente en turbinas - de vapor, turbinas de gas y particularmente en motores de jet. - A diferencia del grafito, la capa de molibdenita se forma únicamente hasta un cierto espesor, por lo que es difícil tener -- una sobre-lubricación. Además resiste temperaturas del orden - de 400 °C. Los lubricantes tipo molicote se utilizan en forma de grasas, para automóviles, camiones y otros vehículos; en forma de concentrados tipo pasta para ranuras para juntas de cuña, juntas universales o chumaceras de camisa puede aplicarse por - cepillado o frotado; los revestimientos depositados se utilizan ampliamente en las industrias aeronáutica, espacial y militar; - las dispersiones en aceite, glicol, agua y alcohol se utilizan en engranes y chumaceras sencillas que operan en altas temperaturas; los cartuchos lubricadores son muy útiles para locomotoras donde el desgaste de la ceja de la rueda puede reducirse -- sustancialmente utilizando estos dispositivos.

Las especificaciones generales para estos lubricantes indican que la molibdenita tiene 98% de pureza con no más de 0.4% - de sustancias insolubles ácidas (excluyendo el carbono), hasta 1.1% de C carbonizado por causa de aceites y alrededor de 0.1% - de Fe y 0.05% de MoO_3 . Granulométricamente el producto se encuentra 75% a - 325 mallas (44 micras), y no debe exceder la malla 100 (149 micras).

I-6 ALEACIONES DE MOLIBDENO

Existen tres tipos de aleaciones de molibdeno; (1) aleaciones con acero; (2) aleaciones con hierro fundido; y (3) aleaciones con metales no ferrosos.

El contenido de molibdeno en las aleaciones varía entre -- 0.1% y 30%, siendo en la mayoría de los casos inferior al 1%. -

El molibdeno se agrega generalmente en las formas de óxido, ferro-molibdeno o molibdato de calcio. El método preferido es utilizar óxido molibídico, cuando las aleaciones contienen menos del 1% de molibdeno. Esto corresponde al 75% aproximadamente del molibdeno utilizado en este campo. Cuando el contenido de molibdeno en las aleaciones excede el 1%, se utiliza normalmente ferromolibdeno. Como se ha mencionado, solamente en casos muy raros y específicos el molibdeno se agrega en forma de molibdenita.

En los aceros, el contenido de molibdeno varía generalmente entre 0.1% y 1%. Este es el grupo de aceros más importante para propósitos estructurales. Es común denominar aceros de contenido bajo de molibdeno a aquellos con 0.1% a 0.5% de molibdeno. Aquellos que tienen más de 0.5% de molibdeno son considerados como aceros con un contenido alto de molibdeno. Los aceros de herramientas contienen de 1% hasta 10% de molibdeno y únicamente los aceros especiales tienen más de 10% de molibdeno.

Los aceros estructurales se utilizan en la fabricación de chasis de automóvil, tractores, aviones, herramientas mecánicas, ferrocarriles y algunos otros equipos que necesitan de una dureza alta, resistencia a la tracción y al impacto y que estén libres de problemas de fatiga. El consumo promedio de molibdeno en aceros estructurales ha sido aproximadamente de 2.2 libras por tonelada corta, es decir, un contenido promedio de 0.11%.

Los aceros estructurales entran en los siguientes grupos principales: (1) aceros con níquel, cromo y molibdeno; (2) aceros cromo-molibdeno; (3) aceros níquel-molibdeno; (4) aceros manganeso-molibdeno y (5) aceros carbono-molibdeno. Se ha demostrado que la combinación de dos o más aleantes es mejor al uso de solamente uno; debido a que se ha observado que de este modo el consumo de metales aleantes disminuye, y de esta forma se obtienen aleaciones más resistentes.

Las aleaciones con molibdeno se utilizan ampliamente en herramientas o al menos en sus partes cortantes u otras superficies de trabajo, que operan generalmente a temperaturas que varían desde 600 a 700 °C. A éstas temperaturas la dureza y la resistencia mecánica de los metales disminuye en general, lo cual

provoca problemas difíciles. La particularidad de las aleaciones de molibdeno es, precisamente, que su dureza es mayor a temperaturas altas que a temperaturas normales. Esto da origen a los aceros de alta velocidad.

Esta propiedad particular de las aleaciones de molibdeno se atribuye al hecho de que el molibdeno es un metal que forma fácilmente carburos, de este modo contribuye a la dureza de los aceros de alta velocidad debido a la formación de carburos dobles con hierro. En este sentido, debido a su precio menor y al hecho de que se requiere un consumo también menor con respecto a los aceros de calidad comparable (únicamente la mitad de la cantidad que se requiere para las aleaciones de tungsteno), el molibdeno ha reemplazado gradualmente al tungsteno en el campo de los aceros de alta velocidad.

Otro uso importante del molibdeno es en la producción de partes de hierro fundido. Se ha encontrado que la adición de cantidades relativamente pequeñas del orden de 0.25 a 1.25% de molibdeno a las fundiciones líquidas, influye en forma favorable no sólo las propiedades físicas del metal sino que, afecta a todas, con lo cual contribuye a la uniformidad estructural de la pieza fundida. De este modo el molibdeno no tan sólo mejora la dureza, la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga de estos materiales sino que también reduce el número de fundiciones defectuosas y elimina los problemas de tensión interna.

El incremento en la resistencia mecánica se atribuye a la acción del molibdeno sobre la ferrita y al mejoramiento del tamaño y distribución del grafito. Es importante notar que la adición de molibdeno a las fundiciones tienen un límite superior de 1.5% aproximadamente, después del cual los incrementos posteriores en el contenido de molibdeno aumentan sustancialmente las dificultades en el trabajo mecánico. En algunas ocasiones la acción del molibdeno se fortalece por la adición de romo, níquel, cobre y vanadio.

La importancia relativa del molibdeno basada en su utilización en la fabricación de fundiciones se mantuvo uniforme durante las décadas pasadas, alrededor del 7 a 8% del consumo total-

de molibdeno. Los principales consumidores son las industrias-automotrices, aeronáutica, naval y de ferrocarriles, en las cuales se tienen partes vitales de máquinas que son fundidas en bloque y deben tener una homogeneidad alta para evitar las tensiones residuales. También la industria minera es un consumidor importante de éstas aleaciones para la fabricación de equipo minero incluyendo camiones, trituradoras, bombas, forros de molino, etc.

En el campo de las aleaciones no ferrosas, que es pequeño pero parte muy vital de nuestra sociedad industrial, el molibdeno es aleado con níquel, cobalto, columbio, titanio, aluminio y algunos otros. En términos generales, el molibdeno confiere a éstas aleaciones sus propiedades típicas, tales como temperatura de fusión alta y propiedades mecánicas buenas a temperaturas elevadas, por el lado positivo, y resistencia baja a la oxidación a temperaturas elevadas, por el lado negativo. En este último caso, se utilizan comunmente los revestimientos protectores.

Estas aleaciones tienen usos importantes en las industrias eléctrica, electrónica y de maquinaria. Sirven para la elaboración de filamentos para lámparas y las partes vitales de tubos-electrónicos. Además, son utilizadas en la preparación de contactos eléctricos electromagnéticos, álabes de turbina de gas, protección para válvulas, resistencias de hornos eléctricos y muchos otros usos. También son componentes esenciales de materiales resistentes a la corrosión y la temperatura.

I.7 USOS EN LAS INDUSTRIAS QUIMICAS

Aproximadamente del 8 a 9% de la producción mundial de molibdeno se utiliza en las industrias químicas. El molibdeno es un material base en la fabricación de algunos pigmentos, catalizadores y fertilizantes. También se utiliza en reactivos químicos y productos farmacéuticos. En trazas es muy útil en terrenos agrícolas.

Las propiedades catalíticas del molibdeno se deben a sus capas electrónicas N y O incompletas, lo cual permite un cambio de valencia fácil bajo condiciones estables. Esto hace al

molibdeno un donador y receptor útil de electrones. La situación manifiesta, que cuenta con muchísimas aplicaciones, refleja muy adecuadamente el interés que existe por el molibdeno como catalizador. El consumo actual de 900 toneladas métricas por año de este elemento para propósitos catalíticos es aproximadamente 3 veces mayor que el mismo hace sólo 12 años. El crecimiento total del consumo de molibdeno en los Estados Unidos, en este campo, en los últimos 20 años, fué de 15 veces aproximadamente.

El área de aplicación más importante del molibdeno como catalizador, es su uso en la industria petroquímica para el incremento del índice octánico de gasolina y eliminación de azufre. Por consiguiente, sus usos principales en la industria del petróleo son, la descomposición térmica-cracking-y la re-formación.

Otra aplicación importante del molibdeno es en la producción de pigmentos orgánicos e inorgánicos. En los Estados Unidos se utilizan cerca de 560 toneladas métricas por año para producir anaranjado de molibdeno, pigmento que se forma por la coprecipitación del cromato y el molibdato de plomo, y algunos pigmentos orgánicos tales como ácido fosfomolibdico, utilizado para esmaltes, tintas y para colorear plásticos.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO I

- 1.-A.Sutulov. Molybdenum Extractive Metallurgy. Concepción, -- Chile. 1965.
- 2.-A.Kuklis. Molybdenum. Preprint from Bulletin 667 USBM a chapter from Mineral, Facts and Problems, 1975.
- 3.-A. Kuklis. Molybdenum, USBM Yearbook for 1974.
- 4.-Molybdenum Metal, Climax Molybdenum Company, 1960.
- 5.-K.B. Wood, Jr Molybdenum Disulphide as a lubricant. American Society of Mechanical Engineers, Detroit, 1961.
- 6.-E.E. Smith. Molybdenum Dsulphide as a Grease Additive. -- Journal of National Lubricating Grease Institute, 1956.
- 7.-Alfred DiSapio. Bonded Coatings Lubricate Metal Parts. Product Engineering, Sept. 1960.
- 8.-L.N. Sentiurikhina & E.M. Oparina. Hard Molybdenum Disulphide Lubricants, Moscow 1966.
- 9.-Eugene Sheridan. Molybdenum, Mineral, Facts and Problems, - 1970 U.S. Bureau of Mines, Bulletin 650.
- 10.-Wilmer Mc. Innis. Molybdenum - A materials Survey, U.S. -- Bureau of Mines, Information Circular 7784, 1957.

CAPITULO II

DESARROLLO HISTORICO DEL MOLIBDENO

El metal molibdeno tiene una historia pintoresca y fascinante. Primero, su mineral predominante - la molibdenita - -- fue confundido con plomo y grafito (no se conoce la existencia en la naturaleza de molibdeno en forma metálica nativa), - fue reconocido por el hombre hasta 1778 y, después de descubierta, permaneció en la obscuridad por más de 100 años, hasta que se desarrollaron sus primeros usos industriales. Sin embargo, debido al conocimiento escaso de sus propiedades y su conducta térmica, fue proclamado como metal raro y no digno de confianza para fabricar aleaciones por otros 20 ó 30 años, hasta que el desarrollo científico probó su alto valor bajo condiciones controladas.

Mientras tanto, debido a sus propiedades superficiales -- espectaculares, la molibdenita fue uno de los primeros minerales concentrados por flotación y también un competidor constante del tungsteno, de quien está reemplazando propiedades en las aleaciones. Cuando la industria automotriz, blindó vehículos, tanques, submarinos y otros artefactos militares; los cuales se desarrollaron plenamente durante la Primera Guerra Mundial, el molibdeno probó ser un aleante valioso para aceros y fundiciones. Más tarde, sus usos se diversificaron en la industria química, pinturas, catálisis, fertilizantes, etc., - hasta que su consumo creció desde 100 toneladas por año, a principios de siglo, hasta más de 85 000 toneladas por año en esta época. En la actualidad, el molibdeno es también un material importante para plantas nucleares, exploración espacial, aviones supersónicos y otras numerosas aplicaciones.

Este progreso espectacular se debe principalmente a la investigación sistemática y cuidadosa efectuada a lo largo de muchos años, empezando con el estudio de las propiedades fundamentales del elemento y terminando con sus aplicaciones prácticas. La mayor parte del crédito para este trabajo se debe a Climax Molybdenum, que actualmente es una división de American Metal Climax. La planeación adecuada y la proyección de esta Compañía son las causas responsables de lo que el molibdeno es hoy en día para nuestra civilización y, en este sentido, es un ejemplo clásico del desarrollo científico de un producto. Tal vez el estudio de este caso histórico podría ser de ayuda para el desarrollo de otros metales que son poco conocidos aun, en-

primer lugar, está el hermano menor del molibdeno: el renio, - un metal que se encuentra aún en la obscuridad a pesar de que posee propiedades muy interesantes y potencialmente importantes.

II.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Debido a su reactividad alta, el molibdeno no se conoce - en su forma metálica libre en condiciones naturales. Por otra parte, su separación y preparación partiendo de minerales ordinarios requiere de altas temperaturas y condiciones especiales de reducción, de las cuales no disponía el hombre, sino -- hasta la segunda mitad del siglo XVIII.

Estas son las razones de porqué el molibdeno - como elemento metálico -, no se conoció por el hombre hasta el último cuarto del siglo XVIII.

Por otra parte, el principal mineral de molibdeno, su disulfuro conocido bajo el nombre de molibdenita, obviamente fue descubierto por el hombre mucho tiempo antes de que el elemento fuera propiamente identificado. Este mineral, tiene un --- gran parecido al plomo, galena y grafito, y en ausencia de una distinción exacta entre estos, fue confundido con todos ellos. De hecho " molybdos " significa plomo en griego, lo cual es la mejor prueba de la confusión que existía al respecto en aquella época.

Se piensa que, no obstante que en la antigüedad no existió un conocimiento específico acerca del molibdeno y sus propiedades aleantes, este metal fue utilizado, tal vez inconscientemente, en la preparación de algunos aceros de alta calidad. El análisis químico de una espada samurai del siglo XIV reveló que el acero, del cual fue fabricada, contenía molibdeno.

Los antiguos, entre ellos Aristóteles (384-322 A.C.) y Plinio (23-79 A.C.), como quiera que sea, usaron los términos " molybdos " y " molybdaena " respectivamente para definir sustancias las cuales, para el conocimiento general, se consideraban como plomo. Como se ha mencionado, más tarde estos -- términos incluyeron a las denominaciones galena, molibdenita y grafito.

Durante la Edad Media, continuó la confusión y creció aún más, debido a los conceptos erróneos y extraviados de los alquimistas. Estos pseudo-científicos debido a su obsesión de -- descubrir la piedra filosofal, la cual podría transmutar cualquier sustancia en oro puro, llegaron al concepto de una " fuente esencial " lo cual generalizó y confundió sustancias y -- elementos diferentes en lugar de separarlos e identificarlos. Uno de los principales alquimistas, Vicente de Beauvais (1190 a 1264), quien escribió una disertación sobre " Speculum Naturale ", creyendo en la existencia de cuatro espíritus - mercurio, azufre, amoníaco y arsénico - los cuales podrían cambiar seis elementos - oro, plata, cobre, hierro, estaño y plomo - en cualquier material deseado. El oro y la plata fueron considerados como elementos puros que podían ser obtenidos con la remoción de las impurezas a partir de cualquier otro material.

No hay duda, entonces, que este tipo de deducciones ayudó poco para aclarar las identidades de las distintas especies minerales de apariencia similar, sin excluir algunos esfuerzos -- efectuados para individualizar a los elementos nuevos. La confusión fue mayor que en cualquier época durante los tiempos de Agrícola (1494-1556), quien escribió el documento más leído de la época, " De Re Metallica ". Este libro no deja duda que la palabra " molibdeno " significa no sólo plomo, sino que también una serie de materiales metalúrgicos, incluyendo a la galena.

II.2 DESCUBRIMIENTO DEL ELEMENTO

La primera aclaración de conceptos, que significó un paso adelante definitivo, empezó en la segunda mitad del siglo ---- XVIII.

Primero, se demostró que la molibdenita y el grafito no -- contenían plomo y, por consiguiente, son distintos del mineral galena. Entonces, en 1778, el famoso químico sueco, Carl ---- Wilhelm Scheele, demostró que la molibdenita podría ser descompuesta por el ácido nítrico, produciendo un ácido blanco, pero no se producía grafito. Scheele denominó a este óxido blanco- " ácido molíbdico ". Después, probó que puede obtenerse el -- mismo compuesto por tostación de molibdenita, durante la cual-

se libera dióxido de azufre. Por tanto, concluyó que la molibdenita es un sulfuro de molibdeno.

Sin embargo, fue hasta después de cuatro años que se pudo obtener el molibdeno metálico. En 1782, J. J. Hjelm logró reducir ácido molibídico con carbón y obtuvo un polvo metálico negro, que denominó " molibdeno " . El nuevo elemento, el metal-molibdeno, estaba separado e identificado.

II.3 INVESTIGACION PRELIMINAR Y USOS

Después de su descubrimiento, el molibdeno permaneció por varias décadas simplemente como una curiosidad de laboratorio. Las principales razones de esto no fueron sólo su escasez sino también la extraordinaria reactividad y la dificultad para prepararlo en una forma pura que permitiera efectuar estudios fundamentales. Se requieren temperaturas superiores a 2 600°C para obtener una masa fundida apropiada del polvo metálico para lo cual este es reducido con carbón y en aquel tiempo no existían métodos convenientes para producir una temperatura tan alta en los laboratorios.

A pesar de eso ya en 1826, únicamente 40 años después del descubrimiento del elemento, un manual de química escrito por Berzelius, en su capítulo sobre molibdeno, contiene una cantidad asombrosa de información del elemento y sus compuestos. Es claro que, durante este tiempo, una parte de los químicos más brillantes de la época - Scheele, Lavoisier y Berzelius, entre otros - estudiaron cuidadosamente sus propiedades físicas y químicas, incluyendo el carácter anfotérico del elemento y sus compuestos.

Por consiguiente, los usos prácticos para este metal no alcanzaron el interés de los científicos y metalurgistas hasta fines del siglo XIX. Existen reportes de que la mina más antigua conocida para la extracción de molibdenita, Knaben, localizada en la parte sur de Noruega, estuvo en explotación probablemente durante el final del siglo XVIII y principios del siglo XIX, aunque la producción fue intermitente y de poca importancia. Obviamente, la escasez del molibdeno, dificultó su obtención en forma metálica pura y los costos altos de producción fueron condiciones desfavorables para desarrollarlo en usos industriales, particularmente en ausencia de antecedentes

científicos y metalúrgicos para sus usos tecnológicos como metal de aleación.

Hacia fines del siglo XIX se observó un cierto progreso cuando dos químicos alemanes, Sternberg y Deutsch, descubrieron una forma nueva de obtener molibdeno en forma metálica. Ellos efectuaron la reducción del molibdato alcalino con carbón y después lixiviaron la cal con ácido clorhídrico. El producto remanente contenía 96% de molibdeno puro. Esto sucedió en 1893 y los científicos alemanes trataron de utilizar inmediatamente el producto obtenido, sustituyendolo por el tungsteno en los aceros especiales de herramientas.

Al siguiente año, se estableció un proceso precoz para la obtención de molibdeno metálico utilizando un horno eléctrico pero el producto contenía 9% de carbono, lo cual lo inutilizaba para propósitos industriales. Sin embargo, ya en el mismo año (1894), Schneider & Co. produjo, de acuerdo con las famosas fábricas militares en Creusot en Francia, la primera producción de planchas de blindaje de molibdeno. Esto provocó un gran interés por este metal tan poco conocido.

Sin embargo, la contribución más importante para el desarrollo del molibdeno como un metal industrial, surgió a partir del desarrollo efectuado por un químico francés, Henri Moissan quien poco tiempo después logró obtener un metal de 99.98% de pureza, en un horno eléctrico y, por consiguiente, fue posible establecer el peso atómico y muchas propiedades físicas y químicas del elemento. Esto inició una investigación científica e industrial del molibdeno.

II.4 PRODUCCION INDUSTRIAL INICIAL Y USOS

El final del siglo XIX significó una producción pequeña de molibdenita de la mina de Knaben en Noruega, que fue reabierta en 1880 aproximadamente, y en los últimos años de los 90's en los Estados Unidos y Australia. Parte de la producción total americana provenía de la wulfenita, un molibdato de plomo ($PbMoO_4$). El molibdeno fue utilizado en ciertos productos químicos y en colorantes y en 1898 se produjo el primer --

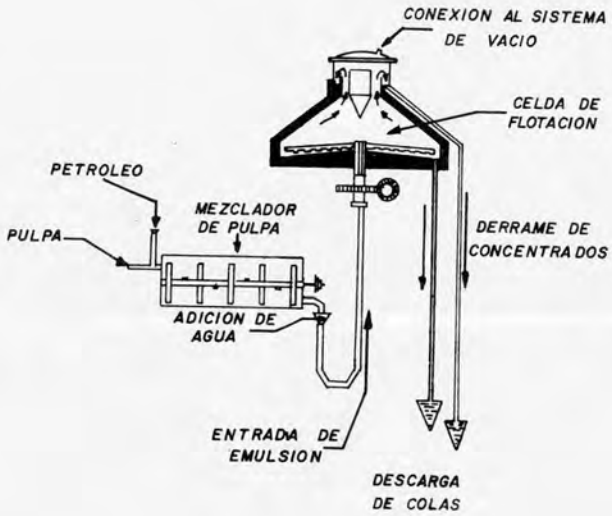
intento para utilizarlo como metal aleante en los aceros; en aquel año, Sanderson Steel Co. empezó a fabricar un acero de herramienta auto-endurecible a base de molibdeno.

El primer intento, sin embargo, fue confinado al fracaso debido a que la fabricación de los aceros de alta velocidad exhibió una falta de conocimiento del rango crítico de tratamiento térmico de los materiales, lo cual provocó que estos presentaran un rendimiento bajo. Esto produjo una mala reputación a los aceros de alta velocidad a base de molibdeno y la producción fue descontinuada en 1905. Simultáneamente esto significó el final de las operaciones mineras de molibdeno en los Estados Unidos, las cuales no fueron re-abiertas sino hasta la Primera Guerra Mundial, cuando la escasez de tungsteno creó una gran demanda para el molibdeno. La producción inicial de molibdenita, hasta el año 1905, es estimada por Mc Innis en 300 toneladas aproximadamente, de las cuales el 47 % aproximadamente fueron producidas en los Estados Unidos, 33 % en Noruega y 20 % en Australia.

No obstante, que los primeros usos industriales del molibdeno no fueron un éxito completo, fueron sin embargo, otros avances tecnológicos, que tuvieron importancia fundamental en el desarrollo del metal. En 1904, Francis E. Elmore, uno de los co-descubridores del proceso de flotación, patentó en Gran Bretaña (patente No. 17816), una máquina de flotación, la cual consistía de una celda que funcionaba con vacío. El artefacto era un separador cónico al que se alimentaba por medio de un tubo de succión una pulpa conteniendo 20 % de sólidos y 0.5 % de aceite, calculado sobre el peso del mineral. La parte superior del cono se encontraba a una presión de 50 a 60 mm de Hg, con lo cual se provocaba el desgasificado del aire disuelto en el agua.

Las burbujas de aire en su trayectoria ascendente se adherían a las superficies del aceite cubierto por minerales hidrofóbicos, similares a la molibdenita, y eran transportados a la parte superior del cono, donde el concentrado de molibdenita era removido por el derrame a través de una pierna barométrica. Los materiales de ganga hidrofóbicos del mineral, no se adherían a las burbujas y eran descargados por la parte inferior del cono por medio de otra tubería.

FIGURA II.1. CELDA DE FLOTACION ELMORE.



Este nuevo procesamiento para tratar la molibdenita reemplazó a los métodos antiguos y costosos de recolección manual y gravimétrico que presentaban una eficiencia baja. En 1913 se instaló en Kvina, Noruega; la que es probablemente la primera planta de flotación de molibdenita, su operación consistía en lo siguiente: el mineral triturado era molido húmedo en molinos de bolas a un tamaño grueso aproximadamente entre malla 10 a 20. Después, se separaban las lamas de las arenas, para evitar que interfirieran en la flotación de la molibdenita y para evitar la contaminación de los concentrados. Las arenas se acondicionaban con querosén 0.5 % en peso de acuerdo con el 50% de sólidos, para obtener la dispersión adecuada de los hidrocarburos y producir películas fuertemente hidrofóbicas en las superficies de las partículas de molibdenita. Después de esto, la pulpa era diluida hasta el 20 % de sólidos y transferida a celdas Elmore para la flotación.

Una cabeza que contenía en promedio 1 % de MoS_2 , producía un concentrado con 75 % a 85 % de MoS_2 y una cola con 0.2 % de MoS_2 aproximadamente con una recuperación de producto útil de 80 % aproximadamente y razón de concentración cercana a 100. Las celdas podían manejar cerca de 35 toneladas por día cada una, a un costo cercano a \$ 1.00 por tonelada.

El proceso de flotación, introducido y probado inicialmente en Kvina, fue extendido a todo el mundo y, no obstante que después sufrió algunos cambios sustanciales, marcó un cambio tecnológico importante en la tecnología mundial, no solamente para la molibdenita sino para muchos sulfuros metálicos no ferrosos y también para minerales no metálicos.

Más tarde, la flotación con espuma sucedió a la flotación con vacío y gracias a la contribución de los estudios de control de pH, liberación rigurosa y reactivos nuevos, el nuevo proceso de flotación fue aceptado como medio universal para la mayoría de los minerales de molibdeno.

Mientras tanto, se experimentaron algunos otros desarrollos en la tecnología del molibdeno, el más importante de estos fue el descubrimiento de Fink de un método pulvimetalúrgico para comprimir polvo de molibdeno reducido con hidrógeno en barras dúctiles, las cuales eran después endurecidas por calen

tamiento y forjadas para formar varillas y lámina.

II.5 DESARROLLO DURANTE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

El inicio de la Primera Guerra mundial causó una deficiencia seria en la demanda de tungsteno, un material estratégico para la producción de armamento. Esta deficiencia se presentó no sólo en Europa, donde empezó la guerra, sino también en los Estados Unidos, donde se produjo la mayoría del armamento. La deficiencia de tungsteno introdujo forzosamente al molibdeno como sustituto, a pesar de la experiencia previa -- desfavorable. La demanda repentina de molibdeno agotó la cantidad de materias primas existentes y, de hecho, produjo escasez en el abastecimiento.

Al inicio de la guerra, la producción anual de molibdeno permanecía en 90 toneladas métricas por año. Esta producción provenía principalmente de minas pequeñas en Noruega, Suecia, Europa Central, España, Japón y Australia, las cuales tenían las mayores existencias.

En este contexto, los aliados tenían una situación estratégica más favorable que las potencias centrales en Europa, -- las cuales contaban con las minas Austro-húngaras y abastecimientos potenciales de Suecia. Al comienzo de la guerra, el almirantazgo Británico, expropió la producción entera de molibdeno del Imperio Británico y cuando tuvo razones fuertes para creer que Alemania estaba siendo abastecida de este metal estratégico por Noruega, optó, en 1917, por comprar la producción entera de aquel país hasta el fin de la guerra.

Al mismo tiempo, los Estados Unidos estaban comprometidos activamente en la exploración de recursos de molibdeno. De esta manera, las minas pequeñas de wulfenita en Arizona fueron activadas y los grandes depósitos de Climax en Lake Country, Colorado, fueron puestas en operación.

La mina Climax debe su nombre a la estación del ferrocarril, denominada Climax, que fue construida en el siglo XIX, cuando el ferrocarril de vía angosta del Pacífico llegó a Fremont Pass, a más de dos millas sobre el nivel del mar. La estación Climax marcaba el punto más alto de la larga cuesta que

debían transitar los pequeños trenes. Aquí, en 1879, Charles-J. Senter, descubrió en Bartlett Mountain, minerales que contenían oro, plata y plomo. Probablemente ninguno de los antiguos mineros había oído acerca del molibdeno y los ensayadores designaron a los especímenes raros como un grafito de grado pobre sin valor. Fue hasta el año de 1900 que los mineralogistas de Colorado School of Mines identificaron los afloramientos en Climax como yacimiento de molibdenita. Por muchos años el depósito de molibdenita permaneció inútil, hasta 1916, cuando un hombre de negocios de 40 años de edad procedente de Denver, Max Schott, arrivó a Bartlett Mountain. Esta persona adquirió la propiedad por cuenta de la American Metal Co., y formó la Climax Molybdenum Company para explorar, administrar y operar la propiedad.

En mayo de 1917 empezó la construcción de una planta de - 250 toneladas por día con un costo de inversión de \$ 300 000 . No fue hasta 1918 que se obtuvo la primera producción. Pero -- en esta época se firmó el armisticio y el uso del molibdeno -- se desvaneció. En marzo de 1919, la mina Climax fue cerrada.- Esto no desanimó a Schott, quien lanzó un ambicioso programa -- de investigación para usos pacíficos del molibdeno, mientras -- el gigante durmiente esperaba por mejores épocas. La mina fue re-abierta en 1924, y desde entonces no se ha cerrado; al con-- trario, se ha desarrollado como el yacimiento de molibdeno más grande del mundo.

La evolución de la producción de molibdeno durante la Primera Guerra Mundial puede apreciarse en la tabla II.1 .

T a b l a II.1

PRODUCCION DE MOLIBDENO DURANTE LA PRIMERA
GUERRA MUNDIAL

(expresada en toneladas métricas)

	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
Estados Unidos	--	1	82	122	159	390	135	16
Australia	74	77	67	68	98	103	98	45
Noruega	1	32	45	52	82	67	33	--
Canadá	--	1	8	43	79	103	23	--
España	8	14	7	136	31	20	1	11
Austro - Hungría	3	5	7	5	20	12	13	11
Japón	2	--	3	8	8	4	--	53
China	--	--	--	2	2	1	--	10
Suecia	--	1	4	1	21	25	--	--
México	--	--	--	--	14	1	2	2
PRODUCCION MUNDIAL	88	131	233	435	514	726	305	148

Fuente: U. S. Bureau of Mines,
Information Circular
7784.

II.6 DESARROLLO ENTRE LAS DOS GUERRAS MUNDIALES

El regreso del molibdeno a los mercados de la posguerra - fue difícil y lento. El final de la Primera Guerra Mundial en 1918 tuvo consecuencias catastróficas en el comercio del molibdeno. La producción de armamento y especialmente de armas tales como: tanques, carros blindados, armas ligeras y barcos de guerra; fue suspendida inmediatamente, dejando las fábricas -- con existencias sustanciales de molibdeno, el cual tenía pocas aplicaciones para usos pacíficos. Además, la gran existencia- acumulada por Gran Bretaña fue más que suficiente para abastecer los requerimientos modestos de la industria en la época de la posguerra y amenazó el comercio de este metal al abatir los precios de venta.

Las existencias de los Estados Unidos eran altas también. Los consumidores en los Estados Unidos tenían acumuladas grandes existencias anticipando proyectos militares grandes tales como las máquinas Liberty y los tanques Baby, los cuales nunca tuvieron una escala de producción importante. Esto causó el - cierre de todas las minas productoras, entre las principales - se encontraban Climax y Questa. La única solución lógica a -- esta situación fue el desarrollo de usos pacíficos para el molibdeno. Casi todos los países, con excepción de Australia, - suspendieron la producción de molibdeno entre 1921 y 1922.

Sin embargo, los resultados de la investigación realiza-- da empezaron a mostrarse hasta 1924. Desde 1920 se efectuaron pruebas activas de aleaciones de molibdeno para cojinetes utilizados en la industria automotriz por Studebaker. Por esta - razón, en 1925 se aceptaron algunos aceros cromo-molibdeno --- (serie SAE 41 000) por la Society of Automotive Engineers.

Esto provocó una reactivación inmediata de las minas de - molibdeno en los Estados Unidos. La mina Questa en Nuevo Me-- xico fue reabierta en 1923 y la mina Climax en Colorado empezó su producción en 1924. La producción de molibdeno en los Es-- tados Unidos, que se había suspendido en 1921 y 1922, alcanzó- 135 toneladas métricas por año en 1924, y más de 500 toneladas por año en 1925, casi 50% más que la producción obtenida en el mejor año de la guerra en 1918.

El mayor adelanto tecnológico sucedió en 1930, cuando la armería Watertown descubrió las razones de las fallas prematuras de los aceros de alta velocidad base molibdeno. Esto determinó los rangos de temperatura apropiados para forjar y tratar térmicamente éstas aleaciones, lo cual provocó la apertura de nuevos mercados. Sin embargo, la recuperación de los mercados fue lenta. La mala reputación en el negocio tuvo grandes efectos. Durante los años 30's, cuando la producción de los Estados Unidos, gracias a la enorme operación de Climax aportó cerca del 90% de la producción mundial, los Estados Unidos no sólo satisficieron sus necesidades de molibdeno sino que exportaron aproximadamente el 50% de su producción. Australia y Noruega continuaron siendo productores considerables. Aparte de las producciones pequeñas en Australia y Corea, y la producción de los Estados Unidos en ninguna otra parte se producía molibdeno.

En este período, la investigación científica permitió un conocimiento completo de las principales ventajas del molibdeno como un metal aleante muy importante. Al igual que el cromo y tungsteno, que se encuentran en el mismo grupo del Sistema Periódico de Mendeleeff, el molibdeno puede funcionar anfotéricamente; es decir, como metal y como no metal. En las aleaciones confiere templabilidad, tenacidad, resistencia a la tracción y a la corrosión y actúa muy bien en combinación con cromo, tungsteno, níquel y manganeso. Fue en esta época cuando se descubrieron las excelentes propiedades aleantes del molibdeno, no sólo en los aceros, sino también en las fundiciones y con los metales no ferrosos. Todos estos desarrollos contribuyeron grandemente al consumo de molibdeno en los aceros estructurales, aceros de herramienta, super aleaciones, fundiciones y usos químicos e industriales, lo cual incrementó la producción en la posguerra en 1923, de 135 toneladas métricas por año a más de 16 000 toneladas métricas por año en 1938 justo antes de la Segunda Guerra Mundial.

II.7 RECUPERACION COMO SUBPRODUCTO A PARTIR DE COBRES PORFIDICOS.

Otro avance tecnológico considerable, actualmente, inde--

pendiente por completo de la investigación de Climax, fue el éxito de la Anaconda en la recuperación del primer molibdeno como subproducto a partir de cobres porfídicos. El significado-histórico de este evento puede ser apreciado por el hecho de que, desde los primeros comienzos de este proceso en 1933-1934 aportó una adición a la producción que fue en promedio de 500-toneladas métricas por año, esto se ha desarrollado actualmente en el empleo de 35 000 toneladas por año adicionales; es decir, 44% de la producción mundial actual de molibdeno.

La historia entera empezó en los años 30's, cuando los -- metalurgistas americanos que trabajaban en la Green Cananea -- Consolidated Company en Sonora, México (propiedad de la Anaconda), observaron la presencia de un material grisáceo brillante dispuesto en forma de laminillas que flotaba en el circuito de cobre y no parecía ser alguno de los minerales conocidos de cobre. Los estudios subsecuentes probaron la presencia de una concentración excepcionalmente alta de molibdeno en las cabezas de cobre, la cual en algunas ocasiones alcanzaba valores del orden de 0.5% de MoS_2 .

La situación económica crítica después de la Depresión aconsejaba sin duda, disminuir los costos de operación. Uno de los caminos era la recuperación de algunos subproductos. De hecho, en esa época, muchas minas subsistieron únicamente por causa de las recuperaciones de oro y plata que tenían, a partir de los minerales de cobre. Por consiguiente, la idea de recuperar un subproducto nuevo, a pesar de la situación difícil de inversión, se consideró inmediatamente.

El primer proceso para la recuperación de molibdeno como-subproducto consistía más o menos en lo siguiente: la mena, -- que contenía minerales de cobre, pirita y molibdenita, se sometía a una trituración, molienda y clasificación en la forma convencional. Después se acondicionaba con xantato, aceite de pino, cianuro y almidón en un circuito alcalino. El xantato y el aceite de pino servían como colector y espumante respectivamente para la flotación de los minerales de cobre. El cianuro y el almidón se agregaban para deprimir a la molibdenita y el circuito alcalino se establecía para mantener a la pirita deprimida.

La flotación se efectuaba en dos etapas (flotación selectiva): primero, se flotaba el cobre en un concentrado de cobre de grado alto, mientras que la molibdenita y la pirita se descargaban junto con los minerales de ganga en las colas. Entonces la pulpa, antes de pasar a la segunda etapa de flotación - en celdas de tipo Inspiration, era alimentada con querosén, para activar y flotar a la molibdenita con el aceite de pino residual. La pirita permanecía desactivada y era descargada en los jales.

El concentrado de la segunda etapa era molibdenita de bajo grado con cantidades apreciables de cobre, que no flotaban en la primera etapa, o que estaban asociadas como medios con molibdeno y pirita. Este producto era remolido y flotado nuevamente varias veces en máquinas de flotación Denver Sub-A, en un circuito a contracorriente.

Esta nueva producción de molibdeno como subproducto, transformó, de la noche a la mañana, a México en el segundo mayor productor de molibdeno en el mundo, debido a las capacidades relativamente grandes que se trataban en Cananea. En 15 años de recuperación continua de concentrado de molibdenita, - de 1933 a 1947, esta compañía recuperó cerca de 7 300 toneladas métricas de molibdeno; es decir, un promedio anual de aproximadamente 1 000 toneladas métricas por año de concentrado de molibdenita. Al principio, fue tan pequeño el impacto de esta producción en el mercado relativamente pequeño del molibdeno, que la Green Cananea tuvo que atraer compradores despachando los concentrados en barriles de roble, los cuales podrían ser utilizados después como barricas para vino y whisky.

II.8 INVESTIGACION DE LA KENNECOTT Y PRODUCCION CHILENA

El desarrollo de un proceso nuevo por la Anaconda en Cananea no podía pasar por alto por otro de los productores importantes de cobre en los Estados Unidos. Esto llevó a la conclusión de que la mayoría de los cobres porfídicos, que son la fuente de producción de cobre en el suroeste de los Estados Unidos, al igual que el principal abastecedor de cobre para el Hemisferio Occidental, contienen cantidades importantes de molibdenita, las cuales alcanzan frecuentemente concentraciones-

económicas que permiten su recuperación como subproducto.

No es extraño entonces que la Kennecott Copper Corporation el mayor productor de cobre en los Estados Unidos y el poseedor de minas importantes en Utah, Arizona, Nevada y Nuevo México, empezará a realizar inmediatamente sus propias investigaciones al respecto.

El sitio lógico para iniciar esta labor fue la propiedad en Utah, localizada en Bingham Canyon, la cual en aquella época era conocida como el mayor depósito de cobre en el mundo. El contenido de molibdeno de esta mina era considerablemente menor que el encontrado en Cananea, probablemente sólo entre el 0.05% y 0.1% de MoS_2 , sin embargo, aún ésta pequeña cantidad de producto era comercialmente atractiva debido a la enorme escala de operaciones en Utah. La otra propiedad interesante para la recuperación de molibdeno como subproducto era la subsidiaria chilena perteneciente a la Kennecott, the Braden Copper Company, conocida actualmente con el nombre de El Teniente. Aquí el contenido de molibdeno en las cabezas se presentaba incluso algo mayor que en Utah.

El proceso desarrollado para la recuperación de molibdeno en Utah y Braden era sustancialmente diferente el desarrollado por la Anaconda. En primer lugar, se mostró que con cantidades de molibdenita tan pequeñas en las cabezas, la flotación selectiva no es practicable. Esto condujo inmediatamente a la aceptación de una flotación colectiva de cobre y molibdeno en un concentrado primario (rougher), que era tratado posteriormente para enriquecerlo y después efectuar la separación cobre-molibdeno utilizando una flotación selectiva, deprimiendo el cobre y flotando primero la molibdenita y tratando nuevamente el concentrado rougher de molibdeno en un circuito a contracorriente. A continuación se descargaba el concentrado final de cobre, así como las colas del circuito de flotación de molibdenita.

Este nuevo proceso tenía algunas diferencias pequeñas, ya que mientras en Utah se utilizaba un circuito alcalino para la

flotación primaria, en Braden se usaban un circuito ácido. Esta última alternativa, se adoptó debido a las recuperaciones de cobre altas, aunque tenía un inconveniente, parte de la pirita flotaba junto con cobre y molibdeno en el concentrado rougher y por consiguiente, debía ser eliminada de una forma especial. Este punto de vista metalúrgico se discutirá más adelante.

El proceso Kennecott, diseñado principalmente por T.A. - Janney, fue establecido en las plantas Kennecott en 1936. Para la depresión del cobre se involucraba un tratamiento térmico de los concentrados. Este método laborioso de depresión -- fue reemplazado después por depresión química con un depresor instantáneo fabricado con pentasulfuro de fósforo y sosa cáustica (reactivo LR 744).

El circuito de recuperación de molibdeno en Braden se introdujo en 1938. En su primer año de operación, en 1939, produjo sólo 30 toneladas métricas de concentrado, pero en 1940 - la producción alcanzó 260 toneladas métricas, en 1942 se produjeron 570 toneladas métricas, hasta que en 1944 se alcanzaron más de 1 000 toneladas métricas, durante la guerra. Este incremento fuerte en la producción transformó a Chile en el segundo productor de molibdeno en el mundo, desplazando a México de su lugar, precisamente en 1944. Desde el inicio de sus operaciones, hasta 1975 inclusive, El Teniente ha producido 60 207 toneladas métricas de molibdeno, aproximadamente el 4% del molibdeno históricamente producido en todo el mundo.

La recuperación de molibdeno como subproducto en los Estados Unidos, junto con el crecimiento de Climax Molybdenum, - fue fundamental para la rápida expansión de la producción de molibdeno en Estados Unidos, la cual creció de 4 200 toneladas métricas en 1934 a 7 800 toneladas en 1936 y a más de 15 500 toneladas métricas en 1940.

En 1940, cuando empezó la guerra en algunas partes del mundo mientras que otras estaban en plena preparación, la producción de molibdeno se encontraba de la siguiente manera:

Estados Unidos	15 543 tm.	Australia	20 tm.
Corea	453 tm.	Austria	3 tm.
México	309 tm.	Canadá	5 tm.
Noruega	287 tm.	Finlandia	45 tm.
Chile	267 tm.	Italia	15 tm.
Perú	152 tm.	Japón	15 tm.
Unión Soviética	150 tm.	Yugoslavia	52 tm.

Producción Total 17 450 tm.

En otras palabras, el 89% de la producción mundial de molibdeno estaba en manos de los Estados Unidos y únicamente un poco más del 2% en manos del triángulo Alemania-Japón-Italia.- Sin embargo, con la ocupación de algunos territorios Europeos y Asiáticos, el molibdeno potencial de las fuerzas del Eje aumentó hasta aproximadamente 1 800 toneladas métricas por año, lo cual era una cifra más aceptable. La Unión Soviética también compartió el mismo problema: la recuperación como subproducto de las minas de tungsteno fue baja y los grandes pórfidos de cobre no habían iniciado la recuperación del subproducto. En este caso la ayuda Americana fue de urgencia extrema e importante.

II.9 LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

En el inicio de la Segunda Guerra Mundial el molibdeno ya era un material tecnológico ampliamente aceptado. El molibdeno no se utilizó únicamente como una parte importante de los aceros estructurales sino que también se usó como sustituto importante del tungsteno en todo tipo de armamentos que eran utilizados en cantidades desconocidas en múltiples ofensivas.- Los tanques, los bombarderos pesados para aviación y artillería, el despliegue de numerosos submarinos y, finalmente, los acorazados, consumían cantidades fantásticas de acero, aleaciones y metales de calidad en general. Se ha estimado que para-

producir todo el equipo militar y civil necesario para la guerra, se consumieron cerca de 170 000 toneladas métricas de molibdeno entre 1938 y 1945. Esto fue considerablemente mayor que todo el consumo mundial anterior.

Un resumen detallado de la producción mundial de molibdeno durante la Segunda Guerra Mundial se presenta en la tabla II.2. Se observa un crecimiento estable hasta el año crucial de 1943, cuando la decisión de la coalición Alemania-Japón-Italia fue rota y una disminución gradual, conforme el fin de la guerra se acercaba, estaba a la vista.

Al principio de la guerra, la coalición Alemania-Italia-Japón obtuvo un número importante de victorias lo cual permitió la ocupación de algunos países. Entre los cuales estaban varios productores de molibdeno tales como Austria, Yugoslavia, Noruega, Finlandia, Manchuria, Corea y otros. A pesar de la mejor situación del abastecimiento y los esfuerzos extremos para levantar la producción, la coalición antes mencionada estaba sufriendo de escasez de molibdeno. Uno de los blancos estratégicos de los alemanes en Rusia era alcanzar las minas importantes de molibdeno y tungsteno en el Cáucaso, blanco que fue ejecutado únicamente en forma parcial. Por otra parte, con su producción razonable, estaba enviando embarques sustanciales desde Manchuria y Corea, del orden de 1 000 toneladas métricas de molibdeno por año. Esto fue superior al 50% del total obtenido por las potencias del Eje.

T a b l a II.2

PRODUCCION DE MOLIBDENO DURANTE LA SEGUNDA GUERRA
MUNDIAL
(expresada en toneladas métricas)

	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945
Estados Unidos	13 710	15 544	18 284	25 795	27 935	17 522	13 953
México	522	309	521	854	1 136	716	467
Chile	30	267	229	579	679	1 012	840
Manchuria	-	-	75	384	515	515	30
Corea	400	453	392	460	462	362	155
Noruega	426	287	229	367	227	248	76
Canadá	-	5	47	43	178	508	228
Finlandia	-	47	148	126	108	110	92
Perú	165	152	146	154	85	62	30
Otros	297	336	229	238	245	315	429
PRODUCCION MUNDIAL	15 580	17 400	20 300	29 000	31 570	21 400	16 300

Fuente: U.S. Bureau of Mines, Information Circular 7784.

Una de las tremendas ventajas de los aliados era su control práctico de todos los recursos de molibdeno más importantes del mundo, empezando con los enormes cuerpos minerales en los Estados Unidos y terminando en Canadá. Latinoamérica y -- Australia. Bajo las mejores circunstancias, los aliados Alemania-Italia-Japón podrían contar únicamente con el 10% de los aprovisionamientos mundiales de molibdeno en aquellos años. - Por otra parte, solo la mina Climax, actualmente con un capaci

dad de molienda de 16 000 toneladas métricas por día, estaba produciendo el 75% de la producción mundial de molibdeno.

II.10 DESARROLLO DURANTE LA POSGUERRA

Con Climax Molybdenum encargada del 75% de la producción mundial, la planeación de la estrategia a causa de las condiciones de la posguerra fue fácil y eficiente. En primer lugar durante los años de la guerra, la compañía tenía un exceso de ingresos por parte del Estado de \$ 120 millones, una suma enorme para aquellos años. Esto podría permitir un esfuerzo bien organizado y planeado para la investigación de usos no militares del molibdeno. Entonces, indudablemente, la compañía adquirió una experiencia considerable en el comercio y desarrollo de productos de molibdeno. Esta combinación ayudó considerablemente a evitar un colapso en el comercio del molibdeno, tal como sucedió después de la Primera Guerra Mundial.

De esta manera, aun cuando la producción de 1946, en la escala mundial, corresponde a un tercio de la que era durante los años críticos de la guerra, en 1943, y es sólo un tercio menor que en los años de la preguerra. Esto indica que los usos no militares del molibdeno son mayores que antes de la guerra y que la industria es suficientemente madura para subsistir a caídas agudas en la demanda. La situación es favorecida considerablemente por el hecho de que una parte substancial de molibdeno es recuperada como subproducto, con un bajo costo y, además, las propias operaciones de molibdeno están ocupándose crecientemente en la recuperación de sus propios subproductos, tales como tungsteno, estaño y pirita, más una cantidad pequeña de metales no ferrosos, lo cual ayuda a pagar algunos costos de producción.

La reconstrucción del mundo durante la posguerra por medio del Plan Marshall y otros proyectos, aumentó considerablemente el consumo de acero estructural para la construcción de barcos, ferrocarriles, puentes, automóviles, trenes, aviones y por supuesto, de instalaciones industriales de toda especie y ciudades. Esto incrementó la demanda de molibdeno en cerca del 34% de 1946 a 1950, hasta un consumo total de 14 500 toneladas métricas por año en 1950.

Después vino la Guerra de Corea, cuyos requerimientos militares están reflejados por el consumo de 5 570 toneladas métricas extra en el primer año de aquella guerra; sobre 8 000 toneladas métricas en el segundo año y cerca de 14 500 toneladas métricas en el tercer año. Los Estados Unidos abastecieron cerca del 85% del molibdeno extra consumido en el conato de la guerra. Sin embargo, la deficiencia temporal en el abasto de molibdeno para la guerra, forzó al gobierno de los Estados Unidos para colocar al molibdeno en la lista de materiales estratégicos críticos. Para mejorar la demanda-situación de abastecimiento -, el gobierno favoreció nuevas inversiones con crédito cómodo y registró contratos a largo plazo con condiciones favorables particularmente para los productores, garantizando un precio estable durante períodos grandes de tiempo.

Esto no fue difícil para ejecutarse debido a que Climax-Molybdenum tenía dominio y control muy fuertes del mercado. Esta compañía mantuvo una política sólida al fijar el precio y mantenerlo bajo control. De hecho, durante las décadas siguientes a la Primera Guerra Mundial, el precio por libra de molibdeno fue reducido de \$ 1.05 en 1923 a \$ 0.70 en 1925, después a \$ 0.50 en 1931 y, finalmente, permaneció sin variación en \$ 0.45 por libra desde 1931 hasta 1948, lo cual favoreció considerablemente al molibdeno sobre el tungsteno y creó un estado de confianza para sus productos.

En 1954, el precio se mantuvo a \$ 1.05 y después empezó a incrementarse gradualmente debido a la inflación y al agotamiento de los minerales de grado alto. En dólares constantes la diferencia es casi imperceptible como puede apreciarse en la siguiente tabla:

Año	Precio anual promedio en dólares por Lb.	
	Precios corrientes	Dólares constantes en 1973
1954	1.05	1.81
1960	1.25	1.87
1965	1.55	2.16
1970	1.72	1.96
1973	1.72	1.72

Sólo la recesión mundial, causada por la crisis de energéticos, el reemplazo de los estándares de oro y el nuevo establecimiento de precios y costos provocaron cambios considerables en el comercio del molibdeno. El precio promedio en 1974 fue de aproximadamente \$ 2.38 por Lb., equivalente a \$ 2.16 en dólares corrientes de 1973. El precio en 1975 se elevó hasta \$ 2.62 por libra y en 1976 cerró a \$ 2.90 .

II.11 AVANCES TECNOLOGICOS

Durante el período de la posguerra, se desarrollaron algunos usos tecnológicos nuevos para el molibdeno y sus aleaciones. En primer lugar, el molibdeno se convirtió en un material indispensable para la nuclear y la época espacial. Todos los detalles de la energía nuclear y los usos espaciales del molibdeno no son conocidos aun, dentro de los que se trabajan oficialmente se tiene que el molibdeno es utilizado eficazmente en protectores térmicos, tuberías y partes estructurales de los reactores para la industria nuclear. Además, es utilizado ampliamente en las industrias de proyectiles y cohetes, donde es valiosa su resistencia en altas temperaturas. De aquí que se justifica la utilidad del molibdeno y sus aleaciones para fabricar toberas, álabes de turbina, bombas, pozos térmicos y protectores para radiación térmica. Otro campo prometedor que presenta un desarrollo creciente es el que se refiere a los motores para jet, los cuales trabajan en altas velocidades incrementando las temperaturas de operación; esto ha provocado un fuerte impulso para mejorar la economía del combustible, y generalmente minimiza las condiciones que deben tomarse bajo regulaciones muy seguras y exento de todo peligro.

La expansión de nuestras economías ha producido un esfuerzo particular sobre los métodos eficientes para recuperar, minar y transportar los recursos minerales, incluyendo combustibles como carbón, petróleo y gas natural. Algunas de estas operaciones tienen que efectuarse bajo circunstancias extremas tales como: climas tropicales, polares o algún otro inconveniente, las cuales requieren del uso de materiales especiales. En este sentido, aparte del desarrollo de diferentes aceros estructurales y productos a base de aceros inoxidable, se han realizado esfuerzos considerables para desarrollar ciertos pro

ductos tubulares tan necesarios para la distribución de petróleo y gas. Así mismo, se están utilizando exitosamente aceros de baja aleación y alta resistencia para tuberías que transportan gas natural desde las regiones árticas. Se han realizado diversas mejoras en lo que respecta a equipo para barrenación, bolas de molino tipo molycop, materiales de motores diseñados para combustibles sin plomo, etc.

Estos materiales tienen un tonelaje de consumo alto y --son complementados con productos más delicados pero muy esenciales tales como partes electrónicas, catalizadores para descomposición térmica -cracking- y reformación para la industria del petróleo, nuevos productos farmacéuticos y químicos, mol--des, etc. Actualmente se están diseñando nuevas super-aleaciones especiales para resistir a la corrosión en altas temperaturas que puedan reemplazar materiales más costosos.

II.12 EXPANSION DE LA PRODUCCION

La tecnología durante la posguerra y la expansión de la escala de operaciones han permitido el incremento de la producción sin elevar substancialmente los costos. A pesar del hecho de que en muchas operaciones el grado del mineral ha disminuído considerablemente, se han introducido tecnologías nuevas y más eficientes lo cual ha permitido ahorros importantes en operaciones de gran escala. En los primeros años de producción, Climax trató minerales de 0.5 y 0.4 de molibdeno, actualmente opera con buen resultado con mineral de 0.2% de molibdeno y algunas operaciones reportan cabezas menores del 0.1% de molibdeno. Muchas operaciones de subproducto recuperan molibdeno de cabezas considerablemente menores que 0.01% de molibdeno, lo cual solo muestra cómo el progreso tecnológico ha mejorado los costos operacionales.

Los años de la posguerra mostraron los grandes esfuerzos realizados en la aplicación y desarrollo de nuevas tecnologías para la recuperación de molibdeno primario y como subproducto. A través del aumento en las operaciones de beneficio del mineral, reflejadas en el empleo de trituradoras gigantes, aire a presión y molienda autógena, hidrociclones, celdas de flotación con capacidad de 300, 400 y aun 500 pies cúbicos, contro-

les automáticos, computadoras, etc., obtención de fórmulas nuevas para reactivos, mejoramiento de colectores y espumantes, simplificación de los métodos de minado a gran escala, cambios drásticos en los métodos de transportación, técnicas nuevas en tostación - tales como fluosolids -, nuevos métodos hidrometalúrgicos de purificación y procesamiento de productos de molibdeno, así como la mejor presentación y comercio de estos productos. El molibdeno no solamente se ha convertido en una mercancía sofisticada sino que también es una mercancía producida y comercializada en la forma más sofisticada, de acuerdo a las técnicas contemporáneas más avanzadas.

Con todo este progreso, particularmente en los usos pacíficos del molibdeno, ha disminuído su impacto militar, no obstante que el estratégico permanece. El molibdeno es aun un material estratégico vital en la economía mundial. Sin embargo se ha vuelto mas importante su producción masiva para usos comunes., exploración espacial, jets, automóviles y otros tipos de transportes, usos químicos, más que para fabricación de implementos para equipos militares. El desarrollo de la producción en los 60's fue debido casi enteramente al crecimiento -- efectivo de la economía mundial y no tanto a la Guerra de Vietnam. Además, la demanda de molibdeno está influenciada actualmente más por diversas actividades industriales y civiles, --transportación, minería, energía y otros problemas más que por las necesidades estrictamente militares y de guerra. Esto se refleja claramente en la decisión reciente del gobierno de Estados Unidos para reducir al mínimo la restrictiva del gobierno en lo que respecta a las reservas estratégicas. Esta acumulación constaba tradicionalmente de 25 000 toneladas métricas -- aproximadamente de molibdeno en diferentes formas, tales como disulfuro de molibdeno, óxido molíbdico y ferromolibdeno. A fines de 1974, este abastecimiento contenía sólo cerca de 1 000 toneladas métricas de molibdeno. En aquel año la General Services Administration (GSA), dispuso de aproximadamente 16 000 toneladas métricas de molibdeno, vendiéndolas a los productores domésticos bajo convenios de compra a largo plazo.

Después de 200 años desde su descubrimiento y con cerca de 50 años de usos tecnológicos efectivos, el metal molibdeno -- consumido por nuestra civilización en una magnitud estimada de

1 500 000 toneladas métricas se ha incorporado en nuestra vida diaria como un metal aditivo importante, él cual es utilizado-incrementada y progresivamente con el crecimiento de nuestra - tecnología y economía.

II. 13 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO II

- 1.- Wilmer Mc. Innis. Molybdenum. A materials Survey. U.S. Bureau of Mines, Information Circular No. 7784, 1957.
- 2.- A. Sutulov. Molybdenum Extraction Metallurgy. University of Concepción, Chile. 1965.
- 3.- A. Kuklis. Molybdenum, Mineral Facts and Problems, - 1975. edition, U.S. Bureau of Mines, Bulletin 667.1975
- 4.- A. Kuklis. Molybdenum, Reprint of Commodities Survey - for 1974. U.S. Bureau of Mines Yearbook for 1974.
- 5.- This is Climax Molybdenum - Company Pamphlet.
- 6.- Agricola Georgius. De Re Metallica, translated by H.C. and L.H. Hoover, Dover Publications, New York, 1950.
- 7.- L. Atchison. A History of Metals. Interscience Publishers, New York, 1960
- 8.- Deco Trefoil. Anaconda Again Produces Molybdenum. May-June-July. 1959.
- 9.- Encyclopaedia Britannica. Alchemy, Vol.I. p. 534, 1957
- 10.- A.B. Parsons. The Porphyry Coppers in 1956, AIME, New York, 1957.
- 11.- A.F. Taggart. Handbook of Mineral Dressing, 12-75, John Willey and Sons, New York, 1950
- 12.- A. Sutulov. Mineral Resources and the Economy of the -- USSR. Salt Lake City, Utah. Mc. Graw Publication, 1973.

CAPITULO III

RECURSOS MINERALES DE MOLIBDENO

III.1 APRECIACION GENERAL

A pesar de sus usos significativos y su abastecimiento - relativamente limitado, los recursos de molibdeno, en la época actual, deben considerarse como adecuados. Estos recursos son realmente importantes y aun abundantes en el Hemisferio Occidental, particularmente en los Estados Unidos, que controlan - más de la mitad de los recursos mundiales conocidos. El estado de Colorado, con sus dos pórfidos gigantes de molibdeno en Climax y Henderson, contribuye aproximadamente con la cuarta - parte del total mundial. Esto es, de hecho, 50% más que todos los recursos juntos que se localizan fuera del Hemisferio Occidental - en Europa, Africa, Asia, Australia y Oceanía, incluyen - do a la URSS-.

Por otra parte, la otra superpotencia, la Unión Soviética, es pobre aun en recursos de molibdeno. Sus reservas identificadas no estan tan claras y evidentes como, por ejemplo, - las correspondientes en los Estados Unidos y Latinoamérica. - Teniendo aproximadamente el 16.7% de la superficie mundial, la Unión Soviética cuenta con cerca del 8% de los recursos mundiales de molibdeno, de los cuales sólo el 40% son reservas. Es cierto, que aun existe un potencial enorme por descubrir de - nuevos depósitos de molibdeno en este país relativamente inexplorado, la mayor parte del cual se localiza en climas inhóspitos. Sin embargo, una de las principales razones por las cuales los recursos de molibdeno soviético son bajos es el hecho - de que se encontraron muy pocos pórfidos de cobre y molibdeno - en esta inmensa porción de la corteza terrestre. La mayoría - de las minas de molibdeno en la Unión Soviética son yacimientos pequeños del mineral o depósitos magmáticos y de metasomatismo de contacto con cantidades de molibdeno relativamente insignificantes. Los pórfidos hidrotermales son escasos y, además, muy bajos en contenido de molibdeno.

Con todo esto, la Unión Soviética es el único poseedor importante de recursos de molibdeno en los países del mundo - comunista, aparte de China, cuyos recursos son aproximadamente la quinta parte de los de la Unión Soviética. Si tomamos en consideración que China ocupa el 7% de la superficie mundial aproximadamente y aporta únicamente el 1.6% de los recur-

osos mundiales de molibdeno (la mayor parte asociados con tungsteno), entonces su riqueza relativa por unidad de área en estos recursos es la mitad de la correspondiente a la Unión Soviética, y sólo un cuarto del promedio mundial. Contrariamente a esto, los recursos de molibdeno de los Estados Unidos son 7.5 veces superiores que la distribución mundial promedio. Esto implica un factor de 15 en la riqueza relativa del suelo americano por milla cuadrada, en comparación con la Unión Soviética y más que 32 cuando se compara con China. Esto podría ser un factor de grandes implicaciones estratégicas. De hecho, se sabe que durante la Segunda Guerra Mundial la Unión Soviética confió en el abastecimiento de molibdeno de los Estados Unidos.

Aparte de la Unión Soviética, - en el mundo comunista, sólo Yugoslavia, Bulgaria y Corea del Norte tienen recursos de molibdeno de cierta importancia. De hecho, Yugoslavia es un prospecto muy prometedor debido a sus pórfidos de molibdeno y cobre, que igualan a los recursos de este territorio relativamente pequeño con aquellos que tiene la inmensa China.

En América del Sur, Chile y Perú son los poseedores importantes en recursos de molibdeno, debido principalmente a la riqueza de sus depósitos porfíricos de cobre. Fuera de esto, no se han encontrado pórfidos de molibdeno en este continente, pero aun sin ellos los recursos de molibdeno de América del Sur exceden a los del mundo comunista, incluyendo a la Unión Soviética y a China, por un factor de 90%. También, se han encontrado algunos recursos de molibdeno de cierta importancia en Argentina, Ecuador, Colombia, Panamá y Puerto Rico, donde se han descubierto algunos pórfidos de cobre importantes.

En México se han encontrado algunos recursos de molibdeno interesantes. Estos yacimientos pertenecen a las mismas formaciones geológicas que aquellos encontrados en el sudoeste de los Estados Unidos. Puesto que en México - particularmente en la parte norte -, se tienen grandes reservas conocidas de cobre porfírico, existen también buenas posibilidades de descubrimiento de molibdeno adicional.

Entre los países industriales de occidente, Canadá participa en un segundo lugar con Chile, después de los Estados Unidos. Sus recursos de molibdeno son mayores en proporción a su territorio, siendo el doble en importancia en comparación con

la significación relativa de su territorio: 14.5% de los recursos mundiales de molibdeno vs. 7.5% de la superficie terrestre. Aun cuando los recursos de molibdeno canadienses equivalen sólo a la cuarta parte de los que poseen los Estados Unidos, son enormes y representan una reserva estratégica de gran importancia. Los recursos conocidos se han incrementado considerablemente en los últimos años, debido a que se han descubierto grandes pórfidos de cobre en Columbia Británica. La peculiaridad de los cobres porfídicos de Columbia Británica es que la proporción de molibdeno a cobre es considerablemente mayor que las que tienen la Unión Soviética y los Estados Unidos. Esto es frecuentemente el factor económico controlante en su explotación, debido a que, el contenido de cobre es muy bajo. Aparte de los pórfidos de cobre, Canadá tiene depósitos de molibdeno ricos, en Columbia Británica y en otros lugares. Sin embargo, Columbia Británica, contribuye con el 80% aproximadamente de los recursos de molibdeno de Canadá.

En otras partes del mundo, Africa aparece con recursos de molibdeno muy pobres. Sólo en Marruecos y Sierra Leona existen algunos indicios de recursos de molibdeno, sin embargo son escasos. Asia, con todo su inmenso territorio (y sin incluir a la Unión Soviética), tiene por ejemplo, una sexta parte de los recursos de molibdeno que Chile. Solamente China, que posee dos tercios de estos recursos, puede considerarse importante. Por otra parte, solo Japón, Burma e Irán tienen recursos de cierta importancia, este último país debido a sus depósitos porfídicos de cobre. La producción de molibdeno japonesa en tiempo de paz no es muy significativa, al menos en comparación con sus industrias siderúrgicas y la producción industrial en general. Aun cuando, tiene, un potencial para crecer en tiempos de emergencia. A pesar de eso, en época de paz y guerra, Japón depende de importaciones substanciales de molibdeno del exterior. Actualmente importa casi todo su molibdeno del hemisferio occidental, principalmente de los Estados Unidos, Canadá y América del Sur.

Europa, excepto los países comunistas - Yugoslavia, Rumania y Bulgaria - por una parte y España por otra, está prácticamente privada de recursos de molibdeno. El viejo depósito en Knaben parece estar agotado o al menos no es costeable para

trabajarse. En otras partes de Europa no se conoce la existencia de reservas.

Australia, tradicionalmente, uno de los más antiguos y persistentes productores de molibdeno solo muestra reservas -- muy modestas en comparación con su enorme territorio. Existen reservas potenciales muy buenas en Oceanía y, particularmente en Borneo, Bougainville, Nueva Guinea y las Filipinas, donde se han descubierto pórfidos de cobre interesantes.

Con respecto a las otras regiones inhóspitas del planeta, se han encontrado recursos de molibdeno en la Antártida y --- Groenlandia. Los depósitos de Groenlandia son aparentemente -- de gran importancia de tal forma que han atraído la atención -- del coloso American Metal Climax. Los depósitos en la Antártida están asociados aparentemente con minerales de cobre que se han detectado, pero se necesitan más exploraciones para determinar la potencialidad real de aquel territorio.

Geopolíticamente hablando, el hemisferio occidental tiene una preponderancia de 7:1 en recursos de molibdeno sobre el hemisferio oriental. Los países industriales del mundo occidental, incluyendo a Japón, controlan actualmente el 66% de -- los recursos mundiales de molibdeno, los cuales están, además, en sus propios territorios (una situación de contraste para -- algunos otros metales básicos); estos países tienen también -- acceso y podrían ejercer control sobre otro 21% de los recursos mundiales totales de molibdeno que se localizan en el Tercer Mundo. Los recursos totales de molibdeno del Tercer Mundo son aproximadamente el 22.5% de total mundial. Los países del bloque comunista controlan sólo el 11.5% de los recursos mundiales de molibdeno y potencialmente pueden ejercer control sobre otro 6 a 8% de los recursos, en caso de guerra.

En tiempo de paz, el mundo industrial occidental, y especialmente Europa y Japón, dependen básicamente de las importaciones de molibdeno que hacen de los Estados Unidos, Canadá y América del Sur. Por otra parte, la Unión Soviética, con su -- producción limitada puede sólo satisfacer parcialmente las necesidades de sus aliados en Europa, mientras que China y Corea tienen aun potencial para suplicar a la parte asiática del -- bloque comunista. Africa es un blanco en este contexto. Debi

do a que no posee una industria siderúrgica considerable. África consume realmente muy poco molibdeno, pero con el tiempo se sentirá la escasez de este metal de aleación.

Los países del Tercer Mundo, debido a sus economías subdesarrolladas, representan sólo 10% del total mundial (los países desarrollados - 61% y el bloque comunista - 29%), no pueden tomar las precauciones adecuadas de sus recursos de molibdeno, los que representan el 22.5% del total mundial, tampoco pueden consumir todo el molibdeno que producen. Mientras que contribuyen con el 6% aproximadamente de la producción mundial de acero, producen un 8% del molibdeno mundial. De hecho, todo este molibdeno es producido en Latinoamérica, que contribuye con un 3.4% aproximadamente de la producción mundial de acero. No es extraño entonces que la mayor parte del molibdeno del Tercer Mundo esté siendo exportado a las naciones industriales occidentales.

III.2 MINERALES DE MOLIBDENO

El molibdeno, al igual que sus homólogos inmediato inferior y superior, cromo y tungsteno, del subgrupo 6-B del Sistema Periódico de Elementos de Mendeleeff, forma un número relativamente pequeño de especies minerales independientes, no obstante se ha detectado en algunas formaciones rocosas minerales comunes, como elemento en menor proporción.

Actualmente se han reconocido en la naturaleza, un poco más de una docena de minerales de molibdeno, siendo la molibdenita el más importante y abundante de todos estos. De hecho, la molibdenita es virtualmente el único mineral de molibdeno de interés económico para explotación práctica: además es siempre de origen hipogénico. Entre los otros minerales de molibdeno de cierta importancia pasada o presente están: la wulfenita, un molibdato de plomo ($PbMoO_4$) y la powelita ($Ca(MoW)O_4$). La powelita, también como ferromolibdato ($Fe_2(MoO_4)_3 \cdot 8H_2O$), no obstante que se presenta frecuentemente en minerales de molibdeno de origen secundario no es susceptible de beneficio -- por los métodos de concentración convencionales y, por consiguiente, carece de interés económico.

La wulfenita y la powelita fueron importantes económica-

mente en los Estados Unidos en el período inicial de la producción de molibdeno, antes de la Primera Guerra Mundial, cuando estos minerales formaban una parte importante de la producción de Arizona.

Entre los minerales menos conocidos de molibdeno están: la Ilsemanita $\text{Mo}_3\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$?, un oxisulfato de molibdeno, y la --jordisita, un disulfuro de molibdeno amorfo.

III.3 DEPOSITOS DE MOLIBDENO

En términos generales, el molibdeno es un elemento raro, debido a que su abundancia en forma cristalizada es de aproximadamente 1 a 1.5 ppm comparado con 50 a 70 ppm para cobre. - Nunca aparece en estado libre como elemento nativo, sólo en --combinación con otros elementos como el azufre, oxígeno, tungsteno, plomo, hierro, magnesio, cobalto, vanadio, bismuto, calcio y uranio.

Existen cinco tipos de depósitos minerales de molibdeno en donde el molibdeno se presenta en concentraciones comerciales.

Estos son:

- 1.- Depósitos de pórfidos diseminados.
- 2.- Depósitos metamórficos de contacto.
- 3.- Vetas cuarzosas.
- 4.- Pegmatitas y diques de aplita.
- 5.- Depósitos estratificados en rocas sedimentarias.

Los depósitos de pórfido diseminado son los cuerpos minerales más importantes y significativos comercialmente. Estos cuerpos están como brecha y tipo stockwork (arranque de mineral en masa grande de roca alterada y fracturada). Esta mineralización puede ser predominantemente molibídica o cupri-ferrosa, y depende en que los pórfidos de molibdeno contribuyen proba--

blemente en un 90-95% de las reservas y producción mundiales de molibdeno.

Los depósitos metamórficos de contacto ocupan zonas de calizas silicificadas adyacentes a rocas intrusivas de granito. Estos depósitos son considerablemente menores que los depósitos de tipo porfídico y su contenido de molibdeno está entre 0.1 y 0.2% MoS_2 . Tales yacimientos contienen también scheelita, bismutinita y algunas veces cobre. Los ejemplos más conocidos de estos depósitos son Pine Creek en California, Tyrnauz en la parte norte del Cáucaso, Knaben en Noruega y algunas otras minas localizadas en la URSS, China y Marruecos.

Las vetas cuarzosas que contienen mineralización de molibdenita están ampliamente distribuidas en todo el mundo. Su contenido de molibdeno puede variar de 1 a 20% Mo, y las mismas vetas pueden ser indicadores de la presencia de pórfidos de bajo contenido grandísimos con los que están genéticamente asociados. Tal fue el caso de Questa mine en Nuevo México, que fue explotada inicialmente como un pequeño depósito de veta cuarzosa de molibdeno.

Los cuerpos minerales de tipo pegmatítico contienen molibdenita distribuida irregularmente con algunos componentes metálicos y no metálicos. Generalmente estos depósitos son de tamaño pequeño, lo cual se debe a la distribución desigual de la mineralización, son difíciles para operarse económicamente. A pesar de eso, estos depósitos producen molibdenita de grado y pureza excelentes. Como ejemplos de tales minas pueden mencionarse Quebec, Canadá, donde el molibdeno está asociado con bismuto.

Finalmente, los depósitos estratificados en rocas sedimentarias, los cuales son la fuente de muchos yacimientos de uranio, arenisca lignítica, y que contienen todo tipo de minerales, empezando desde carbones y pizarras y terminando con fosforitas, pueden contener molibdeno en cantidades que varían desde unas cuantas ppm hasta 0.5% de molibdeno. El molibdeno en estos depósitos está en forma de jordisita e ilsemanita y es difícil de recuperarse. Sin embargo, si se procesan por métodos hidrometalúrgicos, el yacimiento puede producir molibdeno en forma soluble. Este tipo de molibdeno, conteniendo en--

tre 0.1 y 0.2% de molibdeno, se encontró asociado con areniscas - cuarzosas - de uranio estratificadas en Arizona, Nuevo México, Utah, Wyoming y Dakota del Sur, también contenido en capas de arenisca lignítica en Montana, Dakota del Norte y del Sur. El gran depósito de cobre sedimentario tipo arenisca -- que se encuentra en Dzhezkazgan en Kazakhstan contiene también algo de molibdeno.

III.4 DEPOSITOS DE TIPO PORFIDICO

Como se ha mencionado, estos depósitos proporcionan el grueso de las reservas de molibdeno y son importantes debido a que son la fuente de cerca del 95% de nuestro abastecimiento -- pasado, presente y futuro de molibdeno.

En términos generales los depósitos de tipo porfídico es tan caracterizados por su bajo contenido, gran volumen, mineralización diseminada asociada con intrusiones --parecidas al --- stock de pórfidos de monzonita, mineralogía primaria similar y formas similares de origen. Estos depósitos son además susceptibles de métodos de minado a gran escala y bajo costo, tales como minado a cielo abierto y minado por socavación y derrumbe.

Tales depósitos pueden tener, como mineralización económica principalmente, molibdeno o cobre. En los depósitos porfídicos de molibdeno la molibdenita es prominentemente la única mineralización principal y se presenta en otras formas sólo debido a cambios secundarios. La molibdenita está acompañada comúnmente por pirita y cantidades pequeñas de tungsteno, estaño, plomo y zinc. El ejemplo más sobresaliente de este tipo de cuerpos minerales es Climax, la cual recupera comercialmente -- aparte de molibdenita --, concentrados de pirita, tungsteno -- (hubnerita), estaño (casiterita), topacio, monacita, uranio -- (brannerita), y óxidos secundarios de molibdeno. El contenido de molibdeno de tales depósitos es alto y cae entre 0.1 y 0.5% de molibdeno. Los principales ejemplos de estos depósitos son Henderson, Urad, Endako, Questa, Lime Creek y otros.

Por otra parte, los pórfidos de cobre se caracterizan -- por una sobrecapa lixiviada y asociada con su enriquecimiento -- supergénico. La mineralización de cobre consiste de minerales primarios tales como calcopirita, bornita, tenantita, enargita

y otros; y el enriquecimiento secundario de tales minerales -- como calcocita, covelita y bornita. Además, existen óxidos secundarios y terciarios tales como cuprita, malaquita, brochantita, azurita, crisocola y muchos otros.

Esta mineralización de cobre está acompañada por piritaprimaria y molibdenita. El contenido de molibdenita en estos yacimientos es considerablemente menor que en los pórfidos de Mo y tiene en cualquier parte de 0.005 a 0.1% de MoS₂ como límite máximo. Esta mineralización es medianamente uniforme y consistente. Es también predominantemente sulfídica, sin embargo se observa frecuentemente algo de oxidación de la molibdenita en las partes oxidadas del cuerpo mineral. La molibdenita no es atacada fácilmente por la oxidación como los minerales de cobre, pero aun la oxidación parcial o la alteración de su superficie influyen fuertemente su recuperación por flotación.

Debido a la baja concentración en los pórfidos de cobre, es un poco difícil observar y estudiar microscópicamente a la molibdenita, y por consiguiente, se identifica ordinariamente por ensayos químicos. Generalmente se encuentran algunas masas finamente granuladas, incrustadas o macizas de molibdenita en los pórfidos de cobre. En algunos casos pueden observarse -- particularmente asociada con cuarzo -- en pequeñas cantidades cristales delgados y tabulares de molibdenita. También, se ha reportado la existencia de molibdenita colomorfica. La característica sobresaliente de la molibdenita en los pórfidos de cobre es que contiene cantidades comerciales de renio, el cual fluctúa de 100 a 2 000 ppm. Contrariamente a esto, los pórfidos de molibdeno, los depósitos de vetas por sustitución y las pegmatitas contienen molibdenita que presenta sólo trazas de renio, que generalmente son inferiores a 10 ppm.

Todos los depósitos de cobre porfídico muestran una fuerte alteración hidrotermal característica de la formación original de los minerales que han precedido o acompañado la metalización del cuerpo mineral. El producto más importante de esta alteración es la sericita, la cual se forma a expensas de los feldespatos preexistentes.

Las minas típicas representativas de los pórfidos de cobre son Bingham Canyon, Morenci y Sierrita en los Estados Uni-

dos; Lornex, Gibraltar y Brenda en Canadá; Chuquicamata, El Teniente y El Salvador en Chile; Toquepala y Cuajone en Perú; Majdanpek en Yugoslavia; Medet en Bulgaria; y Balkhash y Alma-lyk en la Unión Soviética. Actualmente, existen cerca de 100 pórfidos de cobre identificados, todos repartidos en el mundo con una posibilidad razonable de encontrar otros 50 depósitos en las próximas décadas. Por otra parte, se conocen sólo cerca de 6 pórfidos de molibdeno importantes. Obviamente, su frecuencia en la corteza terrestre no es tan alta como la correspondiente a los pórfidos de cobre.

III.5 EVALUACION DE RECURSOS

III.5.1 ESTADOS UNIDOS Y CANADA

La evaluación de los recursos mundiales de molibdeno puede hacerse fácilmente debido a dos factores fundamentalmente; 95% de las mismas, o tal vez más, están concentradas en depósitos de tipo porfídico y, segundo, siendo de extraordinaria importancia económica, los pórfidos de cobre, están muy bien estudiados y evaluados.

La tabla III.1 muestra un resumen completo de los recursos de molibdeno, basados principalmente en la evaluación de depósitos de tipo porfídico, como se muestra en la tabla III.2. Las reservas, como se indican en estas tablas, son cantidades generalmente aceptadas y, en su gran mayoría, reflejan el molibdeno contenido en los pórfidos de molibdeno y en los de cobre. Estos cuerpos minerales fueron explorados y barrenados extensamente, y más importantemente, la mayoría de ellos han estado en operación por muchos años. Por ejemplo, Bingham, Climax, Chuquicamata y El Teniente, tienen más de 50 años cada uno de explotación activa.

Los otros, tales como Henderson, Twin Buttes, San Manuel, Sierrita, Endako, Island Copper, Toquepala y Cuajone, notablemente que son recientes, tienen capacidad probada a gran escala.

Aun cuando el potencial total es en algunas ocasiones dudoso debido a la falta de información respecto a las reservas minerales - las cuales no son conocidas o publicadas por las -

T a b l a I I I . 1

RECURSOS DE MOLIBDENO IDENTIFICADOS EN EL MUNDO .
 (expresados en toneladas métricas) .

	Reservas	Recursos Potenciales	Recursos Totales
HEMISFERIO OCCIDENTAL			
Estados Unidos	3 800 000	12 200 000	16 000 000
Canadá	750 000	3 750 000	4 500 000
Chile	2 045 000	2 455 000	4 500 000
Perú	230 000	370 000	600 000
Otros	100 000	1 400 000	1 500 000
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	6 925 000	20 175 000	27 100 000
HEMISFERIO ORIENTAL			
Unión Soviética	1 000 000	1 500 000	2 500 000
Europa	50 000	450 000	500 000
Africa	-	50 000	50 000
Asia	250 000	500 000	750 000
Oceanía	15 000	150 000	165 000
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1 315 000	2 650 000	3 965 000
TOTAL MUNDIAL	8 240 000	22 825 000	31 065 000
	<hr/> <hr/>	<hr/> <hr/>	<hr/> <hr/>

compañías-, no existe la menor duda de que la mayoría de los pórfidos prueben ser considerablemente mayores de lo que se pensaron inicialmente. Muchos de ellos, que fueron programados para una operación de 20 ó 30 años, han sobrevivido fácilmente estos períodos y, de hecho, tienen actualmente reservas mayores que las que se anunciaron al principio de sus operaciones. Esta situación se debe algunas veces a la falta de curiosidad acerca de las reservas de extensión prolongada debido a la situación dudosa de impuestos u otras presiones posibles. Por otra parte, las tecnologías modernas convierten en yacimiento aquello que fue considerado antes como roca sin utilidad. Este hecho, sin embargo, no debe sobreestimarse y esto se debe a que existe otro enfoque contrario también: Existen algunas políticas gubernamentales además de algunas decisiones políticas y ecológicas que convierten frecuentemente en roca inútil lo que antes era considerado un yacimiento prometedor.

Sin embargo, haciendo justicia, debe admitirse que nuestros recursos minerales en general se mantienen de acuerdo a la demanda. Esto se debe en parte a la exploración y explotación más cuidadosas de nuevos recursos, junto con el adelanto de las tecnologías que permiten el tratamiento de yacimientos pobres de acuerdo a sus contenidos metalúrgicos.

El molibdeno no es la excepción de estas reglas. Por ejemplo, Climax difícilmente hubiera podido tratar al mineral de grado actual hace 60 años, cuando inició sus operaciones. Otros casos son: Lornex, Gibraltar o Brenda, que hace sólo 20 años, fueron considerados como prospectos completamente incosteables. Del mismo modo un grupo grande de propiedades localizadas en todo el mundo, por ejemplo en: Columbia Británica, Alaska, el sudoeste de los Estados Unidos, México, América Central, el área Andina, Asia Central, los Balcanes e Irán están esperando las condiciones económicas adecuadas para satisfacer la necesidad creciente de nuestra civilización por los metales, incluyendo al molibdeno.

Como se muestra en las tablas III.1 y III.2, la evaluación de las reservas se realizó bajo bases estrictamente conservadoras de las propiedades existentes y exploradas. Esto representa un total de 8.25 millones de toneladas de molibdeno, de las cuales cerca de 7 millones de toneladas, equivalentes -

T A B L A III.2

PRINCIPALES RESERVAS DE MOLIBDENO EN EL MUNDO

ESTADOS UNIDOS	Mineral 10 ⁶ TM	Mo TM
Climax	500	1 000 000
Henderson	300	1 000 000
Questa	150	150 000
Bingham	1 000	750 000
San Manuel	1 000	150 000
Sierrita	400	150 000
Twin Buttes	800	120 000
Mission	500	100 000
Ray	500	50 000
Bagdad	240	50 000
Chino	500	40 000
Morenci	500	35 000
Mc Gill	500	30 000
Esperanza	50	15 000
Mineral Park	50	15 000
Kima	200	25 000
Otras	<u>300</u>	<u>120 000</u>
Total	7 500	3 800 000

CANADA

Endako	200	172 000
Utah International	250	72 500
Bethlehem	376	65 000
Liard Copper	310	62 000
Lornex	400	56 000
Brenda Mines	127	58 500
Lime Creek	36	50 000
Gibraltar	300	48 000
Gaspe	211	21 000
Otras	<u>490</u>	<u>146 000</u>
Total	2 700	750 000

CHILE	Mineral 10 ⁶ TM	Mo TM
El Teniente	3 500	1 000 000
Chuquicamata	2 500	800 000
El Salvador	300	120 000
Andina-Disputada	300	35 000
El Abra	<u>1 000</u>	<u>90 000</u>
Total	7 600	2 045 000
PERU		
Toquepala	400	30 000
Cuajone	<u>500</u>	<u>150 000</u>
Total	900	230 000
Gran total	<u>18 700</u>	<u>6 825 000</u>

al 84% están distribuidas en el hemisferio occidental. El área fundamental para estos recursos es la costa occidental de América del Norte y América del Sur, asociada con depósitos hidrotermales encontrados en la Cordillera, la cual atraviesa el hemisferio desde el ártico hasta el antártico, y forma una parte importante del cinturón de fuego a lo largo del Pacífico. - Algunas reservas importantes del hemisferio oriental y específicamente aquellas pertenecientes a Australia, Oceanía y Asia-oriental, forman también parte de este enorme cinturón. Por consiguiente, existe una extensión de cobre porfídico que va desde Asia Central e Irán hasta el Medio Oriente y los Balcanes, la cual no obstante que es una parte considerablemente pequeña, es otra porción significativa de las reservas de cobre porfídico en el mundo. Estos depósitos corresponden a la mayor parte de las reservas de molibdeno de Rusia, China, Irán y los Balcanes.

Estas reservas esenciales de molibdeno están comprobadas y se complementan por reservas potenciales, las cuales pueden encontrarse en las mismas o en otras áreas por medio de una mejor exploración de los cuerpos minerales existentes o por el descubrimiento de nuevos depósitos.

En los Estados Unidos, por ejemplo, las reservas potenciales están estimadas en el triple de las reservas probadas.

La identificación de estos recursos está basada en el potencial colosal de los estados de Colorado y Nuevo México, como se ha demostrado por evidencias geológicas.

De acuerdo con el Estudio Geológico de los Estados Unidos, la ocurrencia de molibdeno conocida en la región de Colorado, se presenta como grupos de depósitos de molibdeno, que están estrechamente asociados con áreas de actividad silícica-intrusiva principal del terciario medio. Tres de estos grupos contienen a los depósitos principales de Climax, Henderson y Questa, sin embargo los otros grupos sugieren, de acuerdo a los trabajos de exploración, gran potencialidad en depósitos de molibdeno. La potencialidad del Cinturón Mineral de Colorado-perteneciente al Grupo San Juan- y sus extensiones en Nuevo México prometen, por ejemplo, reservas identificadas de molibdeno con 8.4 millones de toneladas métricas adicionales. Los otros 3.4 millones de toneladas métricas proceden como reservas potenciales de los de Arizona, Utah, Idaho y Alaska. En Idaho, por ejemplo, Cyprus Mines ha descubierto un depósito de 100 millones de toneladas con 0.90% de Mo en Thompson Creek.

Recientemente, la revista del mes de Mayo del World Mining reportó el mayor descubrimiento de molibdeno en Alaska, localizado a cinco millas al oriente de la ciudad de Ketchikan. El área mineralizada se descubrió en una elevación de 2 000 pies, presentando una superficie aproximada de una milla cuadrada con afloramientos de molibdeno. Los ensayos de molibdeno en el yacimiento fueron entre 0.12% y 0.20% de molibdeno y mostraron todos los signos de un pórfido de molibdeno. Las estimaciones preliminares y las perforaciones hasta 300 pies apoyadas en el grado de mineralización del yacimiento indican un cuerpo mineral de al menos 100 000 0.0 toneladas de mineral. Los Estados Unidos consideran que existe la posibilidad para desarrollar esta propiedad como una mina a cielo abierto, con una capacidad de 30 000 toneladas por día a un costo total - incluyendo la mina, la planta de beneficio, planta de potencia, habitación, carreteras, muelle de embarque, etc. - \$ 250 000 000 .

Las reservas de Canadá se estiman actualmente en 750 000 toneladas métricas, de las cuales el 80% se localizan-

en Columbia Británica, principalmente en cobres porfídicos, como se muestra en la tabla III.2. Sólo cerca de una cuarta parte de estas reservas se encuentran en pórfidos de molibdeno, y los otros tipos de depósitos, tales como metamórficos de contacto y pegmatitas no son realmente significativos.

Sin embargo, se espera que las reservas potenciales de Canadá en este campo aumenten por un factor de cinco hasta 3.75 millones de toneladas de molibdeno contenido, debido a las potencialidades significativas y a la evidencia geológica de los departamentos de Columbia Británica y Quebec. Los pórfidos, muchos de los cuales han sido identificados, incrementarán las reservas de Columbia Británica a 3.6 millones de toneladas de molibdeno, las mismas que tiene Nuevo México, que es el segundo estado con reservas importantes de molibdeno en los Estados Unidos. Se espera que Quebec proporcione otras 900 000 toneladas métricas en las reservas de molibdeno. Entre las propiedades más importantes que han sido identificadas y exploradas, pero aun no cuatificadas entre las reservas están: el depósito de 150 millones de toneladas en Highmont, conteniendo 0.28% de Cobre y 0.03% de molibdeno; Casino con 180 millones de toneladas con 0.37% de cobre y 0.25% de molibdeno; y Ruby Creek Molybdenum - un pórfido de molibdeno con 0.09% de molibdeno aproximadamente - con unos 70 millones de toneladas de mineral.

III. 5.2 LATINOAMERICA

Latinoamérica es otra área importante potencialmente para las reservas de molibdeno. No obstante que sus reservas actuales son únicamente de 2.4 millones de toneladas, cuenta con reservas potenciales que significan otros 4 millones de toneladas, para dar un total de reservas identificadas de aproximadamente 6.6 millones de toneladas de molibdeno metálico. Dos terceras partes de estos recursos están en Chile.

Como se ha mencionado, Chile - con sus 2 millones de toneladas en reservas y 2.5 millones de toneladas en reservas potenciales - , es el poseedor más rico en molibdeno del mundo considerando como bases per capita y por milla cuadrada. Sus recursos de molibdeno en bases geográficas, son 30 veces mayo-

res que el promedio mundial y 4 veces mayores que el correspondiente a los Estados Unidos, que es el segundo poseedor más importante por milla cuadrada en recursos de molibdeno. Sobre la base per capita la importancia de Chile es aun mayor debido a que su presencia demográfica es 2 veces menor que su contribución territorial en el mundo: Chile ocupa solamente 0.5% de la superficie mundial, está habitada por 0.25% de la población mundial y domina completamente un 14.5% de los recursos mundiales de molibdeno.

Canadá ocupa un territorio 13 veces mayor que el de Chile pero Chile tiene recursos de molibdeno iguales a los de Canadá, y comparte el segundo lugar con Canadá en recursos de molibdeno en el mundo.

Los recursos chilenos de molibdeno estan estrictamente relacionados con sus pórfidos de cobre. No obstante que se -- han encontrado en Chile pequeños depósitos del tipo: vetas cuarzosas y stockwork, no se han descubierto aun pórfidos de molibdeno. Las reservas reportadas en la tabla III.1 se han estimado conservadoramente. Actualmente todo parece indicar que el yacimiento El Teniente tiene 4 billones de toneladas más de mineral y, debido a que el contenido de molibdenita en - - - - - 500 000 000 de toneladas de mineral que se han minado tenía un promedio de 0.04% de molibdeno, no es exagerado suponer que se tienen potencialmente 1 600 000 toneladas de molibdeno, sólo -- en este depósito. En este contexto, a pesar de ser solamente un pórfido de cobre, pero debido a su tamaño gigantesco, El -- Teniente puede ser, el depósito más importante, aun considerando a Climax o Henderson.

Un caso muy similar es Chuquicamata, que es otro depósito de cobre porfídico super-gigante. La evaluación del potencial de Chuquicamata fue estimada en 2.5 billones de toneladas de reservas, pero, de hecho, el fondo del cuerpo mineral de -- Chuquicamata no ha sido determinado aun y cuando fue comparado geológicamente, no pareció que Chuquicamata sea una porción menor que la correspondiente a El Teniente. Algunos geólogos -- piensan que el potencial de cobre de Chuquicamata puede encontrarse entre 40 y 50 millones de toneladas métricas lo cual, -- basándose en los registros de producción indica un contenido superior a 1 300 000 toneladas métricas de Mo.

El complejo conjunto de Andina-Disputada está evaluada-actualmente en forma conservadora en 300 000 000 toneladas métricas de reservas minerales, sin embargo a pesar de su contenido de molibdeno relativamente bajo puede probar que es una propiedad más importante a las que pudieran encontrarse hoy en día.

Además se tienen las potencialidades aun medianamente conocidas de un grupo de pórfidos de cobre en el Norte de Chile, tales como El Abra, Quebrada Blanca, Mocha, Pelambres y -- otros. Algunos de estos depósitos no han sido evaluados aun -- en la forma más general, pero se sabe con certeza que todos -- contienen molibdeno.

Las reservas potenciales de molibdeno en Perú son tan buenas como las de Chile. Perú tiene también algunos pórfidos de cobre importantes en todo su territorio y sólo de unos cuantos que se mencionan en la tabla III.3, es claro que este país cuenta con algo más de 0.5 millones de toneladas métricas de molibdeno potencial.

Indudablemente que una mayor prospección y exploración-incrementará estas estimaciones. Se ha observado que, como regla general, los pórfidos de cobre chilenos son más ricos en contenido de molibdeno que los peruanos.

En total, Latinoamérica tiene actualmente 22 pórfidos de cobre perfectamente definidos que no se encuentran en explotación. Algunos de ellos están, por supuesto, en diferentes etapas de exploración y desarrollo, sin embargo lo que no debe escapar a nuestra atención es su importante potencialidad para la recuperación de molibdeno como subproducto. Fuera de Chile y Perú se descubrió un grupo de pórfidos de cobre importante en Argentina y, más recientemente, en Ecuador, Colombia y Panamá. El depósito panameño localizado en Cerro Colorado puede ser aun mayor que lo estimado y puede colocarse fácilmente en la categoría de los super-gigantes con, suponer, 2 billones de toneladas de reservas minerales.

T a b l a III.3.

PORFIDOS DE COBRE INACTIVOS EN LATINOAMERICA

	Mineral 10 ⁶ tons.	Reservas estimadas de Cobre 10 ³ tons.	Molib- deno - tons.
El Abra, Chile	1 000	8 000	90 000
Los Pelambres, Chile	430	3 350	130 000
Andacollo, Chile *	300	2 080	32 000
Quebrada Blanca, Chile			
Mocha, Chile			
Michiquillay, Perú	575	4 000	150 000
Cuajone, Perú *	500	5 500	150 000
Cerro Verde, Perú *	250	2 750	
Morococha, Perú	360	2 700	72 000
Quellaveco, Perú	200	2 200	60 000
Pashpap, Perú	50	450	10 000
Pachón, Argentina	550	3 500	50 000
Paramillos, Argentina	105	400	21 000
La Alumbreira, Argentina	100	400	40 000
Chaucha, Ecuador	100	700	30 000
Antioquia, Colombia	625	6 250	
Rio Vive-Tacama, P.Rico	240	1 750	
Cerro Colorado, Panamá	500	4 000	50 000
Pataquilla, Panamá	300	1 800	35 000
La Caridad, México *	700	5 320	70 000
La Verde, México	100	700	
Santo Tomás, México	200	800	25 000

* En etapa de desarrollo

III.5.3 M E X I C O

En términos generales puede establecerse lo siguiente:

México es un país con gran potencialidad en pórfidos de cobre y por consiguiente con posibilidad importante para la recuperación de molibdeno como subproducto. Esto es aparte de los pequeños yacimientos de tipo stockwork, los cuales han sido explotados en el pasado en México.

Como se ha mencionado anteriormente, la mayor parte de nuestros recursos de molibdeno se localizan en la parte norte del país; especialmente en el estado de Sonora, debido a que su mineralización está asociada a yacimientos de pórfidos de cobre.

Los yacimientos exclusivamente de molibdeno por sus características, han sido poco estudiados y su irregular y errática mineralización requieren un alto costo de exploración por lo que a pesar de haberse encontrado numerosos índices de mineralización en diversos estados de la república, éstos no han sido desarrollados para permitir su explotación.

La exploración de los recursos de molibdeno, realizada por el Consejo de Recursos Minerales - antes CRNNR -, ha producido el conocimiento de algunos yacimientos interesantes por su potencialidad para la producción futura de molibdeno. Tal es el caso de un depósito de molibdenita virtualmente importante, localizado en las cercanías de la población de Guadalupe y Calvo en la Sierra Madre Occidental del Estado de Chihuahua. Este yacimiento - de acuerdo a las consideraciones preliminares de exploración - es de apariencia semejante al de Climax, Colorado, pero poco conocido, investigado y explorado por consecuencia sólo ofrece posibilidades futuras de desarrollo. Otro de los estados que presenta perspectivas interesantes es Durango, donde no existe ninguna zona en producción de molibdeno, pero existen zonas potenciales cuya integración a la producción dependen de programas integrales de exploración que atiendan a cubicar suficiente tonelaje susceptible de ser tratado en pequeñas plantas metalúrgicas, dichas zonas son; Cerro de la Campana, Sierra Santa y Huahuapan, todas ellas enclavadas en la zona fisiográfica denominada "De las Quebradas" en-

la Sierra Madre Occidental. Estos depósitos son del tipo de leyes altas; se presentan en forma de vetas angostas y la ganada está constituida por cuarzo.

Una situación similar se presenta en Sinaloa, donde se han encontrado numerosos depósitos; dentro de este tipo de depósitos pueden diferenciarse aquellos que guardan características afines, como son: yacimientos tipo pórfido cuprífero (Cu, Mo), stocks o filones (Mo,W), stockworks (Mo) y dentro de brechas hidrotermales (Cu, Mo) que en muchos de los casos están asociados a los antes mencionados. La localización de estos yacimientos es como sigue:

- yacimientos tipo pórfido cuprífero (Cu, Mo), Santo Tomás--Cuchicari, Tameapa.

- yacimientos asociados a stocks o filones de cuarzo con Cu, Mo y W. Dentro de este tipo de yacimientos tenemos dos minas conocidas, la mina El Magistral cerca de Choix, que fue intensamente explotada y la Mina El Guayabo actualmente en producción en el sur del estado; sin embargo se conocen otras tres localidades en los estados vecinos en zonas limítrofes con el estado de Sinaloa, ellas son: San José del Desierto, La Guadalupe y los Hidalgos.

- yacimientos tipo stockwork (Mo), dentro de este tipo de yacimientos se conocen tres localidades dentro del estado de Sinaloa (Los Chicharrones que puede ser una de las minas de más importancia en la región, se localiza dentro del Municipio de Badiraguato; Las Higueras, es una localidad en el norte de la Ciudad de Culiacán; La Azulita, es una localidad ubicada en el NE de Mazatlán.), y dos en sus límites con los estados vecinos (Los Hidalgos, localizado dentro del estado de Chihuahua - pero cerca del límite con Sinaloa, y Corral de Piedra localizada al oriente de Tayolita, dentro del estado de Durango muy cerca del límite con Sinaloa).

- yacimientos asociados a brechas hidrotermales (Cu, Mo), área de Coix, San Fernando, Bahuiza, Las Patillas y La India.

En lo que respecta al estado de Sonora, los depósitos de cobre y molibdeno son los mayores del país; en general, se encuentran asociados con intrusiones intermedias de carácter

félsico que se han intrusionado en rocas variadas: metamórficas, sedimentarias e ígneas volcánicas y plutónicas. Los depósitos comerciales tienen dimensiones verticales importantes y además enriquecimiento supergenético. Muchos de los no económicos tienen forma de disco y están en los techos de plutones. En la mayoría de ellos hay brechas hidrotermales asociadas. En ocasiones, las brechas mismas forman los depósitos. Los patrones de alteración y mineralógicos son similares a los descritos en los modelos más conocidos y concuerdan, a grosso modo, con los de los yacimientos de Arizona. Los minerales comunes son pirita, calcopirita, bornita y molibdenita. En ciertos depósitos, y de acuerdo con la zona de alteración expuesta por la erosión domina notablemente (en valor económico) la molibdenita.

Existen varias obras de importancia desde el punto de vista minero: San Judas, El Transvaal, La Verde y El Cobre Rico; la mineralización se encuentra en brechas y consiste de molibdenita y calcopirita, principalmente.

Para determinar con mayor exactitud las zonas con mineralización económica, se recomienda programar estudios detallados de geología, alteración y mineralización, seguidos de la realización de barrenos de exploración que comprueben y en su caso delimiten y desarrollen estas zonas, dando primacía a las estructuras brechadas.

En resumen, puede establecerse que los yacimientos más importantes del estado de Sonora, y por consiguiente del país, son los que se muestran en la tabla correspondiente.

OTROS RECURSOS MINERALES

Aparte de los depósitos señalados anteriormente, se sabe de la existencia del mineral secundario más importante del molibdeno: la Wulfenita, en algunas localidades de la República Mexicana.

A continuación se presenta una explicación de los aspectos más sobresalientes de dicha especie mineral en nuestro país.

YACIMIENTOS IMPORTANTES DE MOLIBDENO EN MEXICO

Mina	Municipio	Reservas en Toneladas	Leyes Medias	Observaciones
La Caridad	Nacoziari	700 000 000	0.7% Cu 0.015% Mo	Se trabajará a 72 000 Tpd.
Cumobabi	Cumpas	10 000 000	0.17% Cu 0.25% Mo	En producción para 1980.
Los Verdes	Yécora	<u>±</u> 10 000 000	0.89% Cu 0.16% Mo 0.135% WO ₃	Se proyecta trabajar próximamente.
San Judas Tadeo y zonas intermedias	Cumpas	2 a 4 000 000	0.1% Cu 0.5% Mo	Es probable que se trabaje pronto.
La Sorpresa	Opodepe	100 000 000	0.16% Mo	Se proyecta trabajar próximamente.
4 Hermanos	Rosario	No cuantificada.	0.25% Mo	Buen Prospección.
Washington y San Lorenzo	Huépac	1 500 000	1.6% Cu, pequeñas cantidades de Mo y WO ₃	Buenas posibilidades de explotación pronto.

Wulfenita (Plomo amarillo o Melinosa)

En honor del sacerdote jesuíta austriaco, mineralogista Franz Xaver Wulffen, quien, en 1785, escribió una extensa monografía de las menas de plomo en Carinthia.

Génesis. La wulfenita pertenece al grupo formado por la scheelita, CaWO_4 , Powelita, CaMoO_4 , y wulfenita, siendo iso estructural con la especie primeramente citada. Como sal poco soluble en el agua, se encuentra con bastante frecuencia en las zonas de oxidación de los yacimientos de plomo y zinc. El molibdeno puede proceder de doble fuente; o bien, el ácido molibdénico es traído por las aguas de infiltración de las rocas circundantes, o se forma a raíz de la oxidación y concentración a partir de molibdeno disperso en los sulfuros del yacimiento.

La mayor parte de las veces, la wulfenita se observa bajo la forma de pequeños cristales y cortezas cristalinas en las paredes de las cavidades originadas por lixiviación. Se conocen asimismo casos de formación de pseudomorfos de wulfenita en sustitución de otros minerales de plomo de la zona de oxidación, en particular de la cerusita. En este caso, se asocia a la cerusita, anglesita y galena.

No está excluída tampoco la posibilidad de hallarse en yacimientos hidrotermales de bajas temperaturas de menas de plomo y zinc.

LOCALIDADES MEXICANAS DE WULFENITA

- Mina y mineral "La Mula" Municipio de Ocampo, Coahuila.
- Mina "El León", Mineral de San Pedro, Hacienda de Corralitos. Municipio de Casas Grandes, Chihuahua.
- Mina "La Aurora" Mineral y Pueblo de Cuchillo Parado, Municipio de Coyamé. Cía. Minera la Aurora y Anexas, S.A. Chihuahua.
- Mina Gibraltar Al W. de Naica, Mineral y Municipio de Naica, Chihuahua.
- Mina Ojuela yacimiento "San Juan". Mineral y municipio de Mapimí, Cía. Minera de Peñoles, S.A. Durango.
- Mina Santo Domingo. Mineral y Municipio de Santa Eulalia, Chih.

Mina "Anexas de Año Nuevo", Municipio de Villa Ahumada, Chih.
Mina Promontorio, Municipio de El Oro, Durango.
Mina Ojuela yacimiento "Santo Domingo" Mineral y Municipio de Mapimí, Cía. Minera de Peñoles, S.A. Durango.
Mina Santo Niño, Mineral de Sauces. Municipio de Tepehuanes, - Durango.
Mina "La Cuña", Cerro de la Bufa, Mapimí, Durango.
Mina San Francisco. Cerca del municipio de Magdalena, Sonora
Mineral de Los Lamentos, al pie de la Sierra de Los Lamentos, Municipio de Félix U. Gómez, Chihuahua.
Mina Candelaria, Al Norte de la Mina El León, Mineral de San - Pedro, Hacienda de Corralitos, Municipio de Casas Grandes, Chih.
Mina Santa María de La Paz. Mineral y Municipio de Matehuala.- Cía. Anónima de Santa María de la Paz y Anexas. San Luis Potosí.
Mina El Chibhí, Municipio de Culiacán, Sinaloa.
Mina San Rafaelito, Labor "El Perico" Mineral de Pilares de - Teras, Municipio de Oputo, Sonora.
Mina María , Cañada de La Mona en los alrededores del Rancho - El Pumaral, Municipio de Ures, Sonora.
Mina Reforma y Mina "La Mula", Cuatro Ciénegas. Sierra Mojada, Monclova, Coahuila.
Mina San Francisco, Mineral de Huautla, Distrito Juárez, Morelos. Municipio El Chico, Culiacán, Sinaloa.
Mina Congregación de Cananea, Arizpe, Municipio de Fronteras, Sonora.
Mina California, Hermosillo, Sonora
Mina Tumacacori, Santa Ana, Magdalena, Nogales, Sonora.
Mina San Rafaelito, Moctezuma, Sonora.
Mina Colón Sahuaripa, Mineral Trinidad, Sonora.
Mineral de Zacatecas, Zacatecas.

IMPORTANCIA ECONOMICA.

En caso de existencia de cantidades estimables de dicho material junto a otros minerales oxidados de plomo, puede ser objeto de explotación para extraer plomo y molibdeno.

PARAGENESIS.

Este mineral se encuentra asociado frecuentemente con - calcita, Limonita, Cerusita, Vanadinita, Píromorfita, Galena y

Malaquita.

RECOMENDACIONES.

Debido a la poca importancia que presenta este mineral actualmente, desde el punto de vista metalúrgico, se consideraran a continuación algunos aspectos tomando a la wulfenita como especie mineralógica más que como mineral para la obtención de molibdeno.

Es oportuno sugerir a las personas capacitadas para ello, la creación de una legislación en favor de la conservación de las especies mineralógicas mexicanas, así como su sistemática organización en colecciones que las eleven al nivel que por su importancia merecen, incrementándolas con el paso de los años dentro de las escuelas, universidades y en los centros dedicados a la investigación de los recursos naturales, de tal manera que no solo se protegerían los minerales mexicanos, sino además se enriquecería la cultura de nuestro pueblo, cuidando en esta forma tanto de los intereses del suelo de México como de su desarrollo científico y brindando además la oportunidad a todo mexicano para conocer, querer y respetar desde pequeño, las maravillas que la naturaleza ofrece y que debiera estar al alcance de todos.

III.5.4 AUSTRALIA Y ASIA

A diferencia de su contraparte andina, los pórfidos de cobre de Australia, Filipinas y otros en el Cinturón de Fuego en Polinesia no contienen mucho molibdeno. Una producción muy pequeña de molibdeno fue reportada en Sipalay en las Filipinas hace algunos años, pero aparentemente fue descontinuada debido a su escasa significación económica. El resto de los diversos pórfidos de cobre localizados en el archipiélago filipino no indican concentraciones importantes de molibdenita y, por consiguiente, no pueden considerarse de importancia para el futuro. Lo mismo es cierto para Bougainville y otras propiedades desarrolladas en Nueva Guinea. Australia y Oceanía son también pobres en molibdeno, al menos en depósitos de tipo porfídico.

Las perspectivas en Asia son aun escasas. Definidamen-

te, existe algo de molibdeno en los cobres porfídicos de Rusia que se localizan en Kazakhstán y Asia Central en general. Los reportes de estas reservas no estan disponibles pero, tomando su número en aproximadamente 6, y cada uno conteniendo 150 a 400 millones de toneladas de mineral, con un contenido mínimo de 0.01% de molibdeno, puede estimarse conservadoramente entre 1 y 1.5 billones de toneladas de mineral conteniendo 150 000 toneladas métricas de molibdeno. Deben haber, obviamente, algunas otras reservas importantes en tan inmenso territorio.

China es conocida también por su potencialidad teniendo una buena perspectiva en cobres porfídicos, aunque no se ha reportado oficialmente su existencia. De cualquier modo, al igual que Japón, Corea, India, Birmania y Tailandia, el molibdeno en estos países se encuentra normalmente asociado con otros metales, principalmente tungsteno, en cuerpos minerales de tipo no porfídico. De aquí, se justifica su producción pequeña y sus reservas muy limitadas.

El descubrimiento de pórfidos de cobre en Irán repercutió en algunas indicaciones de depósitos similares en Pakistán y Afganistán. También, se descubrió al menos un pórfido de cobre en Mongolia localizado en Erdenetyih Ovo (colina del tesoro), 200 millas al noroeste de Ulan Bator, en la frontera Soviético-Mongólica. Ciertamente que esto es una buena indicación geológica, para Rusia y China. El cuerpo mineral debe estar en el rango de los 300 millones de toneladas porque se tenía en inventario una producción de 16 millones de toneladas por año de mineral registrada para 1978.

III.5.5 E U R O P A

En Europa, los recursos de molibdeno estan reportados en Yugoslavia, Rumania, Bulgaria, España, Noruega y Austria. Los recursos de molibdeno de Yugoslavia son considerablemente los mayores en esta área, no obstante que Yugoslavia no es conocida por alguna producción razonable de molibdeno. De hecho, de todas estas propiedades, sólo existe una producción pequeña procedente del pórfido de cobre búlgaro en Medet y, hasta recientemente, se obtiene producción de la mina Knaben-

en Noruega. El pórfido de cobre yugoslavo en Maidanpek no recupera molibdeno debido a su baja concentración, y los otros pórfidos de cobre indicados en Bulgaria y Rumania (y probablemente en Grecia y Turquía), no están aun en etapa de desarrollo. Lo que hace a Yugoslavia en realidad importante potencialmente como abastecedor de molibdeno es el descubrimiento de un depósito grande de molibdeno tipo pórfido en Machkatica. De acuerdo a las descripciones geológicas, el cuerpo mineral es de varias millas de diámetro y puede tener algunos billones de toneladas de mineral de molibdeno de 0.1%. Por supuesto, debe realizarse una exploración mayor antes de conocer la importancia real de este depósito.

Por otra parte, las minas pequeñas esparcidas en Europa Central y Septentrional son realmente de muy poca importancia, excepto bajo condiciones de guerra.

Más hacia el norte, en Groenlandia, se descubrió un depósito algo grande - 220 millones de toneladas métricas con -- 0.15% de molibdeno, la labor se realizó en forma conjunta por American Metal Climax y Arktish Minekompagni de Dinamarca. La propiedad se encuentra aun en etapa de exploración, sin embargo ofrece alguna esperanza para nuevos descubrimientos en el norte de Canadá, Siberia y otros lugares inhóspitos. Algo similar sucede en el Antártico, donde se han detectado algunos afloramientos de molibdeno en cobre porfídico.

III.6 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO III.

- 1.- A.M. Bateman: Economic Mineral Deposits, Second Edition, John Willey & Sons, New York, 1959.
- 2.- S.C. Creasey: Molybdenum Geology and Resources. U.S. Bureau of Mines Information Circular 7784, 1957.
- 3.- R.U. King et al: Molybdenum. U.S. Mineral Resources. U.S. Geological Survey, Professional Paper 820, 1973.
- 4.- S.R. Titley: Geology of the Porphyry Copper Deposits of - SW north America. The University of Arizona Press, Tucson 1966.
- 5.- A.S. Brown: Mineralization in British Columbia and the Cu-Mo Deposits. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, - Trans, 72, 1969.
- 6.- J.D. Lowell and J.M. Guilbert: Lateral and Vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits. Economic Geology, v. 65, p. 373-408, 1970.
- 7.- R.H. Sillitoe: A plate tectonic model for the origin of -- porphyry copper deposits, Economic Geology, v. 67 p. 184-197, 1972.
- 8.- V.F. Hollister : Regional Characteristics of porphyry copper deposits in South America. AIME Meeting in, Chicago, 1973.
- 9.- A. Sutulov: Molybdenum and Rhenium Recovery from Porphyry Coppers. University of Concepción, Chile, 1970.
- 10.- A. Sutulov: Copper Porphyries. University of Utah, Salt - Lake City, 1974.
- 11.- V.F. Hollister: Molybdenum in Porphyry Copper Deposits. - Mining Magazine, March 1970, Vol. 122, No. 3.
- 12.- J.D. Lowell: Geology and Economics of South American Porphyry Copper Deposits. World Mining, June 1975, p. 32-37.

- 13.- José Ambus and Héctor Soto: Estudio Geológico del Molibdeno en Chuquicamata. *Studia Geologica*, VIII, p. 45-83, - Salamanca 1974.
- 14.- K.F. Clark: Stockwork Molybdenum Deposits in the Western Cordillera of North America. *Economic Geology*, Vol.67 p. 731-755, 1972,
- 15.- Gustavo Schulze., Apuntes acerca de un depósito de molibdenita, virtualmente importante, en la Sierra Madre Occidental del Estado de Chihuahua. *Minería y Metalurgia* 14 (1960) p. 53-65.
- 16.- Alejandro Briones, Geología Minera del Estado de Durango, CRNNR. VII Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, S.L. P. Oct. 1967.
- 17.- Manuel Carrasco Centeno y José Cárdenas Vargas, El yacimiento tipo pórfido cuprífero de San José del Desierto, - Municipio de Tamazula, Dgo., CRNNR. IX Convención Nacional de la Asociación de Ing. Min., Met. y Geólogos de México. Oct. 1975.
- 18.- Marco A. Bustamente Y. Carta Metalogenética del estado de Sinaloa. CRM. VII Seminario interno sobre exploración geológico-minero p. 56-62 . México 1978.
- 19.- Ariel Echavarri Pérez. Yacimientos Minerales de Sonora y su Metalogénesis. p. 55. Primer Simposio sobre la geología y potencial minero del Estado de Sonora. Instituto de Geología, UNAM. Hermosillo, Sonora. Mayo 1978.
- 20.- Francisco Cendejas C. y Alejandro Barcenas R. Geología de la región cuprífera del transvaal, municipio de Cumpas, - Sonora. p. 27-29. Primer Simposio sobre la geología y potencial minero del Edo. de Sonora, Hermosillo, Sonora. Mayo 1978.
- 21.- Salvador Maravilla Soltero. Minas en preparación y depósitos con reservas más o menos conocidas en el Edo. de Sonora

- ra. Primer Simposio sobre la geología y potencial minero del Edo. de Sonora. Hermosillo, Sonora. Mayo 1978.
- 22.- Minera Frisco establece una nueva capacidad de desarrollo World Mining. p. 57. Octubre 1978. Ed. Latinoamericana.
- 23.- Nina Violeta de la Cruz Ortíz Z. Variedades Morfológicas de la Wulfenita en México. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1978.

CAPITULO IV

PRODUCCION DE MOLIBDENO

IV.1 GENERALIDADES

Se puede decir, con toda justicia, que el molibdeno es un metal de aleación típico del siglo XX. Sus usos industriales y su producción datan de antes del inicio de este siglo y muestran un incremento gradual en su volumen, desde 100 toneladas métricas por año en 1905 hasta 85 000 toneladas por año 75 años después. La tabla IV.1, resume esta producción por períodos de 5 años e indica claramente que hubieron algunos períodos diferentes que caracterizaron el crecimiento de la producción de molibdeno.

En primer lugar, debe señalarse que mientras que en los primeros 150 años desde el descubrimiento de este metal, sólo se produjeron 5 500 toneladas métricas, en los 25 años siguientes se observó el crecimiento de la producción en casi 50 veces, hasta 266 000 toneladas métricas para el período entre 1926 y 1950. Después, nuevamente, la producción creció cerca de 5 veces en los 25 años venideros: hasta 1 240 000 toneladas métricas de 1951 a 1975.

Estas cantidades acumulativas nos llevan a la conclusión de que en 200 años, desde el descubrimiento de este metal, se han producido un total de cerca de 1.5 millones de toneladas en contenido metálico. Esto muestra un margen favorable, con 8.25 millones de toneladas en reservas probadas y cerca de 31 millones de toneladas en reservas estimadas. Considerando la tasa de consumo actual de 85 000 toneladas métricas por año aproximadamente, las reservas conocidas podrían durar casi 100 años y los recursos para más de 300 años, esta situación es notablemente diferente a la del cobre y otros metales básicos tales como el plomo, zinc, estaño y otros.

Siendo un metal de aleación, utilizado principalmente en aceros y fundiciones, el consumo y la producción de molibdeno han seguido muy de cerca el crecimiento de la producción de acero, aún considerando que el molibdeno es utilizado sólo en una parte relativamente pequeña de aceros. A pesar de eso, se ha establecido una clase de norma para el contenido promedio de molibdeno en los aceros, y por consiguiente se pueden efectuar proyecciones para el desarrollo futuro de la demanda de molibde

no en relación a la expansión de la producción de acero, él -- cual es por supuesto, un metal básico de nuestra civilización.

Históricamente, esta relación se ha desarrollado en la forma que se indica en la tabla siguiente. (Tabla IV.1.1)

Tomando en consideración que los ciclos de producción para el acero y el molibdeno no coinciden necesariamente, debido a las huelgas y a la fuerte dependencia de la producción de molibdeno con los minados grandes de cobre, puede establecerse, -- con plena seguridad, que cada tonelada de acero consume de 100- a 120 grs. de molibdeno. Si no se desarrollan usos nuevos especiales para el molibdeno en los próximos 25 años, puede asumirse entonces que para fines de este siglo, cuando se espera que la producción de acero sea de cerca de 2 billones de toneladas por año, el consumo de molibdeno podrá crecer hasta 200 000 - 240 000 toneladas métricas. Cualquier desarrollo nuevo que se efectue en aceros especiales, catalizadores, pigmentos, fertilizantes u otros usos químicos, significará necesidades adicionales de producción.

IV.2 DESARROLLO HISTORICO DE LA PRODUCCION

En términos generales, puede establecerse que la producción no alcanzó un nivel significativo hasta cerca de 1934-1935. Antes de esta época existían varios problemas para considerar -- al molibdeno como un metal confiable, y una vez que esto se consiguió, a través de una fuerte investigación, las consecuencias de la Primera Guerra Mundial y la Depresión de principios de -- los 30's, disminuyeron el mercado potencial. Sin embargo, de -- 1923 a 1929 la demanda y la producción de molibdeno crecieron -- de 150 a 2 000 toneladas por año y, durante los primeros años -- de la depresión, esta producción fluctuaba entre 1 300 y 1 500 -- toneladas por año.

A pesar de eso, ya en 1933, debido a la creciente demanda, la producción de molibdeno creció hasta 3 000 toneladas por año y después hasta 5 000 toneladas por año en 1934; hasta 6 500 en 1935; 9 000 en 1936 y alcanzó el rango de 15 000 y 17 500 toneladas por año en el año entre 1937 a 1940. Esta expansión en -- el mercado se debió a dos factores principales: primero, la-

T a b l a IV.1.1

RELACION HISTORICA ENTRE EL CONSUMO DE MOLIBDENO Y LA PRODUCCION DE ACERO

Año	1940	1950	1955	1960	1965	1970	1974
Acero Mundial							
producción en millones de toneladas métricas.	141	169	270	346	460	590	700
Molibdeno							
producción en toneladas métricas	17 409	14 545	30 545	34 000	52 287	80 900	85 549
Molibdeno							
consumo por toneladas de acero - en gr.	123	86	113	98	113	137	122

T a b l a IV. 1

RESUMEN DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE MOLIBDENO

(En toneladas métricas de metal equivalente) .

Antes de 1905 - 300

1905	100		1925	700	1 250
1906	100		1778 - 1925		5 550
1907	100		1926	818	
1908	150		1927	1 227	
1909	100		1928	1 727	
1910	100	650	1929	2 000	
1911	100		1930	1 900	7 672
1912	200		1931	1 590	
1913	100		1932	1 318	
1914	150		1933	3 000	
1915	300	850	1934	5 136	
1916	500		1935	6 545	17 589
1917	600		1936	9 045	
1918	800		1937	14 818	
1919	400		1938	16 454	
1920	200	2 500	1939	15 636	
1921	50		1940	17 409	57 702
1922	50		1941	20 363	
1923	150		1942	29 090	
1924	300		1943	31 681	

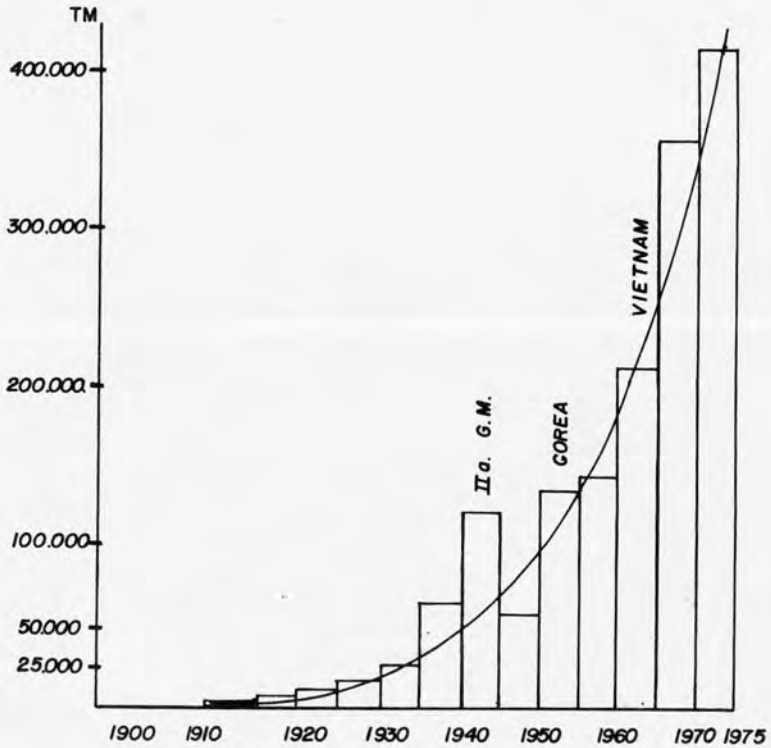
RESUMEN DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE MOLIBDENO

(Continuación)

1944	21 500		1965	52 287	210 865
1945	16 363	118 997	1966	64 813	
1946	10 863		1967	65 897	
1947	14 045		1968	67 305	
1948	13 636		1969	72 486	
1949	11 454		1970	80 900	354 401
1950	14 545	64 543	1971	78 647	
1926 - 1950		266 503	1972	81 101	
1951	20 318		1973	83 691	
1952	22 636		1974	85 579	
1953	29 000		1975	81 546	405 322
1954	29 045		1976	86 653	
1955	30 545	131 544	1977	93 405	
1956	28 365		TOTAL HASTA 1975		1 544 140
1957	29 830		TOTAL HASTA 1976		1 630 703
1958	20 998		TOTAL HASTA 1977		1 724 108
1959	25 953				
1960	54 000	139 146			
1961	40 461				
1962	34 065				
1963	41 232				
1964	42 820				

FIGURA IV. I
EVOLUCION DE LA PRODUCCION Y CONSUMO
MUNDIALES DE MOLIBDENO

1893 - 1975



gran expansión de la industria automotriz y, segundo, la preparación evidente para la Segunda Guerra Mundial. Evidentemente, el molibdeno ya era calificado como un metal estratégico importante.

En estas circunstancias, la enorme demanda de este metal durante la Segunda Guerra Mundial es lógica, y no es sorprendente la producción y el consumo de unas 120 000 toneladas métricas, durante la guerra, además de las reservas. De hecho de 1941 a 1945, se produjo y consumió más molibdeno que durante toda la historia previa: 88 513 toneladas métricas desde 1778 hasta 1940, contra 118 997 toneladas métricas de 1941 a 1945.

Por las mismas razones, el fin de la guerra produjo una contracción considerable del mercado del molibdeno. La situación no fué tan desastrosa como la que existió después de la Primera Guerra Mundial, cuando se suspendió totalmente la producción por un par de años, pero no obstante, la producción de molibdeno disminuyó entre 1/3 y 1/2 de la que se tuvo durante los años más activos de la guerra. De hecho, durante los 5 años inmediatos después de la guerra, entre 1946 y 1950, la producción de molibdeno fué sólo la mitad aproximadamente de la que se registró en los 5 años de la guerra.

La Guerra de Corea de 1950 a 1953 provocó un nuevo estímulo al desarrollo industrial llevándolo de nuevo hasta los niveles de la Segunda Guerra Mundial es decir, a cerca de 30 000 toneladas métricas por año y después de esto, los prósperos 60's proporcionaron un nuevo aumento a la producción, la cual se elevó hasta niveles de 80 000 toneladas por año al final de la década. De hecho, si desde 1951 a 1963 la producción de molibdeno creció a una tasa acumulativa promedio de 5.4% (de 20 318 toneladas por año a 41 232 toneladas por año); en la siguiente década la tasa de crecimiento tuvo un promedio acumulativo de 6.4% (de 42 820 toneladas métricas por año en 1964 a 85 579 toneladas por año en 1974).

Este fuerte crecimiento de la producción fué debido a las condiciones firmes del mercado y a la notable expansión de los usos del molibdeno en diferentes áreas. Es bastante peculiar, que la demanda y los precios del molibdeno no fueron afectados-

ni por la crisis del petróleo ni por la recesión del período -- 1974-1976, no obstante que la producción de acero fué reducida considerablemente. La curva exponencial en el diagrama de barras comparativo de la figura IV.1, muestra el crecimiento impresionante en el comercio y demanda de molibdeno dependiendo de las circunstancias mundiales e ilustra adecuadamente los comentarios anteriores.

IV.3 PRINCIPALES PRODUCTORES

Una de las características principales de la distribución de recursos de molibdeno en el mundo, es su preferencia marcada para el hemisferio occidental en general y para los Estados Unidos en particular. Como se mencionó en el capítulo anterior en el hemisferio occidental se encuentran aproximadamente entre el 84 a 87% de los recursos de molibdeno, de los cuales tres quintas partes se localizan en los Estados Unidos. Esto sitúa a los Estados Unidos con más de la mitad de los recursos conocidos de molibdeno. No es sorprendente entonces que, históricamente, los Estados Unidos hayan jugado y jueguen aún el principal y muy especial papel en la producción mundial de molibdeno. A pesar del hecho de que la producción industrial de molibdeno en los Estados Unidos empezó tan sólo en 1915, durante la Primera Guerra Mundial, de las aproximadamente 403 000 toneladas métricas producidas desde 1778 hasta 1955, el 90% o sea 365 000 toneladas métricas fueron producidas en los Estados Unidos. -- Obviamente que esto fué debido al tremendo potencial de Climax-Molybdenum la cual, por años, fué caracterizada por proporcionar más del 50% de la producción mundial y aún contribuye con una tercera parte de la misma. Con la nueva propiedad en Henderson puesta en marcha en 1976, Climax, actualmente American Metal Climax (AMAX), regresará nuevamente a su posición dominante en la producción de molibdeno. Otro factor que contribuye en la posición prominente de los Estados Unidos en el comercio mundial del molibdeno es la enorme producción de molibdeno como subproducto, principalmente a partir de cobres porfíricos. Esta producción ha fluctuado durante los últimos 10 años entre -- 11 500 y 22 500 toneladas métricas por año, dependiendo de las huelgas y el mercado de cobre, y actualmente contribuye con cerca de una tercera parte de la producción de molibdeno de los Estados Unidos o aproximadamente 20% de la producción mundial.

Estos dos factores combinados, han contribuido para que el molibdeno americano juegue un papel muy prominente en los negocios mundiales. De hecho, de 1965 a 1974, los Estados Unidos han producido cerca de 460 000 toneladas métricas de molibdeno que corresponden al 62.8% de las 733 000 toneladas métricas -- producidas en el mundo entero en este período.

La situación general en la producción mundial de molibdeno puede apreciarse de la tabla IV.2. Detrás de los Estados Unidos, que en los últimos cinco años ha contribuido con casi el 62% de la producción mundial, sigue inmediatamente Canadá, que produce el 16.6% de la producción mundial. La producción canadiense creció vigorosamente durante los 60's, cuando se efectuaron inversiones importantes para la explotación de depósitos grandes de molibdeno y cobre porfídico, principalmente en Columbia Británica. Debido a que las producciones canadiense y chilena se incrementan, la importancia relativa de los Estados Unidos en el mercado mundial del molibdeno ha disminuido un poco, siendo naturalmente aún muy fuerte.

Cerca de Canadá sigue la Unión Soviética, la cual ha desarrollado lenta pero establemente su producción desde una cantidad insignificante, durante la Segunda Guerra Mundial, hasta más de 8 000 toneladas métricas por año actualmente. Esto se debe principalmente al resultado de haber incrementado la recuperación como subproducto, básicamente en los depósitos de cobre porfídico y en las minas de tungsteno.

En los últimos años, el tercer lugar en la producción mundial de molibdeno, que ha correspondido a la Unión Soviética, está siendo tomado gradualmente por Chile. Chile ha invertido \$ 26 millones de dólares en una planta nueva de subproducto en Chuquicamata, y ha puesto en operación en 1976, una planta nueva de molibdeno como subproducto en Saladillo, de la División de Minas Andina de CODELCO-Chile. Esto elevará la capacidad de producción actual de 10 000 toneladas métricas por año hasta 15 000 toneladas métricas por año en los siguientes años, desplazando definitivamente a la Unión Soviética hacia el cuarto lugar en la producción mundial de molibdeno.

IV.4 CAPACIDAD INSTALADA

T a b l a IV. 2.

PRODUCCION MUNDIAL DE MOLIBDENO DURANTE : 1970-74.
(expresada en toneladas métricas)

	1970	1971	1972	1973	1974	Promedio	%
Estados Unidos	50 614	49 815	50 972	52 663	50 954	51 004	61.9
Canadá	15 350	12 875	12 951	13 814	13 455	13 689	16.6
Unión Soviética	7 727	8 000	8 227	8 500	8 818	8 254	10.0
Chile	5 700	6 348	5 891	4 940	9 757	6 527	8.0
China	-	-	1 500	1 500	1 500	1 500	1.8
Perú	608	810	768	723	750	732	0.9
Otros	899	799	792	551	345	677	0.8
Total Mundial	80 900	78 647	81 101	83 691	85 579	82 383	100.0

En términos generales, de acuerdo con el Bureau of Mines - de los Estados Unidos, la capacidad instalada en 1974 de todas las plantas que recuperan molibdeno corresponde a cerca de -- 110 000 toneladas métricas de producción anual, si esto se compara con la producción real de 85 579 toneladas métricas en --- 1974, indica que se está utilizando el 78% de la capacidad instalada, lo cual se debe probablemente a la reducción en la producción a partir de pórfidos de cobre y a las condiciones generales de recesión en la economía mundial. De hecho, de acuerdo a la misma fuente, la recuperación de molibdeno como subproducto de los Estados Unidos en 1974 fué de aproximadamente 5 000 - toneladas métricas menos que en 1973. Esto corresponde a más - de un 20% de pérdida.

Con el arranque de nuevas propiedades, se espera que en -- los próximos años, por 1980, la capacidad de producción de los Estados Unidos aumente un 40% hasta 88 500 toneladas por año, - mientras que se espera que la capacidad mundial presente un incremento del 35% como se muestra en la tabla IV.3 .

IV.5 SECTORES DE PRODUCCION

Con respecto a las principales fuentes de suministro para la producción, puede establecerse que cerca de la mitad de estos provienen de las minas de molibdeno primario, tales como - Climax y Questa en los Estados Unidos y Endako en Canadá. *Otro 46% del molibdeno proviene de los grandes depósitos de cobre -- porfídico, principalmente los que se encuentran en Columbia Bri tánica, Arizona y Latinoamérica. Los depósitos más importantes en Latinoamérica estan en Chile y Perú, estos países obtienen - su molibdeno exclusivamente a partir de pórfidos de cobre y tienen un potencial enorme de expansión.

*En 1977, cuando la propiedad en Henderson alcanzó su operación total, las minas primarias alcanzaron una capacidad de - 66 700 toneladas métricas que comparadas con la capacidad mundial de 112 000 toneladas métricas, significaran un 59.5% del total.

China, Corea y la Unión Soviética en parte confían excesivamente, en la recuperación de molibdeno, a partir de minerales de tungsteno y de algunos otros. Existen también recuperaciones de molibdeno como subproducto del Uranio y Bismuto. Este tipo de depósitos contribuye con sólo el 5% de la producción total de molibdeno.

T a b l a IV. 3

PRODUCCION MUNDIAL DE MOLIBDENO Y
CAPACIDAD INSTALADA
(expresada en TM)

	1974		1980
	Producción	Capacidad	Capacidad Proyectada
Estados Unidos	50 954	63 500	88 500
Canadá	13 455	19 000	22 700
Chile	9 777	10 000	15 000
Unión Soviética	8 818	10 000	12 300
China	1 500	2 500	3 000
Perú	750	1 300	2 000
Otros	320	3 700	5 000
T O T A L	85 579	110 000	148 500

IV.6 PRINCIPALES PROPIEDADES

IV.6.1 MINAS DE MOLIBDENO PRIMARIO

Como se ha mencionado anteriormente, las minas más importantes de este tipo se localizan en el hemisferio occidental y su ubicación puede resumirse de la siguiente manera:

Estados Unidos: Climax, Urad, Henderson, Questa.

Canadá: Endako, Boss Mountain, British Columbia Molybdenum Ltd.

EUROPA: Knaben (Noruega), Minas Rusas.

IV.6.2 RECUPERACION COMO SUBPRODUCTO A PARTIR DE COBRES PORFÍDICOS

La recuperación de molibdeno como subproducto a partir de pórfidos de cobre representa actualmente una fuente muy importante de molibdeno. El 44% del molibdeno mundial proviene de esta fuente y, puesto que los pórfidos de cobre se localizan predominantemente en el hemisferio occidental, el grueso del molibdeno como subproducto proviene de esta parte del mundo, particularmente de Arizona y la parte suroeste de los Estados Unidos, Columbia Británica y la región Andina de América del Sur, específicamente Chile y Perú.

De acuerdo a las últimas estadísticas, en 1976, existen 50 pórfidos de cobre en operación: 23 en los Estados Unidos; 8 en Latinoamérica; 6 en Canadá; 7 en el área del Pacífico y 6 en los países del bloque soviético. De estas propiedades se recupera cerca del 50% de molibdeno como subproducto.

En Latinoamérica y Columbia Británica la recuperación de molibdeno es parte del negocio del cobre, especialmente en Columbia Británica, donde los minerales de cobre tienen muy bajo contenido de este metal. Se puede considerar que en promedio una tonelada métrica de cobre está acompañada de 41 lbs. de molibdeno como subproducto, lo cual ayuda a pagar algunos gastos especialmente cuando los precios del cobre son bajos. En Cana

dá esta situación es particularmente importante debido a que -- cada tonelada de cobre está acompañada, en promedio, de 75 lbs. de molibdeno.

La localización de las propiedades de este tipo puede resumirse en la forma siguiente:

ESTADOS UNIDOS: Kennecott Copper Corporation, Duval Corporation (Penzoil), Magma-San Manuel, ASARCO- Mission, ANAMAX-Twin Buttes, Cyprus Mines Corporation.

Otras propiedades de subproducto de los Estados Unidos. -- Históricamente, muchas minas de cobre con molibdeno como subproducto han descontinuado su producción de molibdeno debido a razones económicas y disminución en el contenido de molibdeno de los yacimientos. Tal es el caso de la primera mina para recuperar molibdeno como subproducto en Sonora, México; y algunas minas prominentes, tales como Morenci, Silver Bell y, recientemente Miami e Inspiration. Tal vez estas minas reanuden su esfuerzo para la recuperación de molibdeno cuando el mercado o las -- condiciones de minado sean propicios.

CANADA: Noranda Mines, (Brenda Mines, Gaspé Copper y Placer Development), Gibraltar Mines, Lornex Mining Corporation Ltd., - Utah Mines Limited (Island Copper Mines).

LATINOAMERICA: La situación de Latinoamérica está tipificada -- por los grandes pórfidos de cobre en Chile y Perú. Por otra -- parte como se ha mencionado, el primer molibdeno obtenido como subproducto fué recuperado en una mina mexicana en Cananea, en el estado de Sonora. Además, se han encontrado recientemente -- potencialidades prometedoras para pórfidos de cobre y recuperación de molibdeno como subproducto en Argentina, Puerto Rico, - Panamá, México y otros lugares. Chile y Perú permanecen totalmente como los únicos productores de molibdeno como subproducto en la actualidad y por cierto con un potencial mucho mayor -- para el futuro.

Las principales propiedades en esta área son las siguientes:

CODELCO-Chile es actualmente el mayor poseedor de recursos de -

cobre del mundo y también es el mayor productor mundial de cobre y molibdeno como subproducto. Esta compañía cuenta con cuatro divisiones que son: Chuquicamata, El Teniente, El Salvador y Minas Andina. Southern Perú Corporation (Toquepala), Cuajone.

PORFIDOS DE COBRE EN EL AREA COMUNISTA

No se tienen datos oficiales disponibles de las reservas de cobre porfídico en el área comunista, especialmente en la Unión Soviética. Además, los datos de la producción se guardan confidencialmente debido a que involucran metales estratégicos.

Las principales propiedades en esta área son: Balkhash Copper, Almalyk Plant (Uzbekistán), Armenian Plants, Medet (Bulgaria).

IV.6.3 OTROS RECUPERADORES DE SUBPRODUCTO

Como se ha explicado anteriormente, existe cierta recuperación de molibdeno como subproducto a partir de minerales diferentes a los porfidos de cobre. Las minas más importantes de este tipo se encuentran precisamente en Rusia y China. En Rusia la más importante de estas minas está en Tirny Auz, en el Cáucaso. Es una mina antigua que fué bien desarrollada, maneja un mineral complejo de tungsteno-molibdeno. Su producción equivale probablemente al 10-15% del total de la Unión Soviética.

En China, el molibdeno se está recuperando a partir de minerales base tungsteno localizados en las provincias de Kiangsi y aparentemente, China tiene algunos excedentes de molibdeno para exportación, puesto que se han reportado algunos embarques del orden de 200 toneladas por año.

En los Estados Unidos, la planta de la Union Carbide Nuclear Company localizada en Pine Creek, California, es la única que produce molibdeno a partir de un mineral que contiene tungsteno. La otra compañía que produce una cantidad pequeña de molibdeno a partir de un mineral de Uranio es la Keer-McGee Corporation en Nuevo México.

En la mina La Corne en Canadá, la Molybdenum Corporation -

of Canada estuvo tratando un mineral que contenía bismuto para la recuperación de molibdeno, pero la operación se suspendió en abril de 1971, cuando el principal consumidor, Continental Ore, canceló el contrato. La compañía estaba produciendo cerca de 250 toneladas métricas de molibdeno y 70 toneladas métricas de bismuto. Existen cerca de 0.5 millones de toneladas de reservas minerales que ensayan 0.15% de molibdeno.

También se ha reportado que Australia produce, intermitentemente, molibdeno a partir de mineral complejo de tungsteno. La Wetframe Camp Mine en Queensland, produjo cerca de 100 000 libras de molibdeno en 1969, a partir de este mineral.

IV.7 M E X I C O

En nuestro país, la producción de molibdeno se inició durante la Segunda Guerra Mundial en 1917, cuando el país produjo cerca de 30 000 libras de molibdeno. Después la producción fue prácticamente descontinuada hasta 1933-1934 cuando la recuperación de molibdeno como subproducto - la primera en el mundo - se estableció por la Anaconda en su propiedad, la Green Cananea, en el estado de Sonora. Esta producción colocó inmediatamente a México en el segundo lugar en la producción mundial de molibdeno, después de los Estados Unidos. La recuperación de molibdeno como subproducto en Cananea, duró de 1933 a 1947. En este período, México produjo un total de 18 270 000 libras de molibdeno. Desde 1954, ha existido una producción ocasional de molibdeno, fluctuando entre 30 000 y 400 000 libras por año. En total, en el período comprendido entre 1954 y 1976 se ha producido en promedio 30 000 libras/año, sumando aproximadamente 3 000 000 libras de molibdeno en total.

Los datos correspondientes a la producción minero-metalúrgica de molibdeno en México, durante los últimos años, se muestra en la siguiente tabla:

PRODUCCION MINERO-METALURGICA DE MOLIBDENO EN MEXICO
(Toneladas, miles de Pesos)

	1970	1971	71/70 %inc	1972	72/71 %inc	1973
Producción	141	79	-44.0	78	-1.3	41
Valor	6 690	3 728	-44.3	3 697	-0.8	1 955
	73/72 %inc	1974	74/73 %inc	1975	75/74 %inc	1976
Producción	-47.4	43	4.9	17	-60.5	16
Valor	-47.1	2 234	14.3	1 168	-47.7	1 188
	76/75 %inc	1977	77/76 %inc			
Producción	- 5.9	1	-93.8			
Valor	1.7	163	-86.3			

IV.7.1 COMPAÑIAS PRODUCTORAS

Generalmente en México, los minerales de molibdeno han sido considerados entre los minerales rara vez explotados, pues los mineros y la minería mexicana han sido tradicionalistas en la explotación de minerales de oro, plata, plomo y zinc.

Comúnmente, los productores de molibdeno corresponden a pequeños y medianos mineros, que realizan por si mismos el beneficio del mineral que explotan, contando para sus tratamientos con pequeñas plantas de flotación, como las que se mencionan a continuación:

Razón Social	Ubicación	Capacidad	Productos
Cía.Mra. El Satélite,S.A.	Mazatán,Son.	20T/D	Molibdeno
Cía.Mra. El Encinal,S.A.	Yécora, Son.	60T/D	Cu y Mo

Razón Social	Ubicación	Capacidad	Productos
Cía.Mra.Galaviz,S.A.Sta.Rosa	Yécora,Son.	100T/D	Cu y Mo
Cía.Mra.Galaviz,S.A.Sta.Ana	Yécora,Son.	40T/D	Cu y Mo

El molibdeno es recuperado como subproducto en las operaciones de El Encinal y Cía. Minera Galaviz, que benefician minerales de cobre.

En base a los datos presentados anteriormente, puede asegurarse que la producción actual de concentrados de molibdenita en nuestro país es insignificante.

IV.7.2 PRODUCCION FUTURA DE MOLIBDENO EN MEXICO

Proyectos en etapa de desarrollo

Dentro de los proyectos de mayor importancia que se estan desarrollando actualmente, podemos considerar los siguientes:

IV.7.3 PROYECTO MINERO-METALURGICO "LA CARIDAD"

Localización: La zona minera de "La Caridad", se localiza dentro del municipio de Nacozarí de García, en la porción noroeste del Estado de Sonora.

Historia de la Exploración y Descubrimiento de "La Caridad". En octubre de 1962, México se vió en la imperiosa necesidad de ejecutar un reconocimiento en busca de minerales metálicos, especialmente de hierro. La necesidad de dicho reconocimiento surgió como resultado de los esfuerzos de México por industrializarse con mayor rapidez, pues es bien conocido que el alma del patrón de la producción mineral la constituye el hierro y los minerales del grupo combustible.

Si una sociedad ha de ser altamente productiva, deberá estar dotada pródigamente de maquinaria motorizada, lo cual significa que debe disponer de cantidades abundantes de hierro.

Como ocurre con frecuencia cuando decae la producción mi-

neral también disminuye la actividad desplegada en la prospección de minerales. En México, este estancamiento es acentuado por el hecho de que en las últimas dos décadas sólo 2 descubrimientos minerales de importancia han sido hechos, en un país rico en recursos de este tipo. Por otro lado, en julio de 1963, los estudios económico-estadísticas de la Industria Nacional del Cobre, mostraron clara evidencia de que en 1966 el consumo de cobre electrolítico rebasaría la producción nacional. Lo anterior forzó la determinación de explorar por cobre a la mayor brevedad y en forma intensa y extensa. Así, se tomó la decisión de buscar mineralización de cobre en la parte noroeste de Sonora. La selección de esta zona, se debió, a consideraciones geológicas y económicas debido a su gran historial minero y principalmente por su ubicación a lo largo del lineamiento cortical WASATCH-JEROME que tiende hacia el norte y que se caracteriza por la gran distribución de depósitos diseminados de cobre. Así, al dar principio la exploración coordinada por cobre, por el Consejo de Recursos No Renovables (actualmente Consejo de Recursos Minerales) con la cooperación de las Naciones Unidas, en octubre de 1966 se trabajó en una zona reservada para este objeto, de 50 000 Km², la cual se dividió en 7 zonas, tratando de ajustarse a la morfología del terreno y se designaron grupos de geólogos para estudiar cada una de ellas. En estas zonas se jerarquizaron los prospectos a estudiar según su posición geográfica y geológica, así como su apariencia de intensidad de alteración vista desde el aire.

En esta forma, se dió interés a aquellas anomalías de mayor atractivo prospectivo, y así, "La Caridad" fué una de las de mayor atracción tanto por su posición geográfica y geológica en una zona intensamente mineralizada como por las dimensiones de la zona alterada observadas desde el aire originalmente.

A mediados de 1967, expiró el contrato con las Naciones Unidas y entonces el CRNNR continuó el programa de barrenación, apareciendo en esta última etapa la mayor parte del yacimiento.

En Julio de 1968, entró en vigencia un contrato por medio del cual el Gobierno Federal facultaba a la Empresa Asarco Mexicana, S.A. para continuar los trabajos de exploración y desarrollo del proyecto "La Caridad". Una vez que Asarco Mexicana ob-

tiene el contrato de exploración, inicia un programa de trabajo, siendo uno de los principales puntos el camino que comunicará - al proyecto "La Caridad", terminada esta obra se logra un servicio completo para todas las necesidades del proyecto.

Como resultado de los estudios realizados por esta compañía, se comprobaron reservas por 600 000 000 de toneladas de mineral ensayando 0.7% de Cobre y 0.01 - 0.015% de Molibdeno.

La Caridad se encuentra aparentemente en un extremo de la parte Sur del cinturón de cobre que se extiende desde Sacaton - (Casa Grande West) en Arizona pasando a través de lakeshore, -- Silver Bell, Pima, Sierrita, Twin Buttes y Red Mountain en los Estados Unidos hasta Cananea y la Caridad en México.

La mineralización de molibdeno en La Caridad está algo segregada. Una parte de este enorme cuerpo mineral ensaya solamente 0.01% de molibdeno pero el lado opuesto ensaya hasta 0.37% de molibdeno. Además, la concentración de molibdeno aumenta -- con la profundidad.

ESTUDIOS DE VIABILIDAD

INTRODUCCION. El Consejo de Administración de Mexicana de Cobre S.A. formó una comisión especial para que estudiara y comparara las 9 proposiciones presentadas por diferentes firmas de Ingeniería y Construcción, de las cuales se consideró que la -- más conveniente para los estudios de viabilidad y Diseño de Ingeniería era la Compañía Parsons-Jurden Corporation y la Compañía Ralph M. Parsons de México, S.A. Esta compañía realizaría los estudios de viabilidad del Proyecto "La Caridad" y los diseños preliminares de ingeniería necesarios para las siguientes - instalaciones del proyecto:

- a).- Mina
- b).- Concentradora
- c).- Fundición
- d).- Refinería
- e).- Instalaciones Auxiliares (incluyendo centro de población)
- f).- Infraestructura

Una perspectiva general sobre los diseños básicos para las principales instalaciones del proyecto "La Caridad", es la siguiente:

PLANTA CONCENTRADORA. La Planta Concentradora se diseñaría tomando como base una capacidad de 60 000 toneladas de mineral al día, abarcando varios aspectos desde el flujo del material del área Mina, como sigue:

Los camiones cargados en la mina transportarían su contenido de mineral a la quebradora primaria (de conos), cuyo producto sería transportado por una banda a la tolva general de almacenamiento, de donde pasaría a la trituración secundaria.

Tres bandas de líneas paralelas alimentarían una criba de doble cubierta.

La cubierta superior con abertura de 2 1/2 pulgadas y la cubierta inferior de tela de alambre con abertura cuadrada de 3/4 de pulgada. El producto mayor de 2 1/2 pasará directamente a la quebradora secundaria y el producto menor de 3/4 se transportará a la tolva de finos del molino.

La trituración terciaria se hará en quebradoras de cabeza corta en las cuales se descargará el producto mayor de 3/4. Una vez triturado, pasará a la tolva de finos.

El sistema de molienda comprende los siguientes diseños y construcciones:

Tolva de finos, alimentadores para los molinos, molinos y clasificadores. Para la remolienda se usarán molinos de bolas y para la clasificación se emplearán ciclones.

La sección de flotación se dividirá en flotación primaria, flotación limpiadora, segunda flotación limpiadora y flotación agotativa. Los concentrados de cobre obtenidos en la planta concentradora se transportarán por medio de bandas a la fundición. Para casos de emergencias, se cuenta con un área de almacenamiento de concentrados con capacidad para 45 000 toneladas métricas.

En la Planta de Molibdeno, se obtendrán aproximadamente - 312 kilogramos/hora de producto (7.5 ton/día), él cual se envasará en tambores de 925 kgs.

PLANTA DE FUNDICION. La capacidad de esta planta está basada - en la fundición de 1 500 toneladas diarias de concentrados de - cobre, con un contenido de 32% de cobre. Es decir, que la producción de la fundición será de 480 toneladas de cobre por día.

El concentrado recibido tendrá 12 - 14% de humedad y será secado parcialmente hasta un 6% de humedad en un secador rotativo con combustión de aceite.

El concentrado en estas condiciones se mezclará con pie--dra caliza y sílica en proporciones adecuadas y se fundirá en 2 hornos de reverbero de 35 pies por 120 pies, con combustión de aceite.

Los componentes activos del concentrado se combinarán con la sílica y la piedra caliza a temperaturas de 1260 - 1350 °C, -formándose 2 fases fundidas las cuales se separan en dos capas.

La escoria que forma la capa superior será removida continuamente, granulada y eliminada; en tanto que la capa inferior, con un contenido de 40% de cobre y producción diaria de ambos - hornos de 1 275 toneladas, será periodicamente vaciada en calderas de 300 pies cúbicos de capacidad para su tratamiento posterior en tres convertidores de 13 pies de diámetro por 30 pies, con aire a alta presión y sílica.

El aire oxidará al hierro y compuestos de azufre, produciendo 475 toneladas diarias de cobre y aproximadamente 99.2% - de pureza. Este cobre será refinado mediante combustión en 2 hornos de 15 pies de diámetro por 35 pies, soplando aire y gaspropano a través del cobre fundido, para eliminar las impurezas y aumentar el contenido de cobre hasta 99.7% para el vaciado de ánodos, que será de 472 toneladas al día.

REFINACION. La planta de afinación se ha diseñado para una capacidad de producción de 450 toneladas de cobre electrolítico - por día. El objeto de la refinación electrolítica es eliminar-

las últimas impurezas de los ánodos de cobre que se producen en la fundición, con el fin de obtener cátodos de casi 100% de cobre.

El concepto consiste en sumergir los ánodos, junto con láminas delgadas de cobre llamadas hojas base - cátodos iniciados - que actúan como cátodos, en un baño electrolítico, para lo cual se usan tanques de concreto armado revestidos de plomo - llamados tanques comerciales.

El electrolito es una solución de sulfato de cobre y de ácido sulfúrico que se circula a través de los tanques con una velocidad de flujo fija. El cobre - sometido a una diferencia de potencial - se disuelve en el electrolito y se deposita en el cátodo; las impurezas insolubles se asientan en el fondo formando lodos, en tanto que las solubles, o bien se precipitan mediante la acción de los constituyentes del electrolito o bien permanecen en solución.

Se usan agentes aditivos con el fin de obtener mejores depósitos en los cátodos y reducir la formación de nódulos o ramificaciones. Las hojas base se obtienen en tanques de despojo, iguales en diseño a los tanques comerciales, mediante depósitos electrolíticos de cobre sobre las matrices empleadas como cátodos.

De cada matriz se obtienen 2 hojas base mediante separación mecánica.

Los cátodos, una vez completada la depositación, se sacan de los tanques, se lavan, se pesan y se transportan a un área de almacenamiento.

Los lodos, con un alto contenido de metales preciosos, se drenan a una sección especialmente construida para proveer máxima seguridad. Del área de almacenamiento los cátodos se alimentan a un horno de fundición vertical, de donde el cobre fundido pasa a una rueda de colado continuo y se transforma en barras - para alambre, las que posteriormente se enfrían, se inspeccionan, se clasifican por peso y se almacenan, de donde posteriormente serán enviadas en carros de ferrocarril para su distribución en el mercado.

El equipo principal que se usará en la refinera electro-lítica consistirá de tanques de almacenamiento para electrolito, para aceite combustible y para ácido sulfúrico, para solución de sulfato de cobre y agua cruda con sus estaciones de bombeo correspondientes así como almacenamiento de gas propano.

Para la refinación electrolítica se instalarán un total de 960 tanques comerciales agrupados en 30 secciones comerciales de 32 tanques en cada sección, colectores comerciales de electrolito, bombas de alimentación de electrolito, calentadores de electrolito, tanques elevados para alimentar el electrolito por gravedad a los tanques electrolíticos, máquinas lavadoras, tanques de asentamiento de lodos tanques de lavado de lodos filtro de lodos con su equipo accesorio y secador de lodos.

Para obtener las hojas base se usarán un total de 64 tanques de despoje agrupados en 4 secciones de despoje de 16 tanques cada sección; colectores de despoje, bombas, tanque elevado, filtro y máquinas lavadoras.

Para la fundición y vaciado de cobre electrolítico se emplearán un horno vertical, un horno horizontal, una rueda de colado continua y el equipo auxiliar necesario, así como una pila de enfriamiento mediante rociadores de agua.

Se contará también con una planta de tratamiento de agua compresores de aire y calderas para la generación de vapor.

ETAPA DE PRODUCCION. Para el desarrollo de la producción en el proyecto minero-metalúrgico "La Caridad", se ha planeado llevarla a cabo en 2 grandes etapas. Una primera etapa que comprende los 7 primeros años, produciendo 72 000 toneladas de mineral para la concentradora, de la cual sólo se extraerán concentrados en sus primeros 3 años, entrando la fundición en operaciones en el cuarto año de producción.

Se producirá cobre electrolítico en el sexto año de producción en adelante.

La segunda etapa se considera del octavo año en adelante, en la que, gracias a la ampliación en la capacidad de la planta concentradora, se tratarán 90 000 toneladas de mineral por día.

Cabe aclarar que este aumento en el tratamiento de mineral no necesariamente aumentará la cantidad de concentrados, ya que para ese tiempo, se espera tratar mineral con cabezas más bajas, que obviamente mantendrán a un nivel constante la producción de concentrados de cobre, los cuales se calculan con 32% de cobre.

PAGO DEL FINANCIAMIENTO. El financiamiento para la inversión - en el complejo minero-metalúrgico "La Caridad", se obtuvo de -- bancos europeos y americanos, funcionando como aval Nacional - Financiera, S.A.

Se espera que estos financiamientos se puedan cubrir en - un período de ocho años de producción de la mina, con una depreciación acelerada.

El monto del financiamiento es de 471.3 millones de dólares.

Rentabilidad de la Mina con respecto a la inversión:

Se ha calculado que la rentabilidad del proyecto minero-metalúrgico "La Caridad", será aproximadamente del 15.1% sobre la inversión. Esta rentabilidad dependerá de las fluctuaciones del precio de los metales; y para el cálculo se han tomado en - cuenta las siguientes consideraciones; trabajando 350 días laborables en tres turnos:

- a).- Se ha considerado una etapa de pre-producción de 4 - años que comprende de 1975 a 1978 en los que se in--virtió en los departamentos de: Estudios, Explora---ción, Compra de Terrenos, Infraestructura, Mina y --Concentradora.
- b.- El plan de producción durante los primeros 7 años es--de 72 000 toneladas diarias de mineral a la concen--tradora, aumentando del octavo año en adelante a ---90 000 toneladas de mineral por día.
- c).- Dentro del primer año de producción hay una inversión para la fundición, considerándose un margen de 3 años para terminar su construcción.

- d).- La planta de Molibdeno se considera que entrará en operación a partir del segundo año de producción y su inversión se ha considerado en el primer año de producción.
- e).- Dentro del tercer año de producción se construirá la refinería.
- f).- En el sexto y séptimo año de producción se invertirá para la ampliación de la planta concentradora, de 72 000 a 90 000 toneladas al día de capacidad, para que entre en funcionamiento en el octavo año de producción.
- g).- En el octavo año de producción es necesario hacer inversiones para el reemplazamiento de Equipo Mina, igualmente en el decimosexto año de producción se invertirá en renovación de equipo y compra de refacciones.

Cálculo de años operables para el proyecto "La Caridad".

Las reservas minerales en "La Caridad", se consideran actualmente en 746 millones de toneladas. En base a esta cifra se ha calculado la vida del depósito de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} 72\ 000\ \text{Ton/día} &\times 350\ \text{días} = 25\ 200\ 000\ \text{Ton/año.} \\ 25\ 200\ 000\ \text{Ton/año} &\times 7\ \text{años} = 176\ 400\ 000\ \text{Ton/7 años.} \end{aligned}$$

Diferencia de reservas: 569 600 000 Ton.

$$90\ 000\ \text{Ton/día} \times 350\ \text{días} = 31\ 500\ 000\ \text{Ton/año.}$$

Por lo tanto, si en un año se mina esta cantidad, para minar 569 600 000 Ton. se necesitarán 18 años.

La vida del depósito será entonces de $7+18$ años = 25 años.

INGRESOS. Los principales parámetros que intervienen para calcular los ingresos, son el precio de los metales en el mercado, leyes de los minerales, recuperaciones y características de las instalaciones de procesado de los metales.

Precio (dólares)

Cobre en concentrados	0.59	Lb.
Cobre blister	0.68	Lb.
Cobre electrolítico	0.75	Lb.
Molibdeno (Concentrado con 85% de molibdenita)	4.00	Lb.
Plata	4.00	Onza
Oro	5.00	Gramo

L e y e s:

Cabezas de 8.5 Kg. de cobre por tonelada de mineral durante los primeros 5 años de producción, procesándose del 6º. año en adelante, cabezas de 7 Kg. de cobre por tonelada.

170 gramos de molibdeno por tonelada de concentrado de co
bre.

4 onzas de plata por tonelada de concentrado de cobre.

1 gramo de oro por tonelada de concentrado de cobre.

Recuperaciones:

85% de recuperación para cobre en flotación.

98% de recuperación para cobre blister y refinado.

60% de recuperación para molibdeno en flotación.

Plantas para fundición y refinería con capacidad para ---
200 000 toneladas métricas anuales.

Costos de Operación:

Para los costos de operación de cada uno de los metales - recuperables en el depósito "La Caridad", se planearon diferentes costos que existen desde su extracción del depósito hasta - el producto final tomando en cuenta (cuando lo ameritan), los - costos de Concentradora, Fundición y Servicios Auxiliares. Admi-
nistración, Fletes, Ventas, Impuestos de Producción y de Expor-
tación, Regalías, Impuesto Estatal; además de un 15% de este --
Sub-Total por imprevistos y escalamiento.

Funcionamiento del Proyecto Minero-Metalúrgico "La Caridad" a Futuro:

Este proyecto es el más grande en su tipo que se ha emprendido en México. La Planta Concentradora tratará 72 000 toneladas diarias de mineral que producirán alrededor de 1 650 toneladas de concentrado con contenido de 305 kilogramos de cobre por tonelada. La capacidad de la planta de Fundición, será para producir 200 000 toneladas de cobre amollado por año, y la de la Refinería de igual capacidad para producir cobre electrolítico. Es una distinción única para este proyecto el que será el primero que incluya en una sola unidad Planta Concentradora, Fundición y Refinería.

A la fecha, ya se ha concluido el descapote o retiro de material estéril de la mina, y con ello se han expuesto reservas minerales que se han empezado a beneficiar a partir de junio del presente año.

El material de mina con contenido de 2 a 4 kilogramos de cobre por tonelada se separará y se acumulará en un terreno marginal al depósito, para posteriormente beneficiarse por el proceso de lixiviación. El material estéril se acumula en otro terreno para este caso y también se usa para rellenar valles y aumentar los sitios para futuras construcciones y vías de acceso a las diferentes partes del área mina. Los trabajos de desarrollo y descapote que actualmente se llevan a cabo, son sólo con el objeto de optimizar el futuro minado.

Actualmente se corren pruebas de extracción por solventes orgánicos para conocer los resultados que se pueden obtener con las soluciones ricas de lixiviación. A la fecha, se continúa depositando material lixiviable en un depósito para este fin, con capacidad para 59 millones de toneladas; asimismo se está estudiando el sitio para la instalación de una planta electrolítica que trate diariamente soluciones conteniendo 17 toneladas de cobre.

CONCLUSIONES. A partir de la descripción expuesta, el proyecto minero-metalúrgico de "La Caridad", se ha realizado ya en un 65% en general. Con la mina completamente preparada y con-

reservas expuestas para un año de trabajo de la concentradora - a plena producción.

La quebradora primaria se encuentra totalmente construída con las quebradoras secundaria y terciaria, al igual que la --- Planta Concentradora. La construcción de la fundición está por iniciarse'

Desde el punto de vista metalúrgico, debe notarse la gran importancia que tiene el correcto funcionamiento de este proceso. Considerando que se tiene planeada la producción de - - - 200 000 toneladas métricas de cobre por año y 2 300 toneladas - métricas de molibdeno por año, esto es cuando la operación se - encuentre a plena capacidad'

Es conveniente considerar también, la influencia que tendrá el mercado internacional del cobre en los próximos años; ya que de esto dependerá el éxito de "La Caridad", y por consi---- guiente la producción de molibdeno a partir de este importante yacimiento.

IV.7.4 MINERA FRISCO, S.A. DE C.V. - PROYECTO CUMOBABI.

GENERALIDADES

El proyecto Cumobabi se localiza en el territorio de la - Verde, Municipio de Cumpas, en el Estado de Sonora, México. La elevación de la mina es de 1,140 M.S.N.M. y el clima en el lugar tiende a ser extremoso. El Proyecto se encuentra comunicado por tierra a las poblaciones cercanas y se tiene acceso por aire en caso de emergencia.

Las poblaciones cercanas al Proyecto, y en especial Cum-- pas situado a una distancia de 26 Kms., cuenta con todos los -- servicios complementarios para el desarrollo del Proyecto.

RESERVAS MINERALES

El cálculo de reservas minerales del Proyecto se basó en una ley mínima costeable - CUTOFF - de 0.317% Mo. en Brecha y - de 0.125% Mo. en pórfido para una planta de 1 200 T.P.D. Las -

reservas de mineral desde el punto de vista geológico son - - -
4 935 986 toneladas con una ley promedio de 0.21% Mo.

M I N A D O

El depósito de mineral se adapta perfectamente para ser minado a tajo abierto, con un tajo de 14 bancos de 10 metros de altura cada uno, una pendiente en el flanco más largo y en los extremos de 55°, una profundidad H del tajo de 140 metros y medidas exteriores de 230 por 120 metros. En el minado se consideran las operaciones de barrenación, voladura, cargado y acarreo.

El plan de minado se ha dividido en dos etapas principales: el minado de la brecha y el minado del pórfido. A partir del segundo semestre de 1980 y hasta enero de 1984, se minará en brecha a un ritmo de 600 toneladas diarias durante el primer año y de 1 200 toneladas diarias los siguientes años. A partir de febrero de 1984 y hasta el primer trimestre de 1992, se minará el pórfido a un ritmo de 1 200 toneladas diarias. Si se considera un descapote preoperativo de 1 092 000 toneladas, restaría un descapote de 5 446 830 toneladas que relacionándolas con las reservas de mineral da una relación de descapote general de 1.15 a 1 .

PLANTA Y PROCESO METALURGICO

La planta de beneficio tendrá capacidad para tratar 1 200 T.P.D. utilizando flotación selectiva y produciendo concentrados de sulfuros de cobre y molibdeno con los siguientes ensayos.

	%Mo	%MoS ₂	%Cu.	%Fe.
Concentrado Mo	55.0	91.80	0.74	3.0
Concentrado Cu	0.93	1.60	16.40	2.24
Cola Final	0.03	0.05	0.02	2.58
Cabeza Calc. (brecha)	0.37	0.62	0.27	2.88

El proceso metalúrgico para el beneficio del mineral con-

siste básicamente en trituración, molienda, flotación, filtrado, secado y envasado. La trituración se realizará en tres etapas, con la última en circuito cerrado con una criba. La capacidad de trituración es tal que permite el paso de 1 200 T.M. - en un turno de trabajo de 8 horas, 5 horas efectivas, obteniendo un producto final de -3/8". La etapa de molienda y remolienda será en un circuito cerrado a 85% - 325 mallas con lo cual se liberarán los valores de cobre y molibdeno, los cuales se concentran por medio de flotación selectiva. Los concentrados-obtenidos por el proceso descrito serán tratados en asentadores, filtros y secadores, para ser posteriormente envasados y embarcados.

EDIFICIOS E INSTALACIONES PARA SERVICIOS

Básicamente se contará con un edificio para oficinas generales con una área construída de 415 m²; una planta de beneficio, un almacén general de 32.5 por 32.6 metros entre ejes de columnas exteriores, un patio cercado 900 m², un área de mantenimiento mecánico-eléctrico con una superficie de 32.5 por 40.75 metros entre ejes de columnas exteriores, y un campamento únicamente para empleados.

INFRAESTRUCTURA

En cuanto al agua necesaria para la operación del proyecto se calcula un consumo de 522 G.P.M. con cero recuperación, y en base a esto se considera que este recurso se puede suministrar de dos pozos en la margen del río Moctezuma, en las afueras de la ciudad de Cumpas.

Los requerimientos máximos de energía eléctrica son de 4,800 Kw. por lo cuál será necesario construir una línea de 71 Km. entre Cumobabi y Nacozarí de donde se puede obtener este importante recurso.

M E R C A D O

El precio del molibdeno presenta una tendencia a incrementarse y se espera que al menos se incremente al ritmo que lo hace la inflación, de lo cuál se tienen ya algunos indicios.

Aún cuando el precio del molibdeno en el mercado es superior al que cotiza Climax, para efectos de este estudio se tomó el precio publicado de concentrados de subproducto de \$ 4.50 dólares por libra de molibdeno contenida para ventas al extranjero; para ventas en el país se tomó un precio de \$ 5.00 dólares por libra de molibdeno contenida que se considera sería el precio de Climax más gastos.

Para ventas de sulfuro de molibdeno al extranjero se consideró un precio de venta neto por libra de molibdeno contenida de \$ 4.166 dólares y para ventas en el país de \$ 4.695 dólares.

Es conveniente mencionar que Philipp Brothers presentó en el mes de septiembre de 1978 una propuesta tentativa para la compra de concentrado a un precio de \$ 6.60 dólares.

En relación a la producción del concentrado de cobre, cabe aclarar que el costo de producción de este fué incluido en los costos de operación. Sin embargo, los ingresos generados por la venta de este producto no fueron incluidos en los estados financieros.

COSTOS DE OPERACION

En base a la infraestructura del proyecto y los recursos necesarios para su operación se estima un costo de \$ 147.80 M.N. por tonelada de mineral de los cuales \$ 17.25 M.N. corresponden a mina, \$ 102.95 M.N. a la planta y \$ 27.60 a indirectos; y un costo de \$ 15.20 M.N. por tonelada de tepetate.

En relación al personal se consideran necesarios 40 empleados de confianza y 91 obreros que cubran las 4 áreas principales: mina, planta, mantenimiento y administración general.

I N V E R S I O N

La inversión total del Proyecto Comobabi asciende a un total de \$ 534 000 000 M.N. e incluye todos los bienes de capital, construcciones, gastos preoperativos y capital de trabajo necesarios para la operación del proyecto, así como un ajuste por erogaciones imprevisibles e inflación.

La inversión total está distribuída por área de actividad de la siguiente manera:

Mina	\$ 53 640 000.00
Planta de Beneficio	86 681 000.00
Servicios	11 165 000.00
Construcción	90 789 000.00
Infraestructura	115 718 000.00
Preoperación	176 007 000.00

CONCLUSIONES

Las posibilidades que ofrece el mercado nacional e internacional para la comercialización del molibdeno, sugieren definitivamente el desarrollo y explotación de un cuerpo de este mineral con una ley que la haga rentable desde el punto de vista-económico.

La ley mínima costeable para explotar la mina Cumobabi, - determinada a partir del costo total que requeriría la operación de esta (incluyendo depreciación), define una reserva de mineral explotable de brecha de 1 295 450 toneladas y una reserva de mineral explotable de pórfido de 3 449 400 toneladas para un total de 4 744 850 toneladas con una ley promedio de 0.220% Mo.

En base a las operaciones y recursos necesarios para el desarrollo, explotación y comercialización de las reservas de mineral de la mina Cumobabi, se llega a la conclusión de que el proyecto es factible desde el punto de vista técnico y rentable desde el punto de vista económico.

IV.7.5 INDUSTRIAS PEÑALES, S.A. PROYECTO LOS VERDES

INDTRODUCCION

Los Verdes yacimiento localizado en el distrito de Santa Ana, municipio de Yécora, estado de Sonora consta fundamentalmente de sulfuros de cobre y molibdeno.

Actualmente se estudia la posibilidad para una operación -

de explotación a ritmo de 750 000 ton/año de mineral y poder de terminar la viabilidad económica de este proyecto.

De acuerdo a un estudio preliminar la inversión requerida para la construcción de la planta es de 331 millones de pesos, - y de acuerdo a los estudios geológicos realizados, se cuenta -- con reservas para 9 años al ritmo de explotación antes mencionado.

R E S E R V A S

El yacimiento de Los Verdes cuenta con 6.8 millones de toneladas de reservas totales. La explotación de mineral se considera a un ritmo de 750 000 ton/año de mineral, por lo que la vida del yacimiento está planeada para 9 años.

La producción estimada para concentrados de cobre es de - 19,580 ton/año (59.3 ton/día), y para concentrados de molibdeno es de 1,685 ton/año (5.10 ton/día).

EVALUACION FINANCIERA

El Proyecto se evaluó por distintos métodos cuyos índices señalan que la inversión es atractiva como se muestra en el resumen de la tabla siguiente:

RESUMEN DE LA EVALUACION FINANCIERA

Método	Resultado
ROI DE OPERACION	35.1 %
PAYOUT	2.5 años
DCFRR	27.72 %
NPV	439,668 MPS \$

D O N D E:

ROI Rendimiento sobre la inversión
Utilidad de operación (antes de gastos financieros, impuesto sobre la renta y reparto de utilidades), - entre la inversión.

LOS VERDES

Balance Metalúrgico :

	TON/AÑO	Cu %	Mo %	WO %	Rec. %
Cabeza	750 000	0.89	0.16	0.135	-
Concentrado de Cu	19 580	30.00	0.02	0.01	88 Cu
Concentrado de Mo	1 683	0.40	57.00	0.10	80 Mo

Costo de Minado \$ 20.42 Ps\$/Ton.

Costo de Beneficio 119.43 Ps\$/Ton.

T O T A L \$ 139.43 Ps\$/Ton.

Inversión Total MPS \$ Precio Base 1978

Inversión activo fijo 331 000 Cu 0.80 US\$/Lb

Gastos Financieros
Capitalizables 38 912 Mo 4.4 US\$/Lb.

Gastos Preoperativos
Capitalizables 102 000

T O T A L 461 912

Ventas Totales MPS \$ Cu 181 290 % 46.0

Mo 213 525 54.0

T O T A L 394 815 100.0

PAYOUT =Tiempo de recuperación.

DCFRR =Redituabilidad según flujo de efectivo descontado o tasa interna de recuperación.

NPV =Valor neto presente utilizando un factor de descuento del 10%.

IV.8 COSTOS DE PRODUCCION

Los costos de producción son guardados por las compañías como información confidencial y por consiguiente no es fácil tener acceso a ellos. Por tanto, deben considerarse en el contexto de una gran variedad de factores, tales como: la ley de los minerales, relaciones de desmonte, métodos de minado, profundidad de las minas, reactivos y pasos de procesamiento utilizados etc. En la siguiente apreciación se tratarán los costos sólo en términos generales, basándose principalmente en la producción a gran escala y en forma promediada.

Existen dos casos diferentes para evaluarse en los costos de producción de molibdeno: uno basado en la producción de molibdeno primario y el otro en la recuperación de molibdeno como subproducto. En la producción primaria, los costos incluyen todas las fases de minado, concentración, enriquecimiento final; estos costos se originan por causas operacionales y de inversión y financieras. En la recuperación como subproducto, los costos de recuperación son cargados sólo en el inicio del proyecto, con la planta de re-tratamiento, considerando que el minado y la flotación rougher deben efectuarse de cualquier manera por motivo del producto principal, él cual es normalmente cobre. Si el cobre y el molibdeno son co-productos, tal como sucede en Brenda y Sierrita, se puede efectuar un enfoque diferente, para esto deben tomarse los costos totales considerando las partes correspondientes a cada metal.

En la producción de molibdeno primario, los costos de minado dependerán del método utilizado, profundidad de la mina, relaciones de desmonte, etc. En el caso de minado a cielo abierto, los factores determinantes son la relación de desmonte y la escala de minado. Para minas grandes, con más de 10 000 -

toneladas por día de producción y con relaciones de desmante -- que varían de 1:1 a 1:3, los costos pueden ser de aproximadamente \$ 0.70 a \$ 1.50 dólares por tonelada de mineral. Por otra parte, en minas subterráneas, que son explotadas normalmente -- por socavación y derrumbe, los costos deberan estar alrededor de \$ 2 dólares por tonelada. En operaciones subterráneas menores y más complicadas, los costos de minado pueden alcanzar fácilmente más de \$ 3 dólares por tonelada.

Los costos de procesamiento del mineral en las operaciones de molibdeno primario, incluyendo trituración, molienda, -- flotación, retratamiento y eliminación de agua de los concentrados, disposición de las colas, secado y embarque de los concentrados, disposición de las colas, secado y embarque de los concentrados, deben ser actualmente cerca de \$ 2 dólares por tonelada. Si tomamos en consideración que las cabezas de molibdeno normales contienen de 0.1% de molibdeno a 0.3% de molibdeno y que es posible recuperar de 85 a 90% de este molibdeno, debemos considerar que estos costos deben cargarse contra una producción de 2 a 5 libras de molibdeno por tonelada de mineral. De acuerdo con la última inversión de Climax en Henderson, debe agregarse otro dólar por libra de molibdeno para formar el capital y costo financiero.

De este modo, los costos calculados para la producción de una libra de molibdeno en forma de concentrado de molibdenita -- deben variar de aproximadamente \$ 2 dólares para minas a cielo abierto con mineral de bajo contenido, a cerca de \$ 2.50 dólares para minas subterráneas con mineral de bajo contenido y cerca de \$ 1.00 - 1.30 dólares para minas subterráneas con mineral de alto contenido. El límite de rentabilidad con los precios actuales para el minado a cielo abierto debe ser en algunos lugares alrededor de 0.06% de molibdeno para cielo abierto, minas con relación de desmante baja; cerca de 0.07% de molibdeno para casos más difíciles de minado a cielo abierto; y cerca de 0.09% para minado subterráneo. Obviamente, estos cálculos no incluyen casos en áreas muy remotas con condiciones de trabajo severas y desembolsos de capital grandes, tal como puede suceder en Alaska, Groenlandia y otros lugares.

En el caso de la recuperación de molibdeno como subproduc

to, deben considerarse los costos totales de retratamiento y algunos costos tales como la adición de promotores especiales para la recuperación rougher. Estos costos dependerán obviamente del contenido de molibdeno de los concentrados y del tamaño de la operación debido a que ambos factores influyen substancialmente en las recuperaciones y la eficiencia de las operaciones. El contenido de molibdeno en los concentrados de cobre porfídico puede variar entre 0.1 a 1% de molibdeno, también existen casos como el de Brenda y Sierrita donde el contenido de molibdeno está sobre el 2% de molibdeno. Sin embargo, la mayoría de los subproductores manejan concentrados con un contenido de molibdeno entre 0.2% y 0.6% de molibdeno. Dependiendo del tamaño de la operación (típicamente entre 500 y 2 000 toneladas por día de concentrado), el costo por retratamiento puede variar entre \$ 7 y \$ 10 dólares por tonelada de concentrado, la fluctuación se debe principalmente al grado de recuperación de molibdeno en un producto final (entre 50 y 90%) y a los reactivos utilizados para la eliminación de cobre. Bajo estas circunstancias los grandes productores de molibdeno como subproducto, tales como Chuquicamata, El Teniente, Utah Copper y sin duda Sierrita, pueden producir molibdeno a menos de \$ 1 dólar por libra. De hecho, algunos de ellos producen con costos de producción considerablemente menores a \$ 1 dólar por libra. Sin embargo, para una buena parte de los productores, los costos son un poco mayores y pueden fluctuar normalmente entre \$ 1.25 y \$ 2.50 dólares por libra. El límite de rentabilidad para operaciones pequeñas es actualmente de cerca de 0.2% de molibdeno en concentrados, mientras que para un productor de gran tamaño, este límite puede ser un tanto menor, puede decirse que es alrededor de 0.15% de molibdeno.

Con una razón de concentración para el concentrado de cobre más limpio de 1:40 ó 1:60 para cobre (de 0.5 - 0.7% de cobre en las cabezas hasta concentrados de 28 - 35% de cobre) y una pérdida de molibdeno del 50% en la recuperación primaria - flotación rougher - con cabezas bajas, el límite de rentabilidad para la concentración de molibdeno en las cabezas originales debe estar alrededor de 0.007% de molibdeno y sólo en algunos casos se encuentra abajo de esta cantidad.

Entonces, podemos concluir que los costos para la recupe-

ración de molibdeno en forma de concentrados de molibdenita de alto contenido son de aproximadamente \$ 1.50 a \$ 2.50 dólares - por libra de molibdeno para productores primarios y de \$ 0.75 a \$ 1.50 dólares para productores de molibdeno como subproducto.

Unos expertos germanos han diseñado una fórmula empírica para los costos totales de producción de molibdeno, los cuales incluyen además el capital y los costos financieros; esta relación es:

$$T_C = (M_C + P_C) \frac{4.536}{Mo \% \cdot R}$$

donde: T_C - es el costo total en \$/Lb Mo.

M_C - es el costo de minado en \$/Lb Mo.

P_C - es el costo de procesamiento en \$/Lb Mo.

Mo% - el contenido de Mo en %.

R - es la recuperación total.

De acuerdo con esta fórmula y considerando las cantidades promedio consideradas anteriormente, podemos establecer lo siguiente:

$$(0.40 + 0.50) \frac{4.536}{0.22 \times 9} = \$ 2.06 \text{ dólares por Lb Mo.}$$

En casos extremos (contenido de 0.1% de molibdeno, recuperación de 85%, subterránea), puede ser de \$ 10.67 dólares por libra, y bajo condiciones óptimas (contenido de 0.3% de molibdeno, recuperación de 90%, minado a cielo abierto), pudiera ser de sólo \$ 1.18 dólares por libra.

Los costos para tostación significan cerca de \$ 0.10 a -- \$ 0.15 dólares por libra; el empaque aproximadamente \$ 0.04 dólares por libra, y las pérdidas de proceso (cerca del 1%) se -- evalúan actualmente en cerca de \$ 0.05 dólares por libra, lo -- cuál hace un total de aproximadamente \$ 0.24 dólares por libra. La tarifa encargada hoy en día por los productores para la conversión del sulfuro en óxido por libra corresponde a \$ 0.28 dó-

lares, lo cuál corresponde casi al costo de esta operación. Es to se está manteniendo a este nivel bajo artificialmente en órden de desanimar la proliferación de las operaciones de conversión por compañías que no producen concentrados de molibdenita.

IV.9 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO IV

- 1.- U.S. Bureau of Mines' Yearbooks, chapters on Molybdenum, 1930-1974.
- 2.- U.S. Bureau of Mines. Mineral Facts and Problems, chapters on Molybdenum, years 1960, 1965, 1970 y 1975.
- 3.- Wilmer Mc Innis. Molybdenum - a materials survey, Information Circular No. 7784, 1957.
- 4.- Annual Reports of AMAX, Kennecott, Anaconda, Noranda, Duval, Pensoil, Bethlehem, Magma-Copper, Newmont, Cyprus Corporation, Inspiration; etc.
- 5.- Canadian Yearbook of Mines, 1969-1973.
- 6.- A. Sutulov. Copper Porphyries, Salt Lake City, Utah, 1974
- 7.- Walter R. Skinner. Mining International Yearbook, 1972-73.
- 8.- The Financial Post Survey of Mines, 1976, Canadá.
- 9.- Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, años 1970-77.
- 10.- Plantas de beneficio instaladas en la República Mexicana, publicación de la Dirección General de Minas, Sept. 1978 - S.P.F.I.
- 11.- Proyecto Minero-Metalúrgico "La Caridad" por Ing. José - Contla J. e Ing. Juan Hernández P. presentado en el Segundo Seminario de Economía Minera. San Luis Potosí, S.L.P. Febrero de 1979.
- 12.- Minera Frisco, S.A. de C.V. Estudio de Viabilidad del Proyecto "Cumobabi" 1978.
- 13.- Estudio de Viabilidad del Proyecto "Los Verdes" a 750 000 Ton/año de Mineral, presentado en el Segundo Seminario de Economía Minera. San Luis Potosí, S.L.P. Febrero de 1979.

CAPITULO V

TECNOLOGIA EN LA PRODUCCION DE MOLIBDENO

V.1 GENERALIDADES

Como práctica general, la tecnología de producción de molibdeno consiste de los siguientes pasos consecutivos:

Después de que el mineral es minado, ya sea por el método a cielo abierto o por minado subterráneo, es conducido a la planta de trituración para efectuar molienda gruesa y fina, el material que llega de la mina es reducido a un tamaño comprendido entre 1/4 a 1/2 pulgada. Este mineral es entonces repulpado con agua hasta un 67% de sólidos y, se muele en una o dos etapas hasta obtener un producto con granulometría entre 50 y 70% a -200 mallas. El material finamente molido es clasificado para asegurar un producto de tamaño uniforme, utilizando generalmente hidrociclones y a continuación se entrega a la planta de flotación. Dependiendo del tipo de mineral, la pulpa es acondicionada a un pH óptimo seguida por la adición de reactivos colectores y espumantes. Si el mineral es de tipo molibdeno primario, se colecta un concentrado rougher con cerca de 30% de sólidos mediante un reactivo de tipo hidrocarburo. Este concentrado es a continuación enriquecido en varios circuitos de limpieza, hasta que se obtiene un producto final que contiene aproximadamente de 90 a 95% de MoS_2 .

Si se tiene un mineral complejo, del tipo cobre-molibdeno, u otro, se efectúa primero una flotación colectora rougher para el cobre y la molibdenita, seguida por una o dos etapas de limpieza para enriquecer al cobre. El concentrado limpio es tratado enseguida para separar el molibdeno por alguno de los diferentes procesos existentes. Estos se aplican de acuerdo a las características de mineralización del yacimiento. Normalmente, en el circuito de separación el cobre permanecerá deprimido, mientras se flota primero molibdeno en un concentrado rougher, y a continuación es purificado en un circuito a contracorriente hasta que se obtiene un producto con 90% mínimo de MoS_2 , conteniendo menos de 0.5% de cobre.

El concentrado de molibdenita es el primer producto comercial que se obtiene en el procesamiento de los minerales de molibdeno. Este concentrado es espesado, secado y empacado para entrega o para un procesamiento posterior. Debido a que la

molibdenita como tal tiene pocos usos industriales directos, -- aproximadamente el 98% de toda la molibdenita producida sigue - procesándose, el tratamiento posterior consiste en una tosta--- ción y conversión en óxido molibídico.

La tostación de molibdenita se efectúa bajo condiciones - de temperatura cuidadosamente controladas en hornos de tosta--- ción de hogarmúltiple, tipo Wedge. Se ha reportado también la - utilización de reactores fluidizados, sólo que se han tenido al - algunas dificultades en el control del proceso. La tostación --- transforma a la molibdenita en óxido molibídico de grado técnico, que contiene 0.3% de S como máximo y algunas otras impurezas. - El óxido molibídico grado técnico es el segundo producto más im--- portante, tiene aplicación en las fundiciones de hierro, o se - utiliza para la preparación de ferromolibdeno. En todos estos - casos se briquetea para evitar pérdidas en polvos.

Una parte muy pequeña del óxido molibídico es, procesada - posteriormente para obtener sales de molibdeno y molibdeno metá - lico. Para estos propósitos, el óxido molibídico técnico no tie - ne la pureza requerida y, por consiguiente, debe purificarse, - lo cual se efectúa por sublimación. El óxido molibídico técnico puede purificarse también por métodos hidrometalúrgicos. El -- producto obtenido está libre de impurezas tales como metales pe - sados, productos insolubles y azufre. Posteriormente es proce - sado para formar sales de molibdeno, que se utilizan en las in - dustrias química, farmacéutica y de fertilizantes, o es trans-- formado a molibdeno metálico, partiendo en ambos casos de óxido molibídico o de molibdato de amonio. Los molibdatos de amonio y sodio así como el molibdeno metálico son otros tres productos - finales para usos técnicos, científicos e industriales.

V.2 CARACTERISTICAS METALURGICAS DE LOS MINERALES DE MOLIBDENO

El factor determinante en la primera etapa del procesa--- miento de las menas que contienen molibdeno, esto es la separa--- ción de los minerales de molibdeno de los materiales que forman la ganga, son las características físicas y químicas de estas - menas. Sin embargo, tomando en consideración que actualmente - sólo un mineral de molibdeno, la molibdenita, tiene significa--- ción práctica y económica, y que este mineral es concentrado --

por flotación, se pondrá mucha atención para todos los componentes de la mena, debido a que la flotación con espuma para la molibdenita es muy sensible a diversos factores fisico-químicos y fenómenos de superficie, y es balanceada delicadamente por la concentración de los diferentes iones en la pulpa, lo cual determina eventualmente el potencial zeta, el cual gobierna la flotabilidad de las especies minerales.

Desde los primeros días de sus usos industriales la molibdenita se conocía como un mineral que flotaba muy fácilmente. Esta fué la razón particular por la que Elmore probó su primera celda de flotación con vacío, precisamente utilizando un mineral con molibdenita. Como se sabe, la flotabilidad de un mineral está relacionada estrechamente con sus propiedades repelentes al agua; es decir, es función de su hidrofobicidad. Estas propiedades se manifiestan especialmente en la molibdenita, debido a su estructura específica, la cuál provoca ángulos de contacto grandes del orden de 80° . Considerando que esto se reflejará en las propiedades hidrofóbicas y provocará una alta flotabilidad de estos minerales.

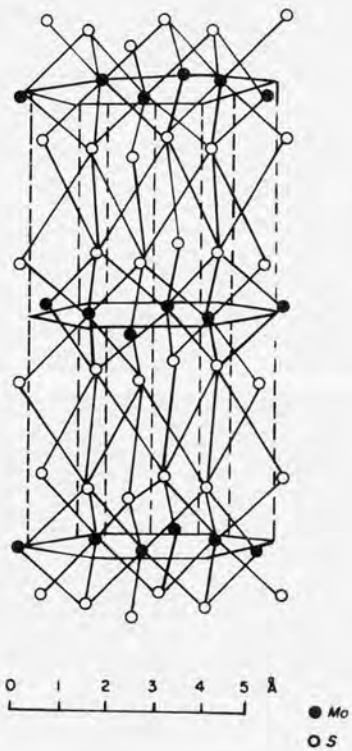
V.3 ESTRUCTURA DE LA MOLIBDENITA

Como se ha explicado anteriormente, la molibdenita tiene una estructura laminar muy característica, basada en el hecho estructural de que está compuesta de cristales, donde cada átomo de molibdeno está rodeado por seis átomos de azufre (como se muestra en la figura V.1), en los ápices de prismas triangulares. Estos prismas comparten aristas verticales una con la otra para formar láminas S - Mo - S, normales al eje C, lo cuál es la razón para la formación de láminas paralelas, o capas, como se indica en la figura V.1 .

De hecho, los cristales de molibdenita están contruídos por la repetición de estas capas una sobre otra, de acuerdo a los requerimientos del empacamiento hexagonal compacto.

Dentro de cada capa (S - Mo - S), el enlace entre los átomos de Mo y S es covalente, no obstante que Pauling piensa que estos enlaces son en un 20% iónicos y atribuye el lustre metálico de la molibdenita además a que existe algo de unión metálica.

FIGURA V.I. CRISTAL DE MOLIBDENITA



De cualquier forma, dentro de las capas individuales sólo se involucran enlaces fuertes.

Por otra parte, las caras de estas capas están unidas sólo por enlaces débiles de Van der Waals entre dos átomos de azufre adyacentes, sin valencias residuales. Esta estructura particular impone, por consiguiente, hábitos muy específicos de los cristales de molibdenita en su clivaje y explica la diferencia en las propiedades de superficie que presentan las caras -- respecto a las aristas en las especies de molibdenita.

Cuando la molibdenita es sometida a las operaciones de -- trituración y molienda, expone dos tipos de superficie: (1) la superficie de las caras, la cual es químicamente inactiva e hidrofóbica, debido a que en este caso sólo se separaron dos capas adyacentes de átomos de azufre y únicamente se rompieron -- fuerzas débiles del tipo de Van der Waals y (2) las superficies de los bordes, que son químicamente activas y fuertemente hidrofílicas debido a que éstas exponen sitios donde se rompieron enlaces covalentes fuertes. Obviamente, estos bordes tienden a -- neutralizar sus cargas eléctricas activas utilizando al medio-circundante; es decir, la pulpa en la cual éstas secciones se -- encuentran mezcladas con agua y otros minerales y iones.

La diferencia entre las propiedades superficiales de las superficies planas y los bordes se ha demostrado en forma convincente por determinaciones de los ángulos de contacto de una gota de agua sobre las superficies planas y sobre los bordes: -- mientras que en el primer caso el ángulo de contacto fué de --- aproximadamente 80° , en el segundo caso fué cercano a 30° .

Puesto que la superficie del área planar excede considerablemente a la superficie del área de los bordes, la molibdenita exhibe predominante características repelentes al agua y es conocida como un mineral hidrofóbico. Sin embargo, es conveniente recordar las propiedades de los bordes, que pueden explicar otros fenómenos y las cuales fueron pasadas por alto durante muchos años.

V.4 FLOTABILIDAD NATURAL DE LA MOLIBDENITA

La flotabilidad natural de la molibdenita ha sido objeto-

de numerosos estudios y teorías de flotación. Existe una ligera duda de que la flotabilidad de un mineral es promovida por su hidrofobicidad, la cuál es más pronunciada en minerales sulfurosos. Cuantitativamente esta propiedad puede ser medida por el ángulo de contacto con una gota de agua, este ángulo es alto cuando la hidrofobicidad es alta y bajo cuando la superficie muestra poca repelencia al agua. También, pueden detectarse las buenas propiedades de flotación por determinaciones del potencial zeta, él cual toma un valor bajo cuando la flotabilidad del mineral es alta. De hecho, los mejores resultados para flotación se obtienen cuando el potencial zeta es 0, esto es, cuando se obtiene un cambio de zeta de negativo a positivo o viceversa. Este punto específico en el cual ocurre el cambio en el potencial zeta es denominado punto PZR.

Recientemente, Chander y Fuerstenau estudiaron la flotabilidad natural de la molibdenita y la relacionaron a diferentes fenómenos naturales y a ciertas propiedades fisicoquímicas medibles. Se confirmó definitivamente que la presencia de óxidos y fenómenos de oxidación sobre las superficies de molibdenita y sulfuros en general reduce la flotabilidad de estos minerales. A continuación se estableció una relación muy importante entre la flotabilidad de la molibdenita y el potencial zeta. Se probó, como se muestra en el diagrama V.2 que la mejor recuperación de molibdenita se obtiene donde el potencial zeta muestra su menor valor. Se obtuvieron recuperaciones del orden del 90% en un tubo Hallimond, a potenciales, de - 41 mV, lo cual corresponde a un rango de pH entre 5.5 y 6.5. Se demostró entonces que existe una relación definida entre el valor del potencial zeta y la recuperación relativa por flotación de molibdenita. (ver figura V.3). Por consiguiente los cambios en el potencial zeta de la molibdenita sumergida en agua fueron cuidadosamente estudiados e interpretados como consecuencia de los procesos de oxidación naturales que ocurren sobre las superficies de molibdenita. Específicamente, se estableció que la flotabilidad de la molibdenita, en ausencia de colector, se ve fuertemente afectada por los productos de la oxidación superficial debido a fenómenos eléctricos y de hidratación. Los productos de oxidación que se forman sobre las superficies de molibdenita, sumergida en agua, son MoO_3 y iones molibdato. La presencia de MoO_3 en las superficies de molibdenita, en solucio

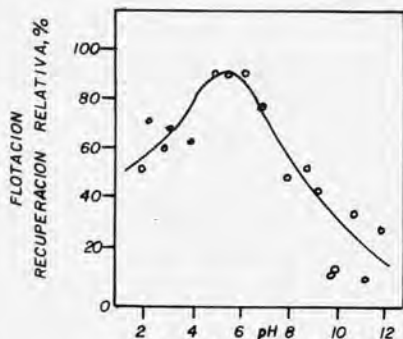
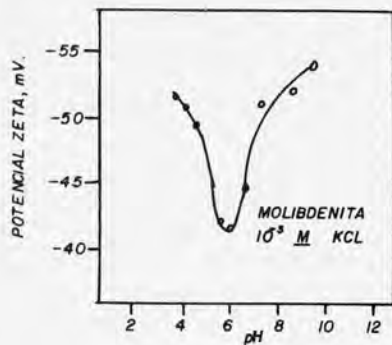


FIG. V.2. FLOTABILIDAD DE MOLIBDENITA DEPENDIENDO DEL POTENCIAL ZETA.

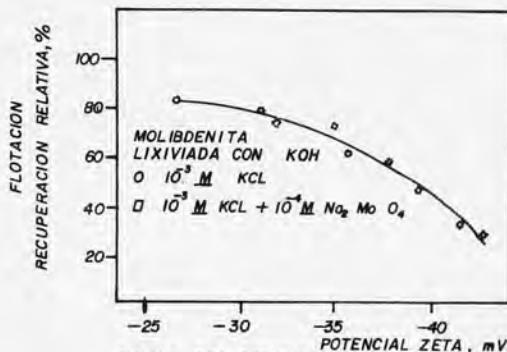


FIG. V.3. RECUPERACION POR FLOTACION DE MOLIBDENITA EN FUNCION DEL POTENCIAL ZETA.

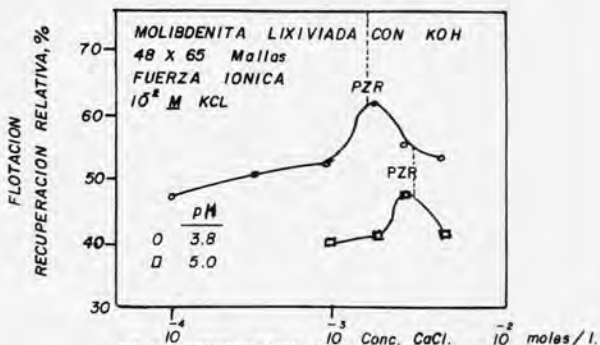


FIG. V.4. RECUPERACION POR FLOTACION DE MOLIBDENITA EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE Ca^{++}

FLOTABILIDAD NATURAL DE LA MOLIBDENITA DE ACUERDO A CHANDER Y FUERSTENAU

nes ácidas, genera un potencial zeta sumamente negativo y reduce drásticamente la flotabilidad de la molibdenita. Sin embargo, este fenómeno disminuye cuando se incrementa el pH, probablemente debido al hecho de que la solubilidad del MoO_3 aumenta con el pH, este producto empieza a disolverse a pH 6. Por otra parte, en medio alcalino, ocurre un fenómeno similar, es decir, un aumento del valor negativo del potencial zeta, debido probablemente a la absorción de los iones MoO_4^{2-} disueltos, y posiblemente de algunos iones OH^- .

Estos estudios han demostrado también el importante papel que pueden jugar los iones calcio en la flotación de molibdenita. De hecho, estos iones son muy activos superficialmente y son capaces de invertir el potencial zeta de la molibdenita. Bajo condiciones donde el potencial zeta fué aproximadamente cero, se probó que la recuperación de molibdenita era máxima, como se muestra en la figura V.4 .

Actualmente está claramente establecido que la molibdenita tiene propiedades de flotación más pronunciadas que otros minerales sulfurosos y que éstas propiedades se deben principalmente al hecho de que la molibdenita es menos susceptible a la oxidación que otros sulfuros. Rebinder cuantificó estas propiedades a través de determinaciones de ángulos de contacto de gotas de agua sobre superficies pulidas de diferentes sulfuros en medio benceno y encontró los siguientes valores:

Molibdenita	145°
Pirita	135°
Calcopirita	131°
Galena	90°

Esto explica muy claramente porque la molibdenita, a diferencia de otros sulfuros, no necesita reactivos de flotación comunes tales como xantatos y ditiofosfatos para su flotación. Sin embargo, la molibdenita será flotada con hidrocarburos, los cuales no son colectores para la mayoría de los sulfuros. La molibdenita adsorberá xantatos sobre sus superficies, como lo han probado Mitrofanov y Kurochkina, aunque el mecanismo de adsorción no es el mismo aparentemente, debido a que la molibdenita difiere de los otros sulfuros. Una de las diferencias es, -

por supuesto, que mientras los sulfuros de los metales pesados-tales como cobre, plomo, zinc y hierro, al oxidarse producen cationes, los cuales después de la hidrólisis forman óxidos e hidróxidos insolubles, la molibdenita al oxidarse produce aniones, lo cual no dá ningún producto sólido, como lo han expresado Chan-der y Fuerstenau.

V.5 COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL MINERAL

Partiendo de las observaciones anteriores es claro entender la sensibilidad del proceso de flotación a los fenómenos tales como la oxidación y, de hecho, a la presencia de cualquier-ion o componente mineral en la pulpa. Por consiguiente este tema requiere de un análisis y algunas consideraciones más profun-das.

En primer lugar, la molibdenita no es exactamente la misma en apariencia y características metalúrgicas en todo el mundo. No obstante que tiene origen hipogénico, la molibdenita en los depósitos típicos de vetas de reemplazo difiere de la molib-denita encontrada en los pórfidos de cobre en el sentido de que esta es de grado considerablemente menor, distribución irregu-lar y aparece en una variedad de formas tales como en forma ma-siva, masas incrustadas o finamente granuladas. Puede aparecer también como pequeños cristales tabulares, generalmente brillan-tes, aunque ocurre frecuentemente en forma de pedazos gruesos y cortos finamente granulados de color gris azulado opaco, los --cuales se manifiestan casi amorfos. Por consiguiente no es raro que la flotabilidad de éstas especies pueda variar considera-blemente, dependiendo de la forma física de la molibdenita.

Aparte de la molibdenita cristalina, se ha encontrado en la naturaleza, una modificación romboédrica rara de molibdenita, denominada "Molibdenita 3R". Se ha considerado que este tipo -de molibdenita contiene un porcentaje alto de renio* a un alto-grado de isomorfismo de Re^{4+} . Algunos científicos de Armenia -han descubierto una modificación ortorrómbica de molibdenita, -la cual denominaron, en contraste a la especie hexagonal, molib-denita beta. Estos científicos consideran además que la molib-denita beta contiene más renio que la molibdenita alfa, es de-cir, que la variedad hexagonal, molibdenita alfa. Estos cientí-

* debido

ficos consideran además que la molibdenita beta contiene más renio que la molibdenita alfa, es decir, que la variedad hexagonal clásica.

Pueden causarse otra serie de problemas por la oxidación de la molibdenita. No obstante que la molibdenita es más resistente a la oxidación que cuando se compara con los sulfuros de cobre y de otros metales asociados, los cambios secundarios y terciarios naturales en los cuerpos minerales pueden ser suficientes para producir variaciones tales como revestimientos-hidrofílicos los cuales reducen drásticamente la flotabilidad del mineral. Se ha observado que la oxidación de la molibdenita aumenta no sólo con la temperatura sino que también con el pH. El efecto de oxidación máximo se observa a pH 10. Los productos de oxidación, óxidos de molibdeno y molibdatos forman revestimientos protectores, los cuales disminuyen la flotabilidad de la molibdenita.

Gottschalk ha observado que la presencia de pirita, asociada con el molibdeno en el mismo mineral, en lugar de promover la oxidación tiene probablemente un efecto protector, puesto que se localiza arriba en la serie electromotriz de los minerales. Con respecto a todos los demás sulfuros de cobre, plomo y hierro, todos estos son más fáciles de oxidar que la molibdenita.

Con respecto a los minerales de ganga, todos los depósitos porfídicos muestran una fuerte alteración hidrotermal en los minerales de las rocas de formación originales. Entre los minerales más comunes presentes en tales cuerpos minerales, en orden alfabético, están: alunita, biotita, calcita, clorita, minerales arcillosos, epidota, pirofilita, rutilo, sericita y turmalina. El más importante de estos productos de alteración es la sericita, la cuál se forma a expensas de los feldspatos pre-existentes. La sericita está caracterizada generalmente por una mineralización intensa de pirita, aún cuando son muy comunes los casos de impregnación granulada muy fina de molibdato en pórfidos de cobre altamente sericitados.

V.6 TRITURACION Y MOLIENDA DE MINERALES DE MOLIBDENO

La trituración y molienda de los minerales de molibdeno-

no difiere de la trituración y molienda de cualquier otra mena - de minerales ferrosos o no ferrosos. La práctica estándar actual involucra una trituración en dos o tres etapas y una o dos etapas de molienda. Dependiendo del tamaño de la alimentación, la trituración se efectúa generalmente utilizando trituradoras-giratorias gigantes en la primera etapa, y quebradoras de conos estándar y cabeza corta en la segunda y tercera etapas. La molienda implica por lo general molinos de barras para la etapa - primaria y molinos de bolas para la secundaria, aún cuando existen operaciones que utilizan molinos de bolas grandes de 15x18' para realizar la molienda en una etapa. Tales molinos de bolas requieren motores eléctricos de 3000 a 4000 HP. Por ejemplo, en Pima, se está probando una molienda semi-autógena, la cual debe combinar una parte de la trituración con la molienda, utilizando molinos Allis-Chalmers gigantes de 54' x 74' y con 18 000 - toneladas por día. Los molinos requieren de motores con 6000 - HP y utilizan cribas tyler DD, antes de una clasificación fina- que se efectúa en hidrociclones, los cuales forman actualmente el equipo estándar en todos los circuitos de molienda.

En Climax, la más representativa de las operaciones de molibdeno, se utilizan trituradoras Norberg giratorias de 60" y - Taylor giratorias de 54" x 84" con ajuste a 7" para la trituración primaria; mientras que las trituraciones secundaria y terciaria se efectúan respectivamente en quebradoras Symons estándar de 7' y de cabeza corta para obtener productos a 1 1/2" y - 1/4" respectivamente. La molienda se realiza en una sola etapa en molinos de bolas de 13 x 12 pies Allis-Chalmers con derrame, movidos por motores de 1000 HP a 14.5 rpm. Los clasificadores- en espiral que existían se reemplazaron por ciclones que ofrecen un rendimiento mejor, menor inversión y costo de mantenimiento, y ocupan sólo la quinta parte del espacio utilizado por los espirales.

Por otra parte, en Henderson, que es el proyecto más reciente de molibdeno, se explotará utilizando el método de hundimiento en bloque, al igual que Climax, consta de quebradoras giratorias de 54" para la trituración primaria, y se instalaron tres molinos semiautógenos de 28 x 14 pies, para efectuar la trituración secundaria y terciaria y la molienda se efectúa en molinos de bolas. Para la clasificación se utilizan 3 bancos con seis ciclones de 26" .

En la planta de Questa, que tiene poco más de 10 años en operación, Endako y las propiedades en Urad, se utiliza un proceso más convencional, que depende del nivel tecnológico de aquella época y de las circunstancias locales. En Questa, operada con minado a cielo abierto, se instaló una quebradora giratoria primaria en el fondo del tajo abierto y las trituraciones secundarias y terciarias se utilizan en trituradoras estándar de conos y cabeza corta respectivamente. Sólo se utiliza una etapa de molienda en molinos de bolas.

La planta Endako, en Canadá, utiliza una trituradora giratoria primaria Superior de 42 x 65", y trituradoras estándar y de cabeza corta Allis Chalmers de 7' respectivamente para trituración secundaria y terciaria. La molienda se realiza en dos etapas, utilizando tres molinos de barras como primarios de 12.5 x 15 pies Allis Chalmers y tres molinos de bolas similares también Allis Chalmers. La clasificación se efectúa en nueve ciclones tipo 20 DW.

Finalmente, en Urad, que fué diseñada para un tiempo corto de operación, antes de desarrollar la propiedad en Henderson, se proyectó que toda la trituración se efectuara subterráneamente: la primaria en trituradoras estándar de conos de 48 x 60 -- pulgadas y la secundaria en quebradoras de cabeza corta. La molienda se realiza en una etapa utilizando molinos de bolas de 13 x 12 pies en combinación con clasificadores de espiral duplex.

La tendencia normal en la actualidad es establecer una trituración giratoria primaria con molienda semi-autógena utilizando clasificación en ciclones. Esto mismo se utiliza en yacimientos de tipo pórfido de cobre, como se hace en Pima.

El diagrama de flujo en Henderson fué planeado después de un análisis cuidadoso obtenido de las minas de Climax y Urad. Se ha estimado que con la combinación de trituración primaria--molienda autógena pueden ahorrarse aproximadamente 10 centavos de dólar por tonelada en los costos de molienda, en comparación con el proceso clásico establecido en Climax.

V.7 TECNOLOGIA DE LA FLOTACION

La tecnología de la flotación ha sido también mejorada en

forma considerable desde su inicio. Debido a la alta flotabilidad de la molibdenita - algunos investigadores estiman que una partícula que contenga tan sólo el 1% de molibdenita podrá flotar - la estrategia obvia es realizar una flotación primaria -- con el tamaño de partícula más grueso posible que asegure una recuperación razonable, y después enriquecer el producto a través de una remolienda y otra secuencia de flotación del concentrado rougher obtenido. La situación cambia, cuando se trabaja con minerales complejos del tipo cobre-molibdeno, debido a que en este caso la metalurgia del proceso se ajusta al producto -- económico principal que es el cobre.

A pesar de eso, la tecnología contemporánea de la flotación varía muy poco de un caso a otro en tanto que los principios generales esten incluidos.

Por otra parte, en Climax, la planta de molibdeno más importante del mundo, la flotación primaria se efectúa en celdas de flotación Deco No. 24 Sub "A" y Agitair No. 48. Estas celdas trabajan a cerca de 300 rpm y tienen motores de 5 HP. Sin embargo, la tendencia se enfoca definitivamente hacia el uso de celdas más grandes y más eficientes de 300 pies cúbicos con mayor capacidad. La razón de esto es muy simple: se tendrá menor consumo de energía y costo más bajo de mantenimiento. También, en el caso de una planta nueva, se reduce el espacio ocupado en forma notable. Tales celdas se estan utilizando cada vez más - en las operaciones de cobres porfídicos.

En el diseño de Henderson, se preve el uso de 6 bancos -- con 15 celdas de flotación rougher de 300 pies cúbicos para el circuito rougher, en comparación con las 987 celdas de flotación utilizadas actualmente en Climax para el mismo volumen de pulpa aproximadamente.

Por otra parte, en la planta de Endako que se construyó - originalmente con celdas rougher tipo Agitair No. 48, al realizar la ampliación de 15 000 a 25 000 toneladas por día, se optó por introducir en 1967 las nuevas celdas Denver DR de 200 pies-cúbicos.

La flotación rougher concentra las cabezas originales de-

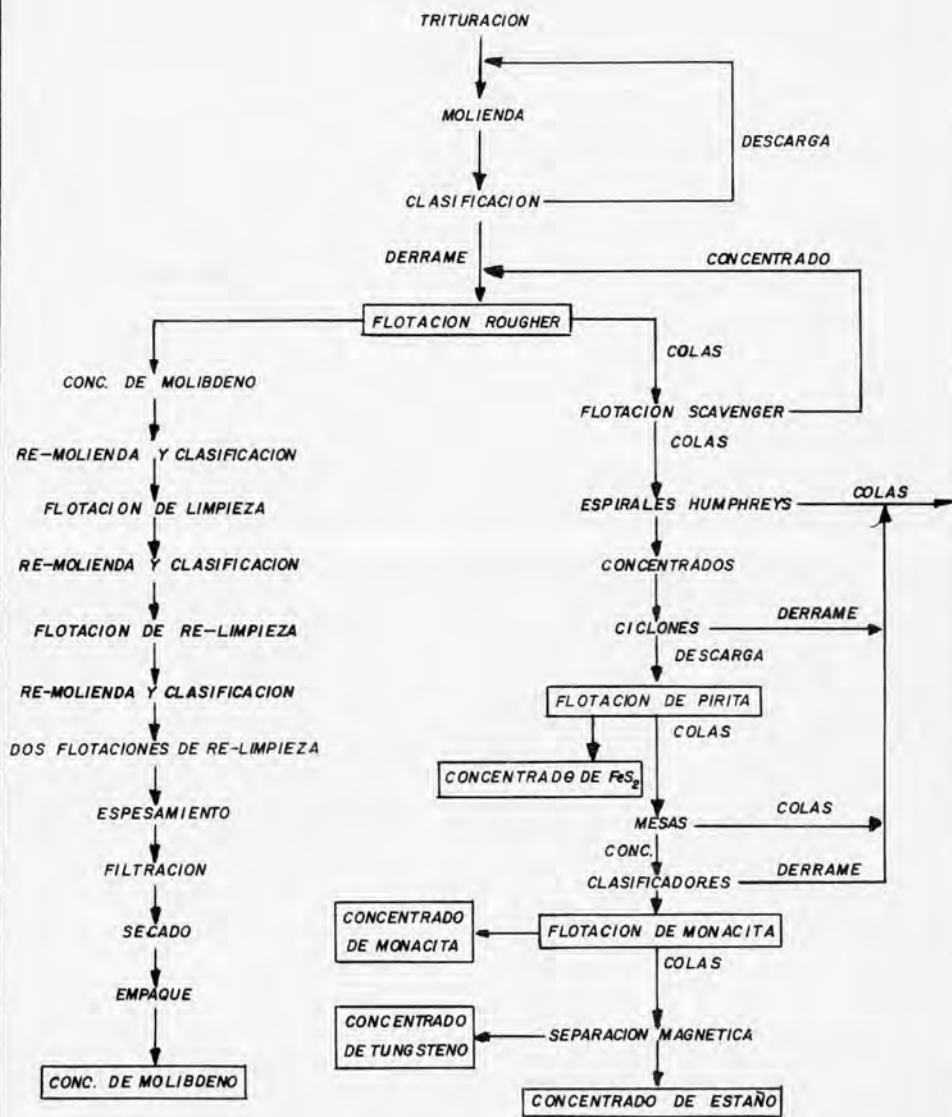
0.2 - 0.3% de molibdeno hasta aproximadamente 6% Mo (10% MoS_2), el producto obtenido se alimenta a los circuitos de limpieza y re-limpieza. La flotación rougher se realiza con partículas de tamaño de malla + 100 (40%) utilizando hidrocarburos, como co-lectores, aceite de pino como espumante, y algunos reactivos emulsificantes, que ayuden a dispersar a los hidrocarburos. Las recuperaciones primarias estan por lo general en el rango superior al 90%. En Henderson, la flotación primaria se efectúa -- con un tamaño de partícula mayor que el utilizado en Climax y -- esto proporciona un concentrado primario con aproximadamente 8% de MoS_2 .

En otras dos plantas importantes de recuperación de molibdeno, Endako y Urad, se utilizan procesos similares. El mineral es molido generalmente 40% a malla + 100, lo cual da un producto con 40% a malla -200; que es acondicionado con cal para dar un pH de 8.5 y después se flota con hidrocarburos 0.5 - 0.8 lbs/Ton. agregando ambos reactivos en los molinos y en la etapa de alimentación a las celdas de flotación si es necesario. El espumante universal es el aceite de pino, que se agrega generalmente en cantidades muy pequeñas del orden de 0.03 a 0.04 lbs/Ton, al igual que el emulsificante Sintex L, que debe agregarse en los molinos de bolas, junto con los hidrocarburos para dispersarlos, en cantidades de 0.02 a 0.05 lbs/Ton. La cal se agrega en forma de suspensión al 10%. Tanto en Endako como en Urad, los concentrados primarios contienen aproximadamente 8% de MoS_2 .

Los concentrados de la flotación rougher van a un procesamiento posterior en circuitos de limpieza, mientras que las colas son tratadas para la recuperación de algún subproducto.

Normalmente, el concentrado rougher debe ser clasificado, espesado y remolido de tres a cuatro veces para después ser flotado nuevamente 4 ó 5 veces a fin de obtener un concentrado final con 90% de MoS_2 . La recuperación total es también de 90% del MoS_2 contenido en mineral. Generalmente, los concentrados de molibdeno son tratados nuevamente con los reactivos de flotación residuales, de lo contrario estos reactivos se agregan --- cuando son necesarios, para realizar el reprocesamiento en los circuitos. Se agregan además cantidades pequeñas de dispersan-

DIAGRAMA DE FLUJO ESQUEMATICO DE LA OPERACION EN CLIMAX.



tes, tales como silicato de sodio y depresores tales como poli sulfuros y cianuros para deprimir al cobre, pirita y otros sul furos diferentes a la molibdenita.

V.8 RECUPERACION DE SUBPRODUCTOS

La operación en Climax ha sido pionera en este tipo de o peraciones y tiene un diagrama de flujo amplio para la recupe ración de subproductos, él cual ayuda muy adecuadamente a su-- fragar los costos de crecimiento y diversificar la producción de la compañía. Esto sirve como ejemplo de cómo una compañía puede incrementar sus utilidades totales con un poco de imagina ción.

Las colas de la flotación rougher son bombeadas normal-- mente a un distribuidor que alimenta 784 espirales Humphrey - de 5 vueltas, los cuales separan las fracciones de mineral pe-- sado de los minerales de ganga. Después se bombea el concen-- trado a los ciclones, el derrame contiene los finos que se des cargan en las colas, y los gruesos se procesan para la recupe ración de pirita por flotación. Las colas del circuito de flo tación pasan a una concentración en mesas para recuperar las - fracciones de mineral pesado, los concentrados van a los clasi ficadores y las colas a la presa de jales. Las arenas que se obtienen de esta clasificación se pasan a flotación de monaci-- ta, mientras que las colas son re-clasificadas de nuevo y los gruesos se envían a un secador y a separación magnética, por medio de lo cual se separa la fracción magnética (concentrado de tungsteno) de la fracción no magnética (concentrado de esta ño).

De esta forma Climax recupera, como subproductos, par--- tiendo de sus 15 millones de toneladas procesadas por año, cer ca de 2.5 millones de libras de trióxido de tungsteno, 200 000 lbs/año de estaño y 35 000 toneladas métricas de concentrado - de pirita conteniendo 51% de azufre. Esto ha ayudado induda-- blemente a pagar los salarios de los trabajadores que han au-- mentado desde \$ 5.41 dólares por día en 1930, a \$ 15 en 1950; \$ 25 en 1960; \$ 39 en 1970 y \$ 57.50 por día actualmente.

V.9 RECUPERACION DE MOLIBDENO A PARTIR DE COBRES PORFIDICOS

Esta fuente de recuperación de molibdeno proporciona actualmente por lo menos la mitad de la producción mundial de molibdeno. No obstante que con la inauguración del proyecto en Henderson, en la segunda mitad de 1976, se logrará nuevamente una mayoría de 58% para molibdeno producido a partir de minerales primarios, a pesar de eso la participación de los pórfidos de cobre en la recuperación de molibdeno como subproducto será de 90% del total y aproximadamente corresponderá al 38% del molibdeno total producido en el mundo.

Como se ha mencionado, el proceso metalúrgico diseñado para los pórfidos de cobre está orientado principalmente hacia el producto principal que es el cobre. Hasta hace poco, prácticamente no se hacía nada para ayudar a la flotación de molibdeno primaria en los circuitos rougher, y esta era baja generalmente debido a ciertas razones, tales como la oxidación parcial, problemas de liberación, efecto de arrastre, etc. Sin embargo, gradualmente, se está tomando más cuidado con respecto a este problema, debido a la importancia económica que tiene la recuperación de molibdeno como subproducto, especialmente en aquellas operaciones donde el contenido de cobre en las cabezas es bajo, tal como ocurre en Brenda Mines, Canadá o Sierra en Arizona. Ahí, la recuperación de molibdeno puede ser tan importante como la producción de cobre, debido a que las cabezas de cobre son muy bajas del orden de 0.18 a 0.30% Cu, el contenido de molibdeno es de 0.03 a 0.04% y está cerca de igualar el valor de la producción de cobre, o es al menos una parte importante de esta.

Los minerales de cobre se flotan generalmente con reactivos clásicos entre los que se pueden considerar los xantatos, ditiófosfatos o ditiocarbonatos como colectores principales, y aceite de pino, Dowfroth 250 y otros como reactivos espumantes. A valores moderados de pH entre 8 y 9, estos reactivos son suficientes para recuperar en forma razonable valores de molibdeno como tales. Sin embargo, la experiencia indica que agregando cantidades pequeñas de diesel, combustóleo, querosén y otros hidrocarburos que pueden ser útiles para obtener recuperaciones adicionales de molibdeno, especialmente en las operaciones recuperadoras de desechos (scavenger). Un ejemplo de esto es el caso de Andina, donde recientemente se adicionó una

cantidad pequeña de hidrocarburos al circuito de cobre, lo cual duplicó la recuperación original de molibdeno de 30 a 60%.

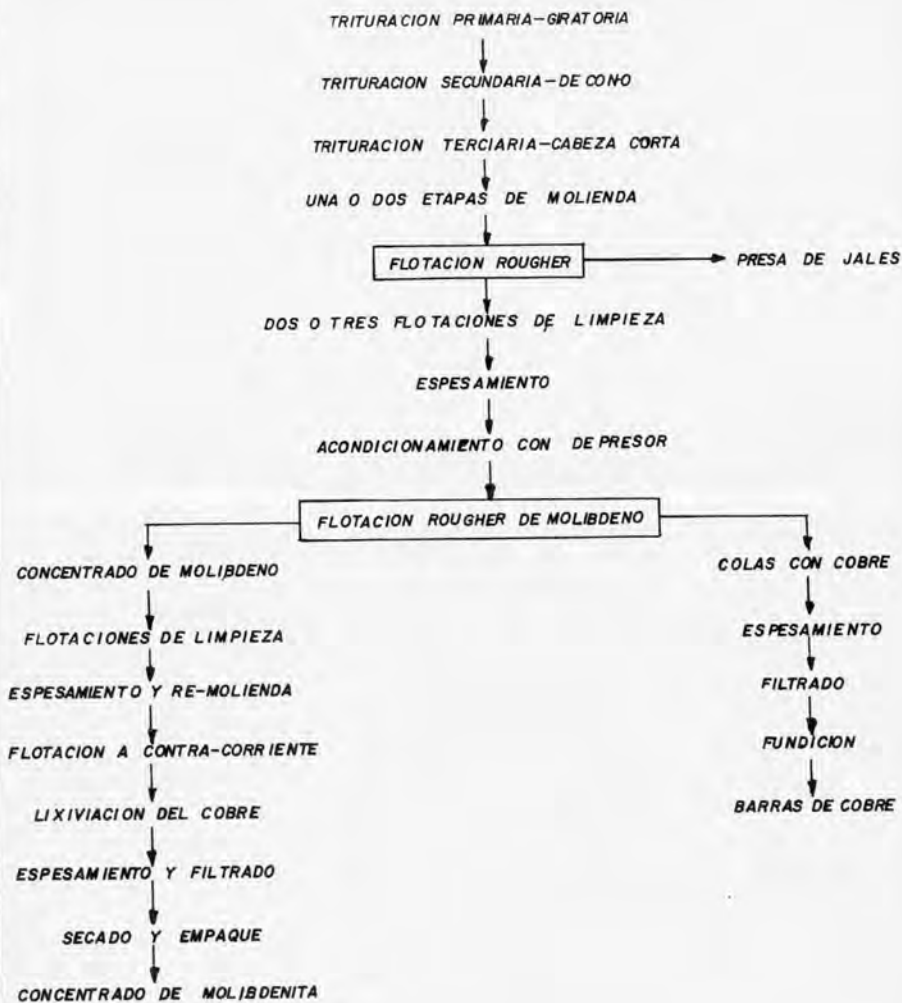
Lógicamente, se deben hacer consideraciones cuidadosas -- acerca del lugar y la forma en que se deben agregar los reactivos, asimismo es necesario determinar la combinación adecuada para producir el menor efecto nocivo sobre las condiciones espumantes.

Con respecto a la estrategia general de la recuperación de molibdeno a partir de cobres porfídicos, los métodos anti-cual han experimentado cambios notables. La flotación diferencial de cobre y molibdeno, tal como se ha practicado en Canadá, en épocas pasadas, fué abandonada inmediatamente simplemente -- debido a que no se encontró otro mineral con suficiente molibdeno para justificar un segundo paso de flotación separado. -- Por la misma razón se abandonó la idea de deprimir el molibdeno con almidón o dextrina mientras se flotan los minerales de cobre. Las colas de tal circuito podrían tener demasiada ganga, cobre y otros minerales para justificar la recuperación selectiva del molibdeno.

Esto ha producido, como única alternativa práctica, la -- flotación colectiva de cobre y molibdeno en la primera etapa -- rougher, con un enriquecimiento posterior por medio de circuitos de limpieza y re-limpieza y después se recupera la molibdenita en tanto que se mantienen deprimidos los valores de cobre. Esta estrategia está basada en razones metalúrgicas bien fundadas:

En primer lugar, para deprimir un mineral, debe estar implicada alguna especie de oxidación en su superficie, o los reactivos de flotación residuales deben estar completamente -- destruídos. Como se ha demostrado en la práctica, los sulfuros de cobre son más fáciles de oxidar que la molibdenita. Además, la destrucción de los reactivos para flotar cobre es una alternativa más viable que la destrucción de los reactivos para flotación de molibdeno, debido a que la molibdenita flota casi sola. Finalmente, mientras que el molibdeno flota en presencia de xantatos, ditiofosfatos, carbamatos y otros reactivos; los minerales de cobre no flotan con hidrocarburos o con espumantes sencillos con los cuales la molibdenita si lo hace,

DIAGRAMA DE FLUJO ESQUEMATICO PARA LA RECUPERACION DE MOLIBDENO A PARTIR DE COBRES PORFIDICOS.



Así que, destruyendo el colector residual por medios térmicos o químicos, se crean las condiciones para la flotación selectiva del molibdeno.

Esto, de hecho, fué la estrategia predominante para la recuperación de molibdeno a partir de concentrados de cobre en la mayoría de los procesos metalúrgicos creados después del proceso de la Anaconda en Cananea. Los reactivos de flotación residuales se destruían normalmente por métodos térmicos (tratamiento a base de vapor o tostación), o por medios químicos (reactivos oxidantes). La ventaja del primer tipo de tratamientos se observaba en el hecho de que, a diferencia de los reactivos oxidantes, algunas veces se alcanzaba la oxidación de las superficies del sulfuro de cobre, mientras que el molibdeno permanecía esencialmente sin afectarse, lo cual permitía una depresión permanente de los minerales de cobre.

A este respecto, se examinan a continuación algunos procesos:

V.9.1 PROCESO UTAH

Es el proceso más antiguo de todos los que recuperan molibdeno como subproducto actualmente, fué establecido en 1936 por la Kennecott Copper Corporation como una contraparte del proceso de la Anaconda establecido en Cananea y tiene trabajado 40 años, este proceso es responsable de la producción global de molibdeno como subproducto por parte de Kennecott, lo cual dió a esta compañía el primer lugar en este campo hasta hace poco, cuando Duval tomó la delantera.

El proceso Utah es además el único que utiliza aun el tratamiento térmico de los concentrados para recuperar molibdenita y que aplica dextrina para la depresión de molibdeno. Este proceso no ha cambiado en nada probablemente no porque no existan y procesos más eficientes para la recuperación de molibdenita, sino debido a las complicaciones en los contratos de mano de obra que requerirían tales cambios.

En su estado actual, el proceso Utah, que produce cerca de 6 000 toneladas métricas por año de molibdeno, consiste en-

lo siguiente: El concentrado rougher de cobre ensaya aproximadamente 28% de Cu y 1% de Mo está sujeto a un espesamiento hasta 45% de sólidos, para eliminar el exceso de reactivos y después es tratado con dextrina para deprimir a la molibdenita y con metil isobutil carbinol (MIBC) y etil xantato de sodio para la flotación de cobre. En el siguiente paso de la flotación, se recupera el concentrado de cobre que ensaya 30% Cu y 0.12% Mo, y se descargan las colas conteniendo el grueso de molibdenita. Estas se combinan con el concentrado scavenger, obtenido en las últimas celdas del circuito de flotación rougher, adicionando algunos hidrocarburos y aceite de pino que sirven para mejorar la recuperación de molibdenita. Los dos productos combinados son espesados y filtrados, después son tostados a 300°C por 15 minutos, para oxidar la pirita y los minerales de cobre.

Después de la tostación, el aglomerado es sometido a una molienda ligera en un molino de bolas para partir las aglomeraciones, enseguida es repulpado y acondicionado con cal hasta obtener un pH de 8.5. Puesto que este producto contiene un poco de minerales de ganga, es acondicionado inicialmente con alcohol Dupon-22, por medio del cual se flota la mayor parte de sericita y clorita contenidas en dicho producto. Después de eliminar la ganga, se ajusta el pH a 11 y se flota la molibdenita utilizando MIBC con pulpa al 35% de sólidos. A continuación se pasa el producto obtenido a un ciclo de limpieza y re-limpieza, hasta que se obtiene finalmente un concentrado con 90% de MoS_2 conteniendo sólo 1% de Cu. Este concentrado se filtra, seca y, si es necesario, se lixivia con cianuro de sodio para remover el exceso de cobre.

Este proceso fué probado originalmente - aunque sin gran éxito - en El Teniente, conocido entonces como Braden Copper Company. Además, fue utilizado en Silver Bell, hasta que se discontinuó la recuperación de molibdeno en esta propiedad.

V.9.2 PROCESO KENNECOTT NOKES

En 1957, se patentó un "Proceso para recuperación de molibdenita a partir de concentrados de flotación de sulfuro de cobre-molibdenita" por C.M. Nokes en los Estados Unidos, bajo-

el No. 2,811,255 , este proceso ha sido una de las contribuciones más importantes para esta disciplina. El proceso era muy simple en el sentido de que requería un tratamiento de los concentrados de cobre limpios con un producto de la reacción de pentasulfuro de fósforo e hidróxido de sodio combinados en cantidades estequiométricas. Después de una agitación corta con el reactivo, se deprimían permanentemente los sulfuros de cobre y hierro, mientras que la molibdenita permanecía inalterada y flotaba utilizando hidrocarburos y espumantes alcohólicos. Después de esto, se probó que este reactivo - denominado LR-744 es un depresor apropiado no sólo para todo tipo de sulfuros de cobre y para piritas, sino que también sirve para deprimir galena y algunos otros sulfuros.

El autor de la patente era ingeniero de investigación en la Kennecott Copper Corporation, trabajó en Salt Lake City, y de hecho, descubrió el reactivo durante la Segunda Guerra Mundial, en un intento para simplificar el tratamiento térmico -- fastidioso de los concentrados de cobre para la recuperación -- utilizado en Bingham. Este trabajo se efectuó en 1943 y 1944, y las primeras patentes fueron expedidas en Chile (No. 10,264) en 1946 y en los Estados Unidos en 1949 (No. 2,492,936).

Este descubrimiento produjo sólo una ligera impresión en los primeros años en los Estados Unidos, pero fue adaptado inmediatamente en la subsidiaria chilena de la Kennecott, la --- Braden Copper Company, donde se comprendieron inmediatamente -- las ventajas del tratamiento químico de los concentrados sobre el tratamiento térmico de los mismos. Más tarde, se extendió la popularidad del reactivo y fue utilizado primero en otras -- subsidiarias de la Kennecott en los Estados Unidos y después -- en otras operaciones de pódidos de cobre. Se ha estimado que actualmente este reactivo es utilizado como el principal depresor de cobre en 12 de las 26 propiedades de recuperación de -- subproducto y que es en gran medida el reactivo más importante en la tecnología del subproducto.

La patente establece que los polisulfuros, basados en -- los compuestos de fósforo, arsénico o antimonio, como portadores de azufre, y los hidróxidos de sodio, calcio, amonio, potasio y otros, pueden formarse por reacciones exotérmicas cuando

se mezclan los sulfuros con los hidróxidos en medio acuoso. Las características esenciales del reactivo, que estableció el inventor, son (1) presencia de azufre divalente, (2) presencia de oxígeno; y (3) participación de fósforo, o de arsénico u antimonio en los compuestos.

A. Sutulov considera que además la acción de estos reactivos se basa en su propiedades detergentes, en el sentido de -- que éstas provocan la desorción de los reactivos de flotación en los sulfuros, específicamente de los colectores de tipo -- aniónico. Esto no sería muy importante, de no ser porque se ha probado experimentalmente que la reactivación y flotación de los sulfuros de cobre y hierro que han sido deprimidos es muy difícil. Esto puede llevar a la conclusión de que sobre las superficies minerales se forma un compuesto hidrofílico estable o que la superficie ha sido dañada seriamente por oxidación.

El reactivo de laboratorio 744, basado en pentasulfuro de fósforo dió origen también, algunos años después, a el reactivo de la Anaconda ANAMOL D (ANA por Anaconda y MOL por molibdenita), él cual es un producto de reacción de cantidades estequiométricas de sulfuro de sodio y trióxido de arsénico.

Los mayores consumidores de LR-744 son El Teniente, Ray-Sierrita y Chino, mientras que el ANOMOL D es utilizado ampliamente por Chuquicamata, El Salvador y Lornex.

El reactivo es de tipo instantáneo, es decir, es consumido rápidamente por las superficies minerales y, por consiguiente, debe ser adicionado por etapas para tener un uso más eficiente. El pH óptimo para la reacción es de 8.5 y se debe procurar tener pulpas diluidas para el mejor espesamiento de las mismas, debido a que esto resuelve algunos problemas con la espuma. El uso de este reactivo produce algunos problemas con la espuma, la cual aumenta en elasticidad y persistencia. Si no es controlable, esta condición puede ser detenida con un re-pulpeo utilizando agua fresca y reactivos antiespumantes.

Se ha observado también que, no obstante que los reactivos de Nokes deprimían a todos los sulfuros de cobre, se obtenían mejores resultados en presencia de sulfuros que contenían

cobre y hierro. Por otra parte, el ANAMOL D es muy bueno para el beneficio secundario de minerales tales como calcocita y covelita. El uso de ambos reactivos requiere de varios pasos de tratamiento a contracorriente, intercalados frecuentemente con etapas de remolienda, espesamiento y repulpeo.

V.9.3 PROCESO MORENCI

Otro proceso de depresión química fue desarrollado por Arbiter y Young, y fue patentado en 1951 y 1952. En esta patente los autores establecieron claramente su propósito de reemplazar las prácticas costosas de tratamiento térmico por el ataque directo sobre los colectores de cobre utilizando agentes oxidantes, tales como hipocloritos, peróxidos, permanganatos y otros. Asimismo se sugirió el uso de carbón activado junto con los agentes oxidantes, como una forma de absorber el exceso de espumante.

El origen de este proceso se debe a una aplicación desafortunada del proceso Utah para los concentrados de cobre en Morenci con bajo grado (en molibdeno). Se encontró que parte de la molibdenita en el concentrado de cobre limpio no respondía a la depresión con dextrina y por consiguiente la pequeña cantidad de molibdenita en el concentrado de cobre podía justificar difícilmente en cualquier caso el costo del tratamiento térmico.

El uso de reactivos de oxidación por Arbiter y Young mostró que su consumo puede ser muy alto y que, junto con la oxidación de los minerales el equipo es también deteriorado. Esto permitió una investigación posterior, primero utilizando polisulfuro de sodio y después con cianuros.

Los polisulfuros se preparaban por calentamiento de azufre con una solución acuosa de hidróxidos de metales alcalinos. Al igual que los reactivos de Nokes, los polisulfuros y tiosulfatos son depresores excelentes para los minerales de cobre, cuando se utilizan en cantidades entre 3 y 6 lbs/Ton. Pero fue difícil controlarlos y, eventualmente la idea fue abandonada.

El esfuerzo fue concentrado en las propiedades depreso--

ras del ferrocianuro sobre la calcocita, como lo sugirió Gaudin, y esto se consiguió en el Proceso Morenci por Baker y Young. De acuerdo con los descubrimientos de Baker y Young, los sulfuros de cobre y hierro pueden ser deprimidos en forma efectiva por el ferrocianuro de sodio en una pulpa de 20% de sólidos y a un pH entre 7.5 y 8.5. Parece ser que el mecanismo de la reacción es una desorción rápida y efectiva de xantatos de las superficies calcocíticas. Sin embargo, la acción depresora disminuye con el tiempo debido a que el cianuro reacciona con los xantatos y los iones que se encuentran sobre las superficies calcocíticas, formando complejos solubles de cobre. Cuando todo el cianuro libre ha reaccionado, los iones xantato tienden a re-adsorberse nuevamente y activan a la calcocita para la flotación. Por esta razón se ha recomendado la adición de cianuro por etapas.

Golikov y Nagisniak han estudiado la depresión de calcopirita y pirita utilizando cianuros, y después flotar los minerales de cobre con diversos xantatos y dixantógenos. Estos investigadores encontraron que cuando los minerales se flotaban utilizando xantatos inferiores, la pirita se deprimía más fácilmente que la calcopirita, pero cuando la flotación se efectuaba con xantatos superiores al grupo butilxantato, sucedía lo contrario. En general, la depresión con cianuros es más difícil si los radicales de los xantatos son de cadena larga.

El proceso Morenci tiene aplicaciones amplias, especialmente donde se encuentra involucrada la mineralización de calcopirita. Este proceso es utilizado con algunas modificaciones en Toquepala, San Manuel, Mc Gill, Mineral Park y Esperanza. También, el cianuro de sodio se utiliza casi universalmente para la depresión de los valores de cobre presentes en los circuitos de limpieza de molibdenita.

V.9.4 PROCESO RUSO DE SULFIDIZACION

El uso de sulfuro de sodio para la depresión de los sulfuros de hierro y cobre en los circuitos de flotación de molibdenita, fué descubierto en la Unión Soviética y patentado por dos investigadores Armenios, Vartanian y Gomelauri, en 1936 y 1941. Más tarde el problema fue estudiado teóricamente por -

Mitrofanov, Kurochkina, Socolova y algunos otros metalurgistas, quienes publicaron un gran número de estudios al respecto. De este modo, este fenómeno se convirtió en uno de los procesos - mejor estudiados teóricamente para la depresión de cobre y hierro en los circuitos de molibdeno.

La esencia del proceso es la competencia que existe entre el sulfuro de sodio con los colectores comunes por las superficies minerales. Se observó que la adsorción de colector sobre las superficies de minerales sulfurosos en presencia de sulfuro de sodio, depende en forma crítica de la concentración de sulfuro de sodio en solución. Si esta concentración excede un cierto valor máximo, la adsorción de colectores no sólo puede cesar sino que podría reinvertirse, en otras palabras, puede presentarse la desorción. De esta manera, si se utiliza en concentraciones adecuadas, el sulfuro de sodio es un desorbente efectivo de colectores y depresor para sulfuros de cobre y hierro, así como para muchos otros sulfuros tales como la galena, esfalerita, etc.

Contrariamente a esto, la adsorción de los iones sulfuro sobre las superficies de molibdenita es casi nula. Mitrofanov y Kurochkina probaron que, mientras que bajo diferentes valores de pH la desorción de los iones sulfuro sobre la calcocita se incrementaban de 350 a 700 mgs., en el caso de la molibdenita disminuía de 1.6 a 0.5 mgs. Esta es la razón de porque la molibdenita no es afectada por la presencia de sulfuro de sodio.

Consiguientemente, gran parte de la adsorción depende del pH. Obviamente, deben considerarse diferentes mecanismos debido a que las soluciones de sulfuro de sodio con diferentes valores de pH pueden ser ricas en hidrosulfuro o sulfuro de hidrógeno y iones sulfuro. La fuerte acción depresora del sulfuro de sodio se observa sobre la galena, y en orden decreciente sobre la pirita, esfalerita y calcopirita. Los hidrocarburos colectores mejoran la protección de las partículas de molibdenita de la adsorción de sulfuro de sodio.

En la práctica, la depresión satisfactoria de los sulfuros requiere una concentración de sulfuro de sodio en solución

nes de aproximadamente 200 mgs/l. Esto puede ser controlado adecuadamente utilizando un potenciómetro. En términos generales, existen tres factores primordiales que influyen en la aplicación de este reactivo: (1) la composición del mineral. (2) el tiempo de flotación; y (3) el pH de los circuitos.

La composición del mineral es importante porque, como se sabe, la presencia de minerales oxidados incrementa el consumo de sulfuro de sodio. En algunos casos este consumo puede ser prohibitivo, ya sea por esta razón o debido a la acción catalítica de la piritita y la galena sobre la descomposición de sulfuro de sodio en azufre sexavalente y pérdida de reactivo.

Por otra parte, el tiempo de flotación es importante también porque la acción depresora del sulfuro de sodio tiende a disminuir cuando la concentración de iones en la pulpa es reducida. Esto causa un consumo excesivo de reactivo en función del tiempo.

Finalmente, el sulfuro de sodio se hidroliza en medio ácido, provocando evolución de sulfuro de hidrógeno, lo cual provoca desperdicio de reactivo. Por consiguiente, la depresión debe efectuarse en circuitos alcalinos.

Este proceso es utilizado en la Unión Soviética, en sus plantas de Balkhash, Almalyk, Kadzharan Agarak, Dastakert y Sorski. También se aplica en Medet, Bulgaria y Mission en Arizona. Una modificación de este proceso, utilizando sulfhidrato de sodio, obtuvo una gran aceptación en Pima, Twin Buttes y -- Chino en los Estados Unidos y en Brenda e Island Copper en Columbia Británica. Además, se está estudiando la posibilidad de instalarlo en la planta nueva de recuperación de subproducto en la operación de Andina, Chile. Las ventajas aparentes del sulfhidrato es que produce una espuma más manuable que el LR-744.

V.10 PROCESOS DE REFINACION

La recuperación de un producto con un mínimo de 90% de MoS_2 que contenga menos de 0.5% de Cu a partir de un concentrado, que contenía originalmente de 20 a 50% de Cu y de 0.2 a --

2.5% de Mo, no es un trabajo sencillo. Existen diversos problemas tales como efecto de arrastre, acción de los reactivos-residuales, problemas de liberación, control de la espuma y algunos otros, los cuales deben atacarse del modo más efectivo y controlable. Por consiguiente, la tecnología de la producción de molibdeno recuperado a partir de concentrados de cobre tiene principios generales característicos.

En primer lugar, los concentrados de molibdeno son obtenidos de la separación Cu-Mo, una vez que estos han sido enriquecidos hasta que se llega al contenido de cobre requerido. - En otras palabras, la cola de estos circuitos será el concentrado final de cobre, la cual no puede ser tratada nuevamente por flotación.

El segundo paso es invariablemente un espesamiento razonable de tales concentrados, antes de la recuperación de molibdeno, para eliminar el exceso de reactivos que puede interferir en los pasos siguientes del tratamiento. El espesamiento se efectúa hasta un 45 -60% de sólidos. Sólo se conoce de la existencia de dos operaciones, en Miami y El Teniente, que no utilizan tales pasos.

Para destruir a los colectores de cobre adsorbidos sobre los minerales de cobre, se utilizan comúnmente técnicas de procesamiento con vapor. Plaksa ha efectuado una investigación muy interesante en la Unión Soviética, en la cual probó que -- por medio de un tratamiento con vapor puede lograrse una disminución del depresor sulfuro de sodio en las pulpas de flotación de molibdeno. Esto se debe aparentemente a un decremento del contenido de oxígeno en el agua y a la eliminación substancial de hidrólisis del sulfuro de sodio. Además, el desprendimiento de gas ha mejorado la recuperación de molibdeno. Por esta razón, todas las plantas rusas de recuperación de molibdeno han introducido tratamiento con vapor en sus procesos. La experiencia fue aceptada también por las operaciones en Medet. Gaspe y las propiedades de Kennecott en Chino, McGill y Ray. - Inspiration y Esperanza utilizan tratamientos de vapor a presión pero por razones completamente diferentes.

La molibdenita se recupera generalmente en un circuito -

TABLA V.1.
METALURGIA DE LA RECUPERACION DE MO-
LIBDENITA COMO SUBPRODUCTO.

Planta, Localización, Compañía.	RESULTADOS METALURGICOS GENERALES					FLOTACION PRIMARIA DE COBRE										CIRCUITO DE MOLIBDENITA																			
	CAFEZAS		CONCENTRADO		RECUPERACION TOTAL	Molienda % - 200m	pH	Xtatos	Aerofl.	Minerac.	Difto Carb.	Hidro Carb.	Otros	A. de Pino	Ac. Cres.	MIBC	Dew 250	Otros	DEPRESION DE COBRE						FLOTACION DE MOLIBDENITA										
	%Cu	%Mo	%Cu	%Mo	%Cu %Mo														% Sol	Calor	Vapor	Noxes	Fe(CN) ₃	Na ₂ S	NaSH	Otros	pH	% Sol	Petroleo	Querosen	A. de Pino	MIBC	Otros	Si/Le/Na	Pasos de Flot. LIXIV. de Cu.
Bingham, Utah, Kennecott	0.7	0.03	28	0.9	90	56	60	8.5	-	X	-	S	-	-	X	X	-	-	45	X	-	-	-	-	-	11.0	35	X	-	X	-	-	X	8	X
Ray, Arizona, Kennecott	1.0	0.015	18	0.2	82	37	60	11.5	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	60	X	X	X	-	-	-	8.5	20	X	-	-	-	-	-	9	-
Chino, N. Mexico, Kennecott	0.9	0.008	20	0.2	79	40	55	11.0	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-	50	X	X	C	X	-	-	11.0	15	X	-	-	-	X	-	12	-
McGill, Nevada, Kennecott	0.8	0.016	20	0.2	78	15	52	10.8	X	-	-	X	X	X	-	X	-	-	60	-	X	-	X	-	-	9.0	30	X	-	-	C	C	-	8	-
Sierrita, Arizona, Duval	0.3	0.03	26	2.5	85	67	55	11.0	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	50	-	-	X	-	-	-	9.0	30	X	-	-	-	-	-	8	X
Mineral Park, Ariz, Duval	0.5	0.044	16	1.3	76	62	60	11.5	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	50	-	-	X	-	-	-	2.7	20	X	-	-	X	-	-	8	X
Esperanza, Ariz, Duval	0.4	0.032	22	1.3	87	74	60	11.5	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	50	-	X	-	X	-	-	7.0	20	X	-	-	X	-	-	8	X
San Manuel, Ariz, Magma	0.7	0.015	28	0.5	92	70	60	10.5	X	-	X	-	C	X	-	-	X	-	55	-	-	-	X	-	-	8.0	30	X	-	-	-	X	-	C	-
Mission, Ariz, ASARCO	0.7	0.02	25	1.0	89	67	53	11.5	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	60	X	-	X	-	X	-	8.5	30	X	-	X	-	-	X	10	-
Twin Buttes, Ariz, ANAMAX	0.6	0.03	28	1.0	76	35	58	11.0	X	-	-	C	-	-	-	-	-	X	50	-	-	-	-	X	-	10.5	35	X	-	-	-	-	-	8	-
Pima, Arizona, Cyprus	0.5	0.017	26	0.2	85	45	62	11.5	X	-	-	X	-	-	-	X	-	-	50	-	-	-	-	X	-	11.0	35	X	-	-	X	-	-	9	-
Bagdad, Arizona, Cyprus	0.7	0.03	32	1.5	88	64	40	11.5	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	50	X	-	X	-	-	-	8.5	20	X	-	-	X	-	-	12	-
Inspiration, Ariz, Inspir. *	0.7	0.007	35	0.2	76	30	55	10.5	X	-	X	-	-	-	-	X	-	-	60	-	X	X	-	-	-	9.5	35	X	-	-	X	-	-	7	X
Morenci, Ariz, Phelps Dodge *	0.8	0.015	22	0.14	75	30	52	10.5	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	50	-	-	X	-	-	X	7.5	20	X	X	X	-	-	X	11	-
Miami, Ariz, Cities Service *	0.5	0.005	26	0.2	86	30	35	11.0	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	30	-	-	X	-	-	-	11.5	20	X	-	-	-	-	-	6	-
Silver Bell, Ariz, ASARCO *	0.7	0.008	30	0.2	84	30	65	11.0	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	50	X	-	-	-	-	-	7.0	20	X	-	-	X	-	-	8	-
Brenda, B.C., Noranda	0.2	0.046	22	3.0	83	86	40	8.0	X	-	-	-	X	-	-	X	-	-	65	-	-	-	-	X	-	8.0	25	X	-	-	X	-	-	12	X
Utah, B.C., Utah In termi.	0.5	0.017	24	0.6	88	67	68	10.5	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	65	-	-	-	-	X	X	10.5	35	X	-	-	-	X	-	8	-
Gaspe, Quebec, Noranda	0.6	0.015	27	0.3	90	56	55	10.0	X	-	-	-	X	-	-	-	-	X	50	-	X	-	-	-	X	8.0	25	X	-	X	-	-	-	14	-
Lornex, B.C., Rio Algom	0.4	0.014	33	0.3	88	64	55	9.5	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	50	-	-	X	-	-	-	8.5	35	X	-	-	X	-	-	7	-
Gibraltar, B.C., Placer	0.5	0.01	30	0.3	85	45	66	10.5	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	55	-	-	-	-	-	-	30	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Chuquicamata, Chile, CODELCO	2.5	0.06	46	0.8	92	56	46	11.0	X	X	-	-	-	X	-	-	-	X	45	-	-	X	-	-	-	11.0	35	-	-	-	-	-	-	8	X
El Teniente, Chile, CODELCO	1.5	0.01	42	0.5	83	33	67	4.2	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	X	-	-	-	8.5	20	-	X	-	-	-	X	3	X
El Salvador, Chile, Codelco	1.3	0.021	46	0.8	81	65	66	11.0	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-	60	-	-	X	-	-	-	11.0	45	X	-	X	-	-	-	7	X
Andina, Chile, CODELCO *	1.6	0.01	31	0.25	86	45	65	9.0	-	-	X	X	-	X	-	X	X	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torquepala Peru, Southern Peru	1.1	0.018	31	0.3	88	37	60	11.5	X	-	-	C	-	X	C	-	-	X	60	-	-	X	-	-	-	8.0	30	X	-	X	X	-	-	3	X
Balkhash, Kazakhstan, USSR	0.4	0.01	18	0.3	85	41	62	12.2	X	-	-	S	-	X	-	-	-	-	45	-	X	-	X	-	-	11.0	45	-	X	-	-	-	X	7	X
Almalyk, Uzbekistan, USSR	0.7	0.01	17	0.2	83	38	46	11.5	X	-	-	S	-	-	-	-	-	X	60	-	X	-	X	-	-	11.0	25	X	X	-	-	-	X	6	X
Kadzharan, Armenia USSR	1.2	0.05	16	1.5	70	47	60	11.0	X	-	-	S	X	-	-	-	-	X	60	-	X	-	X	-	-	10.5	25	X	X	-	-	-	X	6	X
Medet, Bulgaria	0.4	0.006	25	0.25	76	30	60	10.0	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	50	-	X	-	-	-	-	8.0	20	X	-	-	-	-	X	6	X

*- Actualmente no está en operación
S- Scavengers
C- Cleaners

a contracorriente, por depresión de cobre y flotación de molibdeno. El molibdeno es normalmente flotado con hidrocarburos, tales como petróleo, empleando pulpas con un porcentaje de sólidos relativamente pequeño, entre 20 y 35% y un pH en el rango de 8 a 11. Los espumantes más utilizados son el aceite de pino y MIBC y para la dispersión de pulpas se usa frecuentemente silicato de sodio. El número de pasos de tratamiento puede estar entre 6 y 14 y sólo en la mitad de los casos aproximadamente, los concentrados finales de molibdenita tienen que ser sujetos a lixiviación para remover el exceso de cobre.

Tales operaciones utilizan comúnmente cianuro de sodio, cuando se trata de mineralizaciones calcocíticas, o cloruro férrico, cuando se tienen que eliminar especies que contienen hierro.

En la tabla V.1, se resumen estos procedimientos, junto con los resultados metalúrgicos.

V.11 OTRAS FORMAS DE RECUPERAR MOLIBDENITA

En molibdeno, presente en depósitos diferentes a los de tipo pórfido, puede encontrarse en la forma de molibdenita o de algunos otros minerales, tales como wulfenita, powelita, ferrimolibdita, jordisita y otros. Si se encuentra en forma de sulfuro, el molibdeno será siempre recuperable por flotación. Si se encuentra en forma de otros compuestos, pueden utilizarse otras técnicas de beneficio del mineral de acuerdo a las propiedades físicas de los minerales. Por ejemplo, la wulfenita tiene una gravedad específica alta y puede ser concentrada y separada por métodos gravimétricos. Por otra parte, si las técnicas de preparación de minerales no funcionan, se pueden aplicar métodos químicos - hidrometalúrgicos -. La hidrometalurgia del molibdeno está siendo aplicada para la recuperación de molibdeno oxidado a partir de sus minerales y también para la purificación de algunos productos intermedios.

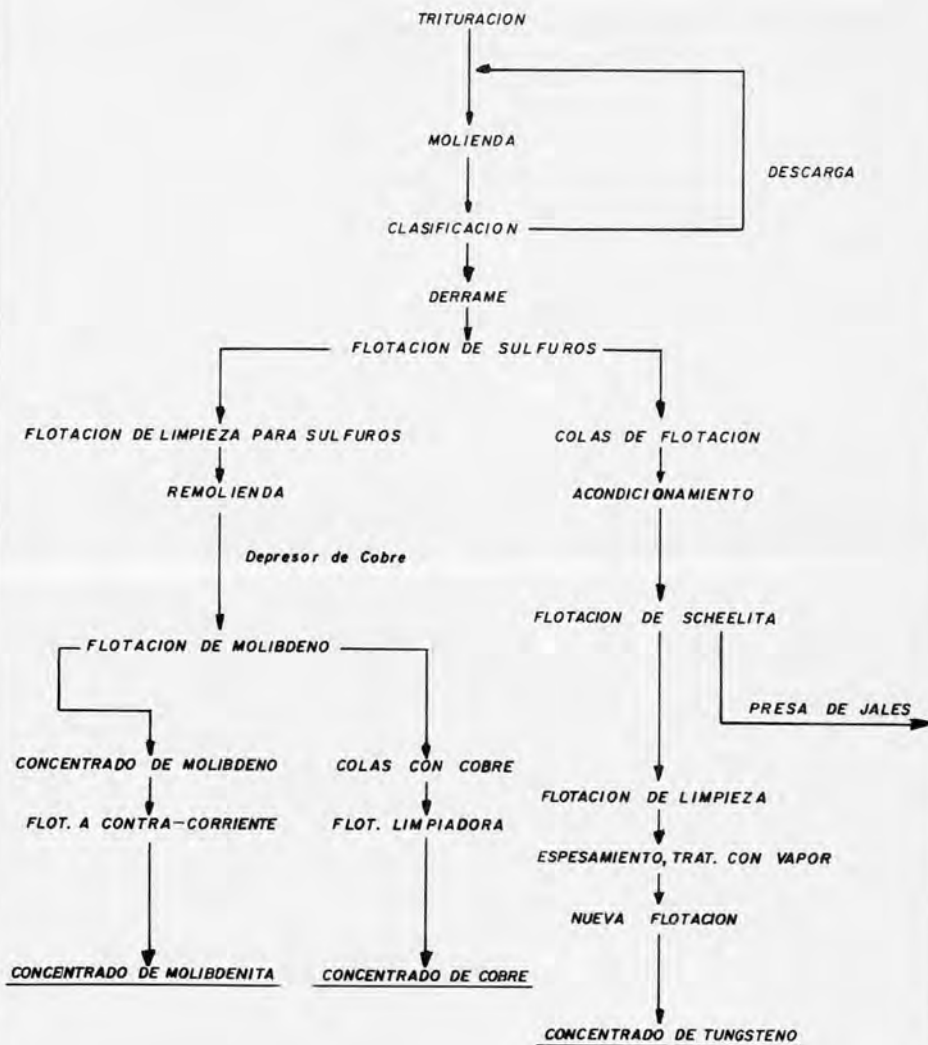
Entre los otros minerales complejos de molibdenita, los más conocidos son los de tipo molibdeno-tungsteno y molibdeno-bismuto. Los minerales de tipo molibdeno-tungsteno se localizan en Rusia, China, Australia y los Estados Unidos. Los mine

rales de tipo molibdeno bismuto se encuentran en Canadá.

Un caso típico de un mineral de molibdeno-tungsteno se halla en Tirny Auz, en el Cáucaso, donde se localiza una mina grande, que abastece una parte importante de la producción de la URSS. La mineralización encontrada en Tirny Auz es altamente compleja y es interesante tanto desde el punto de vista geológico como del metalúrgico. El mineral ocurre en una zona de mineralización ígnea intensa, la cual sufrió después alteraciones metamórficas. Como resultado, la mineralización de la molibdenita es muy irregular, y debido a los efectos secundarios una buena parte de la molibdenita está oxidada, y ha sido transformada a powelita, ferrimolibdita y a otros minerales oxidados. La característica general es que contienen molibdenita en grados y contenidos distintos de oxidación. Por ejemplo, en la parte superior, aproximadamente el 60% del molibdeno se encuentra en forma oxidada, mientras que en la parte inferior sólo el 20% del molibdeno está en formas diferentes a sulfuros. Por consiguiente, cerca de 7% del molibdeno está íntimamente asociado con el tungsteno, por penetración en la estructura cristalina de la scheelita. En las zonas metamórficas, los minerales están penetrados como pequeñas vetillas e incrustaciones y están frecuentemente acompañadas por cantidades pequeñas de calcopirita.

El proceso aplicado en Tirny Auz está diseñado para recuperar tres productos: molibdeno, tungsteno y cobre. La mena contiene entre 0.2 y 0.3% de molibdeno y está sujeto a dos etapas de trituración y una molienda hasta cerca de 0.5 mm para alcanzar la liberación necesaria. El concentrado de sulfuros se flota a pH de 8. El ajuste de alcalinidad se efectúa con carbonato de sodio. La flotación se lleva a cabo con petróleo por 15 minutos, obteniendo un concentrado rougher de molibdenita que contiene cobre y pirita. Las colas contienen ganga y minerales no sulfurosos. El concentrado rougher de molibdenita se limpia 5 veces, mientras que el cobre y la pirita se deprimen con sulfuro de sodio. Después de las etapas de limpieza el concentrado ensaya 80% de MoS_2 ; La cola del circuito de limpieza se descarga conteniendo 12% de cobre y el producto obtenido se considera como concentrado de cobre. La recuperación de molibdenita es de 80% aproximadamente, pero debido a que esta porción representa sólo el 70% del molibdeno total,

DIAGRAMA DE FLUJO ESQUEMATICO PARA LA SEPARACION DE MINERALES DE TIPO MOLIBDENO-TUNGSTENO.



la recuperación es realmente de 56%, calculada en base a las cabezas. La pérdida de molibdeno en el concentrado de cobre es de cerca del 14% .

Las colas del circuito de flotación rougher son acondicionadas con reactivos nuevos y se procesan para la flotación de scheelita. El concentrado de scheelita pasa después a tres etapas de limpieza y es tratado con ácido clorhídrico para lixiviarlo. El concentrado contiene aparte de la scheelita, algo de powelita, ferromolibdita y un poco de molibdeno asociado isomórficamente en scheelita. Sólo se recupera cerca de la mitad del molibdeno que se encuentra en las colas de la flotación rougher, lo cual eleva la recuperación total de molibdeno hasta 70%. Se estima que mientras que la recuperación total de molibdenita es superior al 70%, la de la powelita es de 41% y la de la ferrimolibdita solamente del 3% .

La mayor parte de las pérdidas de molibdeno se localizan en las fracciones más finas, donde se acumulan las lamas oxidadas. La ferrimolibdita, que representa aproximadamente el 10% del molibdeno total se pierde casi en su totalidad.

Un proceso similar, con algunas diferencias, se utiliza en la planta de recuperación de molibdeno, cobre y tungsteno en Pine Creek, California, la cual pertenece a la Union Carbide Nuclear Company. Al igual que en el caso de Tirny Auz, el mineral de Pine Creek contiene aparte de scheelita, algo de molibdenita, powelita y cantidades pequeñas de cobre en forma de calcocita, calcopirita, covelita y bornita. El concepto metalúrgico utilizado en Pine Creek es idéntico al aplicado en Tirny Auz, pero se efectúa por medios diferentes.

En primer lugar, el mineral es molido a un tamaño más fino. Después de dos etapas de trituración y molienda se obtiene un producto de 85 a -325 mallas. Este material es sujeto a flotación, los concentrados son la fuente para obtener molibdeno y cobre, y las colas sirven para la obtención de scheelita y molibdeno oxidado. Sin embargo, la separación cobre-molibdeno se efectúa, después de tres etapas de limpieza, cuando los concentrados contienen 20% de cobre, 20% de MoS_2 y 1 000 -gramos de plata por tonelada, utilizando técnicas de calenta-

miento de la pulpa y repulpeo, en lugar de efectuar una depresión directa con sulfuro de sodio. La flotación de molibdeno se lleva a cabo con petróleo teniendo una pulpa de 20% sólidos y, después de 8 etapas a contra-corriente el concentrado final ensaya 90% de MoS_2 .

Las colas del circuito primario que no contienen sulfuros se acondicionan con reactivos nuevos para producir un concentrado de scheelita. Este producto se limpia varias veces a contracorriente y después se pasa a concentración en mesas. El concentrado de mesas se remuele, se clasifica en espirales y se entrega para su venta.

Las colas de la mesa se mandan a una planta de tratamiento químico para ser lixiviadas con sosa caústica. En esta planta se obtienen dos productos: óxido molibídico y tungstato de calcio.

El proceso utilizado en esta planta se describe a continuación: el producto que entra como cabezas es pasado inicialmente, a una lixiviación en caliente (130°C) con una solución concentrada de hidróxido de sodio durante cinco horas, por medio de la cual todos los componentes son transformados a tungstatos y molibdatos solubles. La solución obtenida es filtrada, diluida con agua y sometida a precipitación del disulfuro de molibdeno utilizando sulfuro de sodio. La precipitación se efectúa a 70°C y a un pH en el rango de 1 a 5, el cual se ajusta con ácido clorhídrico. Además, se utiliza agitación intensa.

Después de la filtración del disulfuro de molibdeno, el licor remanente es acondicionado con cloruro de sodio para oxidar los compuestos de tungsteno, los cuales se precipitan después como tungstato de calcio utilizando cal y una temperatura de 80°C . Las recuperaciones de molibdeno y tungsteno son muy altas, del orden de 99%. El disulfuro de molibdeno es convertido finalmente en óxido molibídico.

Otro caso interesante de recuperación de molibdenita a partir de menas complejas por flotación es la separación de este mineral de minerales complejos del tipo molibdeno-bismuto, tales como los encontrados en la mina La Corne en Canadá. Se

sabe desde hace algo de tiempo que el bismuto nativo y la bismutita flotan bien junto a la molibdenita, tanto con los reactivos de flotación clásicos tales como xantatos y ditiofosfatos y con hidrocarburos.

El procesamiento de este mineral consiste en una flotación primaria de todos los minerales en forma de sulfuros, obteniendo un concentrado rougher en un circuito ligeramente alcalino y después se efectúa la depresión de los sulfuros diferentes a la molibdenita utilizando cianuro de sodio y sulfuro de sodio. A pesar de eso, el concentrado final de molibdenita contiene cerca de 6% de bismuto y 1% de cobre, y debe someterse a una lixiviación con ácido clorhídrico para obtener un producto con 90% de MoS_2 , y menos de 0.2% de un combinado de cobre y bismuto. El producto obtenido se convierte a continuación en óxido molíbdico por medio de una tostación.

Otra alternativa para el tratamiento de concentrados debismuto-molibdenita es deprimir al molibdeno utilizando coloides orgánicos y flotar un concentrado de cobre y bismuto. El bismuto puede ser separado de la pirita y la calcopirita por medio de una flotación fuertemente alcalina utilizando ferrocianuros para la depresión de cobre y hierro.

V.12 OTRAS FORMAS DE RECUPERAR MOLIBDENO

La recuperación de molibdeno a partir de minerales diferentes a la molibdenita se puede efectuar en algunos casos por flotación, sin embargo generalmente se involucran otros métodos físicos y químicos.

Como se ha indicado anteriormente, la wulfenita, un molibdato de plomo, puede ser flotada o concentrada gravimétricamente. El concentrado obtenido por cualquiera de estos métodos es sujeto a fusión, por medio de lo cual el concentrado de molibdeno y vanadio permanecen principalmente en la escoria y el plomo junto con otros metales tales como cobre, oro y plata permanecen en el fundido metálico. En seguida se tritura la escoria y se lixivia para la recuperación de los metales. La wulfenita puede ser también concentrada por métodos gravimétricos.

En el caso de la powelita, la concentración se efectúa generalmente por flotación bajo condiciones rigurosamente controladas. La powelita, un molibdato de calcio, es, como se sabe, un mineral oxidado y, por consiguiente, dificulta su recuperación mediante una flotación selectiva. Sin embargo, en Rusia, se diseñó un método para concentrar powelita en Liangara, Uzbekistán. El mineral se muele con mucho cuidado, a fin de evitar la formación de finos, hasta obtener un producto de 50% a malla - 200, después se somete a un acondicionamiento con soda y ácido oléico para efectuar una flotación rougher. Se agrega silicato de sodio para dispersar y deprimir las lamas, controlando cuidadosamente el pH: con un pH de 9.4 sólo se obtiene una recuperación del 50%, mientras que a un pH de 9.8 se tiene un poco más del 90%. Para mejorar la acción del ácido oléico, este se disuelve en una proporción de 2 : 1 en petróleo.

Partiendo de una cabeza que ensaya 0.1% de molibdeno se obtienen concentrados rougher de sólo 1.5% de molibdeno, por lo que se requiere una concentración posterior utilizando espesamiento, repulpeo y otra serie de pasos de flotación hasta que se obtiene un producto de 5 a 10% de molibdeno con una recuperación total de 80%. El procesamiento posterior se efectúa por métodos hidrometalúrgicos.

Si los concentrados de molibdeno contienen tungsteno puede utilizarse un método muy eficiente para su separación que consiste en una lixiviación con ácido clorhídrico. Este método se basa en el hecho de que la solubilidad de los óxidos de molibdeno en ácido clorhídrico concentrado es aproximadamente 26 veces mayor que la solubilidad de los óxidos de tungsteno. Por consiguiente, las especies que están isomórficamente o de alguna otra forma asociadas pueden ser sometidas a lixiviación con ácido clorhídrico donde la concentración de molibdeno en las soluciones será 82 veces superior que la del tungsteno.

El procedimiento, como fue diseñado por los rusos, se describe a continuación: el concentrado consistente básicamente de powelita y scheelita como constituyentes útiles, es sometido a una lixiviación preliminar con ácido clorhídrico diluido (1%) para disolver la calcita. Se considera que la calcita está eliminada cuando la concentración de ácido clorhídrico se

estabiliza en 0.05%. A continuación, se decanta el cloruro de calcio contenido en el licor y se agrega ácido clorhídrico nuevo al 5%. Esta solución lixiviará a la powelita, pero no atacará a la scheelita. Se considera que la lixiviación termina cuando la concentración del licor se estabiliza al 3% de ácido clorhídrico. En seguida se pasa el licor obtenido a un recipiente, donde se calienta a 80°C, para cristalizar al molibdato. El cual es filtrado, secado y sometido a una lixiviación-alcalina en autoclaves, hasta que se obtiene un producto de -- grado comercial.

El precipitado de tungsteno, que no es afectado por la lixiviación, es también filtrado y secado. Este producto contiene de 60 a 65% de WO_3 y sólo 1% de Mo. Las recuperaciones son generalmente altas, del orden de 90 - 95%.

Sin embargo, las aplicaciones más importantes de la hidrometalurgia en el tratamiento de menas primarias de molibdeno son las que se refieren a las operaciones de menas con molibdenita que han sufrido oxidación.

El Climax, por ejemplo, se ha encontrado que la producción anual de aproximadamente 60 000 000 Lbs/año a partir de mineralización sulfurosa puede ser complementada por otras --- 3 000 000 Lbs/año de productos recuperados partiendo de minerales oxidados perdidos en las colas. Por supuesto, las secciones superiores de la mina, que se encuentran sujetas a una operación de minado a cielo abierto a una razón diaria de 50 000 toneladas presentan un contenido mayor de molibdeno oxidado -- que el mineral regular.

Esta situación dió origen, en 1966, a una operación de - 5 200 toneladas por día para un proceso de recuperación de óxido de molibdeno utilizando una lixiviación ácida y adsorción con carbón con un costo total de \$ 18 millones de dólares *. La idea es recuperar de las colas otras 1.5 Lbs/ton. de molibdeno.

La planta trata una fracción seleccionada de las colas, - las que corresponden a cerca del 14% de su tonelaje, pero que contienen un material muy fino (30% a malla -400), ensayando - 0.1355 Mo, la mayor parte en forma de óxido. El proceso, con-

* La operación fue abandonada debido a que resultó anti-económica.

siste básicamente de lo siguiente:

Las colas, en una cantidad de 5 200 toneladas métricas - por día y al 35% de sólidos, son sometidas a una clasificación en ciclones, por medio de lo cual se obtienen 1 500 toneladas-métricas por día de material en el derrame con 95% a malla ---400. Este material es espesado hasta 50% de sólidos y lixivado con dióxido de azufre-ácido sulfúrico a presión atmosférica. La lixiviación se efectúa a un pH de 1.2, con una concentración de SO_2 de 10-12 gpl, durante 12 horas, con lo cual se lixivian los valores de molibdeno a la forma de azul de molibdeno, que es un coloide complejo ácido. La lixiviación se realiza a una temperatura de 60°C, que es mantenida con vapor vivo, y las proporciones de extracción son del orden de 95%.

A continuación, la pulpa lixiviada se pone en contacto con carbón a malla - 8 a + 20 y se agita lentamente en tanques durante otras 12 horas. Esto resulta en la adsorción del 96% de los valores de Mo.

El carbón se recircula hasta que aumenta la carga a 8 - 10% de Mo. A continuación se separa de la suspensión mineral en cribas vibratorias de malla 35, se lava cuidadosamente, y se desaloja con una mezcla de aire-amoniaco para solubilizar el molibdeno adsorbido. La operación se efectúa a contracorriente en columnas, y se requieren cerca de 0.9 lbs. de amoniaco para desalojar 1 lb. de molibdeno. La mitad de este amoniaco se recupera posteriormente.

El carbón desalojado se lava con ácido y después se recircula. La solución conteniendo 70 gpl de molibdeno en forma de molibdato de amonio, además de algunas impurezas tales como sulfato, fosfato, etc. se acondiciona con una cantidad estequiométrica de sulfato de magnesio para precipitar fosfato amónico de magnesio, el cual es filtrado y descargado. En seguida la solución libre de fósforo se somete a evaporación para producir cristales de paramolibdato de amonio. Estos cristales son calcinados a 1 075 °F para producir óxido molibdic.

En 1965 Bhappu y colaboradores estudiaron la recuperación hidrometalúrgica de molibdeno de la mina Questa en el Institu-

te for Mining and Metallurgy. Estos investigadores estudiaron la lixiviación utilizando minerales con molibdenita y también con minerales de molibdeno no sulfurosos. Bajo condiciones cuidadosamente controladas la molibdenita se lixivia con clorato de sodio, hipoclorito, mezcla de dióxido de manganeso-ácido sulfúrico y con algunos otros oxidantes fuertes tales como el ozono, cloruro férrico con ácido sulfúrico, ácido nítrico y otros.

Por otra parte, los minerales de molibdeno no sulfurosos tales como la ferrimolibdita y óxidos de molibdeno con hierro-hidratado y arcillas, pueden ser lixiviados con ácido sulfúrico y carbonato de sodio debido al carácter anfotérico del molibdeno. El ácido percloroso puede lixiviar ambos tipos de minerales - sulfurosos y no sulfurosos -. El molibdeno puede ser recuperado fácilmente mediante resinas de intercambio iónico o con carbón activado.

El molibdeno es también susceptible de lixiviación bacterial al igual que otros sulfuros de cobre y hierro mediante la acción de los microorganismos "thiobacillus thiooxidans" y otros. Los mejores resultados indican una disolución hasta de 9 mgs/l. en un período de 70 días, partiendo de concentrados de alto contenido.

V.13 PROCESOS DE CONVERSION

Debido a que cerca del 98% del molibdeno para usos finales debe ser convertido a óxido molibídico, antes de su consumo directo para el procesamiento posterior, aproximadamente el mismo porcentaje de los concentrados de molibdenita producidos en el mundo son convertidos en óxido molibídico, antes de su consumo directo para el procesamiento posterior, aproximadamente el mismo porcentaje de los concentrados de molibdenita producidos en el mundo son convertidos en óxido molibídico, ya sea en el área mina o cerca de las áreas de consumo. Por la misma razón, todos los productores importantes de concentrados de molibdenita son también sus transformadores a óxido molibídico. Sin embargo, esta situación es influenciada por las tarifas arancelarias. Como regla general, todos los países industrializados tratan, a través de un sistema arancelario, de fomentar la tostación de molibdenita en sus áreas, obteniendo por-

consiguiente ahorros considerables que establecen la diferencia entre el hecho de comprar la misma cantidad de molibdeno - en forma de concentrados o en forma de óxido (aproximadamente - 10% de diferencia) y con esto se crean fuentes nuevas de empleo en dichos países. Este último punto no sería de gran significación, a no ser por el hecho de que los concentrados de molibdenita que provienen de los productores de cobre porfídico contienen valores importantes de renio, él cual puede ser recuperado económicamente y normalmente no se incluye en la venta de los concentrados.

De hecho, la diferencia entre el precio de una libra de molibdeno en el concentrado de molibdenita y una libra de molibdeno en el óxido molibídico se ha mantenido artificialmente en un valor bajo por los grandes productores con la finalidad de desalentar a los productores pequeños para que entren en el negocio de la tostación y, por consiguiente, limitar su participación en el mercado del molibdeno. En éstas circunstancias por ejemplo, mientras que en los Estados Unidos existen 1 200 consumidores de molibdeno, el número de operaciones convertidas de molibdeno es sólo de 8. El comercio del molibdeno en los Estados Unidos está influenciado grandemente por el gran exceso de la producción que tiene este país en comparación con el consumo de molibdeno. Por consiguiente, existen tarifas arancelarias prohibitivas no sólo sobre los productos de molibdeno sino también para los concentrados.

Esta situación, es completamente diferente a la que existe en otras áreas industriales, donde se consume la mayoría del molibdeno. En Europa y Japón, existen impuestos y derechos de aduana altos sólo sobre los productos de molibdeno y productos químicos de este metal, mientras que las importaciones de concentrados de molibdenita están libres de impuesto. Esto es para fomentar la tostación de molibdenita en aquellos países y para obtener una recuperación de renio libre de cargos. Por otra parte, todos los productos de molibdeno, incluyendo el óxido, pagan derechos de importación.

Esta situación general explica adecuadamente la estructura actual en el negocio de conversión de concentrados de molibdeno.

El mayor productor mundial de molibdeno, la American Metal Climax, ha distribuido acertadamente su plantas de conversión tanto en los mercados nacionales como en los foráneos. Los concentrados procedentes de Climax Molybdenum son transformados en Langeloth, Pensilvania, o en Fort Madison, Iowa, ambos lugares se localizan cerca de los consumidores importantes de acero. A continuación, se procede a la fabricación de fundiciones y a la preparación de los metales refractarios en Coldwater, Michigan, que se localiza también cerca de los mercados de consumo.

Similarmente, AMAX ha desarrollado una política externa en comercio a países extranjeros. En 1965 esta compañía instaló su primera planta de conversión en Rotterdam, Holanda, la cual fué posteriormente ampliada hasta una operación de ----- 18 000 000 lbs/año, que produce además molibdato de amonio, -- utilizado como materia prima para la fabricación de productos químicos y productos a base de molibdeno que son consumidos -- por las industrias petroquímicas y metalúrgicas. También Climax está negociando una participación conjunta del mismo tipo con Japón, donde esta compañía poseería 34% de la empresa debido a su capacidad técnica y tomando en cuenta que las importaciones de concentrados de molibdenita serán libres de impuesto. Hasta ahora la forma preferente de Japón para manejar este problema ha sido el de financiar compañías, localizadas principalmente en Columbia Británica, de tal forma de asegurar su abastecimiento futuro de concentrados de cobre y molibdeno. AMAX tiene también operaciones de conversión en Inglaterra y en Italia (Spigno Monferrato en Alejandría).

En el negocio de los metales refractarios, AMAX tiene -- también una planta en Inglaterra, Minoworth, la cual se ha convertido en un productor importante de ferromolibdeno y ferroleaciones en este país y en las áreas económicas relacionadas con aquel país.

El otro productor importante de molibdeno, Molybdenum -- Corporation of America, está más orientado a los mercados nacionales en los Estados Unidos.

Esta compañía embarca su molibdeno desde Questa mine en Nuevo México, a Washington y York en Pensilvania y lo transfor

ma a diversos productos cerca de las áreas de consumo. Antes de esto, Molybdenum Corporation of America era el convertidor habitual de algunos productores de molibdeno como subproducto, especialmente de la Kennecott Copper Corporation. Esto provocó la decisión de la Kennecott para construir sus plantas de tostación de molibdeno y de recuperación de renio en Salt Lake City, Utah, lo cual dejó a Molybdenum Corporation of America sin abastecimiento suficiente y la forzó a crear sus propias fuentes de suministro de materia prima.

Por otra parte, Duval Sierrita tiene un fuerte ingreso en el mercado de molibdeno debido a las facilidades de integración con que cuenta en Sierrita mine, incluyendo la producción de óxido de molibdeno y de ferromolibdeno a partir de sus tres propiedades en Arizona.

Noranda convertía su producción de molibdeno en una planta de 15 000 000 lbs/año localizada en Endako, o la vendía por contratos a largo plazo a Japón, como es el caso con Brenda Mines.

Chile construyó en Santiago, en 1966, su primer horno de tostación de molibdenita y el segundo en 1969, con una capacidad de producción total de aproximadamente 6 000 toneladas métricas de óxido molíbdico por año, que representan cerca de 7 500 000 libras de molibdeno contenido por año. Aparte de este producto, se produce renio como subproducto y ferromolibdeno. La producción de ferromolibdeno es cercana a 1000 toneladas métricas por año. Esta planta planea una expansión futura, debido a que actualmente recupera únicamente cerca del 35% del molibdeno producido en forma de concentrados de molibdenita en este país.

La tecnología utilizada en la conversión de molibdeno bastante simple, no obstante que presenta algunos problemas particulares debido a la vecindad de la temperatura de oxidación de la molibdenita y el punto de destilación del óxido molíbdico. Los concentrados de molibdenita no se tuestan a temperaturas inferiores a 600°C, sin embargo el producto de la tostación, el óxido molíbdico, empieza a volatilizarse a temperaturas de 620°C, sinteriza a 650°C y se sublima a 700°C. Esto implica la necesidad de un control de temperatura muy riguroso en las

operaciones de tostación, las cuales pueden realizarse en forma segura únicamente utilizando hornos de tostación del tipo Nichols-Herreshoff, enfriados con camisas de agua. Esta es la razón por la cual estos hornos han obtenido una aceptación mundial en el mundo occidental.

Debido a que Climax Molybdenum es el líder mundial en la producción de molibdeno, ha acumulado obviamente una experiencia considerable en la práctica de conversión de molibdeno. -- Desde la instalación de su primer horno de tostación Nichols-Herreshoff en Langeloth en 1926, Climax ha acumulado una larga experiencia en lo que respecta a hornos y tostación de molibdenita a través de 50 años de operación en sus instalaciones. Esto ha dado como resultado, la instalación posterior de 5 hornos adicionales en Langeloth, y además produjo un diseño moderno de operaciones en Rotterdam y Fort Madison.

Uno de los problemas más tediosos en las operaciones de tostación es lo que respecta a recuperación de polvos. Los concentrados de Climax son de granulometría muy fina 2% en malla + 325 y 30% en la malla -20; por consiguiente se tiene normalmente de 10 a 15% y algunas veces hasta 20% de producto en forma de polvos. Los colectores de polvo electrostáticos instalados inicialmente probaron ser ineficientes y por esto se desmantelaron en 1942. Estos colectores se reemplazaron por multiciclones; esto es, un montaje de ciclones de diámetro pequeño (9 pulg. de diámetro), los cuales probaron ser también de baja eficiencia. Posteriormente se añadió un segundo circuito de multiciclones en serie, sin embargo en lugar de obtener el 90% de eficiencia esperado en la recuperación de polvos, rara vez se obtuvieron resultados mejores al 70% (58% en la primera etapa y el resto en la segunda). Estos multiciclones no deben operarse a temperaturas inferiores a 170°C o arriba de 400°C, debido a que de otra manera pueden atascarse. La solución final fue la incorporación de unidades de precipitación electrostática al equipo de recuperación de polvos, lo cual mejoró la eficiencia de colección hasta 98.5%.

En la planta de conversión en Rotterdam, la molibdenita se recibe en tambores de 55 galones, cada tambor contiene de 900 a 1 000 libras de concentrados de molibdeno, embarcados directamente desde Climax. La operación se efectúa en un hor-

no de tostación Nichols-Herreshoff de 12 hogares con un diámetro de 21 pies y 6 pulgadas, con rotación mediante un eje; la rotación puede variar de 0.3 a 0.9 rpm.

Mientras que el horno representa una unidad clásica, este se forma por un número considerable de puertas de trabajo, entradas de aire y salidas para gases. En cada nivel el horno tiene 6 puertas de trabajo; éstas se encuentran dispuestas alrededor del horno.

La conversión de sulfuro de molibdeno proporciona aproximadamente 4 900 Btu por libra de molibdeno, más otras 1 900 -- Btu provenientes de la combustión de los aceites utilizados en la flotación. De aquí la importancia de un control estricto en las temperaturas de operación y la necesidad de mantener un equilibrio térmico por medio de un exceso de aire como medio refrigerante.

En términos generales, se pueden distinguir 4 zonas de operación en el horno: la primera corresponde a los primeros dos niveles y parte del tercero, en este lugar es donde se evaporan y queman los aceites de flotación. Además en esta parte la mayoría del concentrado se convierte en dióxido. La segunda zona se localiza entre el tercero y el sexto nivel. En esta sección se completa la conversión a dióxido, mientras que la proporción de trióxido es baja aún. En la tercera zona, que comprende los niveles séptimo y octavo, el dióxido es transformado a trióxido. En la cuarta zona, el contenido de azufre se reduce de 0.7% a menos de 0.1% S.

Se considera que aproximadamente el 95% de la conversión se completa en los primeros 8 niveles, y que se deben suministrar entre 25 y 50 millones de Btu/día utilizando quemadores de gas natural localizados en los niveles 10y 11, para terminar la operación.

Grimes y Witkamp muestran la siguiente distribución de molibdeno en la descarga de cada nivel, expresada en fracción-mol de molibdeno para sus tres formas principales:

Nivel	MoS ₂	MoO ₂	MoO ₃
0	1.0	0.0	0.0
2	0.842	0.092	0.066
4	0.491	0.324	0.185
6	0.106	0.633	0.262
8	0.006	0.222	0.772
10	0.001	0.005	0.995
12	0.0007	0.000	0.999

En Rusia la tostación de los concentrados se efectúa en la mayoría de los casos en hornos de tostación tipo Wedge, aun que sostienen además la utilización de técnicas más avanzadas de fluo-sólidos. Los resultados de estos hornos fluo-sólidos no se han publicado sin embargo en el occidente tales intentos han fracasado debido a las siguientes razones: se tienen pérdidas considerables por falta de control en la temperatura del horno, en donde se efectúa una reacción fuertemente exotérmica. Por el contrario, en los hornos de tostación del tipo Herreshoff se tiene un control estricto de temperatura por medio de las camisas de agua, además es un equipo confiable a nivel industrial. La operación se inicia generalmente con quemadores, -- los cuales se utilizan en el primero y en el segundo nivel, -- donde el concentrado es pre-calentado y empieza la calcinación. A partir del nivel 3 hasta el nivel 5, la operación se desarrolla exotérmicamente, y sólo hasta el sexto nivel se requiere el suministro de calor para terminar la tostación de la molibdenita.

Se puede considerar que se necesita un pie cuadrado de superficie en el piso del horno por cada 9 libras de concentrado de molibdenita (esto equivale aproximadamente a una capacidad de tostación de 5 kg. de concentrado por metro cuadrado de superficie), además de un 15% adicional para espacios muertos. En la tabla V.2 se presentan algunos datos de las operaciones de tostación más importantes en el mundo.

El calcinado que se obtiene en los hornos de tostación -- de molibdenita (el proceso se efectúa en 4 horas aproximadamente), es el óxido molibídico grado técnico. Este producto contiene de 0.1 a 0.3% de S y trazas de elementos tales como co--

bre, hierro, bismuto, sodio, potasio, magnesio, fósforo y otros que acompañan generalmente a los concentrados de molibdenita. Sin embargo, este producto es suficientemente puro para ser -- utilizado directamente en la mayor parte de los usos en las in dustrias del hierro y del acero. Para este propósito se mezcla con una resina apropiada y se briquetea para formar partículas de tamaño y peso estándar, que facilitan su adición.

Si se requiere de un óxido molíbdico de alta pureza, el producto obtenido de la tostación se puede refinar por lixivia ción con agua o por sublimación. La lixiviación con agua, a - 25% de sólidos, elimina la mayor parte de los sulfatos de cobre, hierro, calcio y otros, aunque no es del todo aceptable - debido a que también el molibdeno es disuelto parcialmente.

La sublimación se efectúa a 1000 - 1100°C en un horno es pecial, en él cual se obtiene aproximadamente el 50% del óxido como un producto muy limpio y la otra mitad forma un residuo - que puede ser utilizado como producto de grado técnico. Sin - embargo, para eliminar totalmente las impurezas de metales pe sados se requiere de una lixiviación con hidrosulfuro de amonio. Esto puede realizarse con varios pasos de lixiviación y precipitación utilizando ácido nítrico para obtener un producto de alta pureza. Además, se pueden tener pérdidas considerables de molibdeno si las operaciones de lixiviación y precipi tación no se realizan cuidadosamente.

El óxido molíbdico puro es la materia prima para fabri car molibdeno metálico, así como para producir molibdato de so dio que se utiliza en la agricultura. En general, el óxido mo líbdico sirve para la preparación de todas las sales de molibdeno, que se utilizan actualmente, tales como los molibdatos - de sodio, amonio y calcio. El molibdato de amonio se prepara - disolviendo óxido molíbdico en amonio hasta saturación y la -- subsecuente cristalización del producto deseado. Este producto se puede obtener también por evaporación de la solución en - exceso.

El proceso de cristalización dependerá de la velocidad - de enfriamiento y del uso de agitación. Se pueden obtener --- cristales grandes utilizando un enfriamiento lento bajo condiciones de reposo.

T A B L A V.2

PRINCIPALES PLANTAS DE CONVERSION Y PROCESAMIENTO
DE MOLIBDENO EN EL MUNDO

NOMBRE DE LA PLANTA	LOCALIZACION	PROP. DE	CAP. ANUAL Tm. DE Mo	HORNOS		PRODUCTOS	
				NO. PT.	NIVELES		
Langeloth	Pensilvania	AMAX	25 000	6	21.5	12	Ox FeMo
Sierrita	Arizona	Duval	13 200	2	23.5	10	Ox FeMo
Utah Copper	Utah	Kennecott	9 000	2	19.5	12	Oxido
Molycorp	Pensilvania	Mo Corp of A	5 800	2			Oxido
Mineral Park	Arizona	Duval	2 500	1	20	10	Oxido
Fort Madison	Iowa	AMAX	10 000	1*	20	12	Prod-Mo
Shattuck Chem.	Colorado	Engelhard	1 600	1			Prod-Mo
Esperanza	Arizona	Duval	400	1	8.5	10	Oxido
Rotterdam	Holanda	AMAX	7 500	1*	21.5	12	Prod-Mo
Herman Stark	Goslar WG	Herman Stark	3 500	1			Prod-Mo
Ges. f' Electromet	Weissweiler	Metallurg	3 400	1			Ox. y FeMo

T A B L A V.2

(Continuación)

NOMBRE DE LA PLANTA	LOCALIZACION	PROP. DE	CAP. ANUAL Tm. DE Mo	HORNOS			PRODUCTOS
				NO.	FT.	NIVELES	
Ferrolegeringar	Suecia	Metallurg	2 200	1			Ox. y FeMo
Murex	Essex, Ing.	Murex Ltd.	2 200	1			Ox. y FeMo
H.S. St. Alloys	Widness, Ing.		2 200	1			Ox. y FeMo
Stowmarket	Suffolk, Ing.	AMAX	1 500	1			Ox. y FeMo
Ugine	Gifre, Francia		2 000	1			Oxido
Kuhlman Pechiney	Francia	Kuhlman	1 800	1			Oxido
Spigno Monferrato	Italia	AMAX	1 000	1			Oxido
Endako	CB. Canadá	Placer-Nor.	6 000	2	16	10	Oxido
Fundy Chemical	Que., Canadá	Fundy Int.	7 000	2	20	10	Ox. y FeMo
Molytmet	Santiago, Chile	Carb. y Met	3 500	2*	10	10	Ox. y FeMo
ARMCO-Chile	Talcahuano	Armco-Chile	120	1	5.0	8	Oxido
Nikon Moribunden	Japón	AMAX-34%	7 000	_ en negociación			
T O T A L			120 000	33			

* Expansión en progreso.

El molibdato de sodio se obtiene disolviendo óxido molíbdico en sosa caústica. El producto final dependerá de la temperatura de cristalización puesto que arriba de 10°C se forman los dihidratos y abajo de esta temperatura cristaliza el decahidrato. Estas sales son deshidratadas fácilmente por calentamiento. El punto de fusión del molibdato de sodio es de 687°C.

El molibdato de calcio existe en la naturaleza como mineral denominado powelita. Sin embargo, puede prepararse fácilmente por adición de cloruro de calcio a soluciones que contengan molibdeno. El molibdato de calcio es utilizado para la preparación de ferromolibdeno y como elemento de aleación en aceros.

Por otra parte, el ferromolibdeno puede ser preparado -- por un proceso metalotérmico o por fusión en hornos eléctricos. El primer método es más utilizado en la industria y consiste en la preparación de una mezcla con partes iguales de óxido molíbdico y ferrosilicio, la cual se mezcla después con polvo de aluminio o magnesio para la reacción metalotérmica. La mezcla se calienta en un horno especial revestido con ladrillos refractarios. La reacción se inicia con una carga especial y después continúa espontáneamente por cuenta de la reacción exotérmica. Esta operación con alimentación por cargas produce un aglomerado especial. En este caso, se debe tener cuidado con los gases que contienen una concentración alta de molibdeno sublimado.

La producción de polvo de molibdeno se efectúa siempre a partir de óxido molíbdico puro. Cuando se utiliza molibdato de amonio, este debe convertirse primero en óxido molíbdico. Esto puede efectuarse en una mufla o en un horno rotatorio a temperaturas que fluctúan entre 450 y 500 °C. A continuación el óxido se tuesta en recipientes especiales fabricados con aleaciones a base de níquel o níquel-molibdeno, hasta que se obtiene una pureza adecuada del molibdato de amonio.

El metal en polvo se obtiene utilizando un horno eléctrico en una atmósfera de hidrógeno o por reducción con carbón. Actualmente, sólo se utilizan los hornos eléctricos. En este caso, el óxido se introduce en recipientes de níquel y es sometido

tido gradualmente a un calentamiento desde zonas frías hasta zonas muy calientes, comprendidas entre 400 y 1075°C, en hornos-tipo mufla. Si se requiere de molibdeno en forma compacta, el polvo es briqueteado y prensado, a continuación es sinterizado parcialmente en una atmósfera de hidrógeno a temperatura de --1000°C. La barra obtenida se coloca en un horno eléctrico especial en él cual se conecta un electrodo a la barra y el otro electrodo se conecta a un baño de mercurio. De esta forma pueden alcanzarse temperaturas de 2400°C para obtener el producto metálico.

V.14 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO V

- 1.- A. Sutulov. Molybdenum Extractive Metallurgy. University - Concepción, Chile 1965.
- 2.-A.Sutulov. Molybdenum and Rhenium Recovery from Porphyry Coppers. University of Concepción, Chile 1970.
- 3.-A. Sutulov. Copper Porphyries. University of Utah, Salt -- Lake City 1974.
- 4.-S. Chander and D.W. Fuerstenau. On the Natural Flotability- of Molybdenite Transactions SME, March 1972, Vol.252
- 5.-E&MJ, September 1972. AMAX in perspective.
- 6.-E&MJ, October 1972. New Urad Moly Mine.
- 7.-World Mining, July 1966. Questa Open Pit.
- 8.-World Mining, July 1965. ENDAKO now mining and milling - -- 10 000 tpd.
- 9.-World Mining, November 1967. URAD, Amax's second molybdenum mine.
- 10.-Frank Seeton. Urad Mine, Deco Trefoil, August-October 1967.
- 11.-E&MJ, May 1965. New Mines and Plants Mushroom as Molybdenum Demand Continues.
- 12.-E&MJ, July 1965. Canada becomes a major moly area.
- 13.-N.L. Johnson. Molycorp Montain Pass, California, Deco Trefoil August-October, 1966.
- 14.-N.Arbitr and O. Young. Flotation Recovery of Molybdenite- U.S.Patent No. 2,559,104, 1951.
- 15.-N. Arbitr and O. Young. Selective Recovery of Molybdenum- Sulphide by Flotation. U.S. Patent 2,608,298. 1952.

- 16.-L.M. Baker and O. Young. Flotation Recovery of Molybdenite- U.S. Patent 2,664,199. 1953.
- 17.-C.M. Nokes and C.G. Quigley. Differential Froth Flotation - of Sulphide Ores. U.S. Patent 2,492,936. 1949.
- 18.-C.M. Nokes. Process for Recovery Molybdenite from Copper U. S. Patent 2,811,255. 1957.
- 19.-K.T. Vartanian. Influence of Sodium Sulphide on the flota-- tion of Chalcopyrite and Molybdenite.
- 20.-K.T.Vartanian and Gomelauri. Depression of Sulphides by So-- dium Sulphide. USSR Patent 48,010. 1936, and 63,803, 1941.
- 21.-N.E. Plaksa. Steam Treatment and Selective Flotation of Co-- pper Molybdenite Concentrates. Tsvetnyie Metall. 1970, No. 1, pp. 79-82.
- 22.-F.N. Belash and O.B. Pugina. Flotation of Tungsten and -- other associated metals from the Transbaikal Complex Ores Siberian Academy of Science, No. 8, pp 61-70. 1958.
- 23.-M.C. Carosella. Recovery of Molybdenum Compounds, U.S. -- Patent No. 2,460,975. 1949.
- 24.-L.I. Grosman. Obtaining High-Grade Molybdenum Concentrates with Oleic Acid. Tsvetnyie Metall 32, No. 2, pp.10-13. - 1959.
- 25.-R.Igurevich and I.I. Berlinsky. Concentration of Powelite from Liangara. Uzbek Academy of Science No.6, pp 61-70 - 1958.
- 26.-N.A.Khruschev. Molybdenum in the Tirny Auz Ores. Tsvetnyie Metall, No. 2 1949.
- 27.-Climax Dedicated Acid-Leach-Charcoal Adsorption Process -- for Moly Oxide Ores. AIME, Mining Engineering, December 1966
- 28.-Carbon Adsorption is Key to Recovery of Moly Oxide at New - Climax Plant. E&MJ, January 1967.

- 29.-R.B. Bhappu et al. Hydrometallurgical Recovery of Molybdenum from Questa Mine. Circular 81, New México Institute of Mining and Technology. 1965.
- 30.-C.R. Grimes and G. Witkamp. Climax Conversion Practice. --- Journal of Metals, February 1971.
- 31.- C.R. Cardoen. The Kinetics of Molybdenum Disulphide Oxidation. Phd Thesis, U. of Utah, 1969.

CAPITULO VI

EL COMERCIO DEL MOLIBDENO

La demanda mundial de molibdeno y sus productos alcanzó, en el período 1972-1976, un nivel promedio entre 80 000 y 85 000 toneladas métricas por año. Por otra parte, la situación en la oferta y la demanda se caracterizó por tres factores esenciales:

- 1.- Los recursos y la producción mundiales de molibdeno están distribuidos desigualmente. De hecho, estos se encuentran concentrados fundamentalmente en el hemisferio occidental, el cual posee el 88% de las reservas identificadas en el mundo y proporciona el 87% de la producción mundial de molibdeno.
- 2.- Esencialmente, los recursos y la producción mundiales de molibdeno, no coinciden con los centros de consumo. Entre las naciones industrializadas, sólo los Estados Unidos se encuentran abastecidos adecuadamente y producen un excedente considerable de molibdeno para exportación. Los otros países industrializados, como Japón, Alemania Occidental, Gran Bretaña, Francia, Italia y de hecho, todos los países de Europa Occidental poseen recursos reducidos de molibdeno y por consiguiente deben importar este metal.
- 3.- Mientras que el molibdeno y sus productos son utilizados por varios miles de consumidores, la mayor parte del mismo es producida por menos de una docena de productores importantes. Sólo seis de estos productores importantes, la mayoría son americanos, controlan aproximadamente el 90% de la producción y conversión de molibdeno. Estos productores son: Climax, Molibdenum of America, Duval y Kennecott en los Estados Unidos; CODELCO en Chile; y Noranda en Canadá.

VI.1 DEMANDA DE MOLIBDENO

La demanda de molibdeno ha aumentado más del doble en el período de 1964 a 1974, y se ha incrementado 8 veces desde 1946. Este crecimiento extraordinario en el consumo de molibdeno y sus productos se debe principalmente al crecimiento de-

la economía mundial, a los desarrollos tecnológicos recientes y a los usos sofisticados de este metal. Desafortunadamente, las estadísticas a nivel mundial del consumo de molibdeno por sus usos finales no se encuentran disponibles (en el caso de México sucede algo similar), sin embargo se cuenta con los datos correspondientes al consumo en los Estados Unidos, el cual consume cerca del 40% de la producción mundial y produce aproximadamente de 60 a 63% de la demanda mundial, por consiguiente, estos datos representan un indicador adecuado para los estudios globales de molibdeno.

En base a los datos reportados en los Estados Unidos para el año 1977, se puede establecer lo siguiente: el 69% del molibdeno total fue utilizado para la fabricación de todos los tipos de aceros, entre los que se encuentran los de alta aleación, inoxidable y resistentes al calor, alta resistencia y baja aleación, de herramientas entre los más importantes. En seguida, cerca del 7% del molibdeno fue utilizado en fundiciones y aproximadamente la misma cantidad se consumió en la fabricación de super-aleaciones y otras aleaciones. Los productos fabricados a base de polvo de molibdeno correspondieron al 6.6% del consumo total. Esto produce entonces un total de 89.6% para los usos metalúrgicos y deja sólo un 10.4% para usos químicos y otros usos misceláneos de este metal.

Con respecto a la forma en que se utiliza el molibdeno, puede establecerse que el 69% se usa en forma de óxido molibídico; 16% como ferromolibdeno; 5% como molibdeno metálico; 2% como disulfuro de molibdeno y aproximadamente el 8% como sales de molibdeno, de las cuales la tercera parte corresponde a los molibdatos de sodio y amonio. El resto corresponde al molibdato de calcio y a otras sales.

Sorprendentemente, ni los hábitos de consumo ni las formas de los productos de molibdeno han cambiado substancialmente en la última década. Sin embargo, existen algunas tendencias que muestran más usos económicos del molibdeno o una preferencia en las formas de consumo en nuevas áreas. Por ejemplo, mientras que en 1962, el ferromolibdeno representó el 24% del consumo total de molibdeno, en 1977 ésta porción del mercado se redujo hasta el 16%. Durante la misma época, los u-

Los óxidos de molibdeno incrementaron su porcentaje en el mercado de 64% en 1962, a 69% en 1977. Esto se debe básicamente a la conveniencia económica para utilizar óxido de molibdeno en lugar de ferromolibdeno en la producción de acero, que representa el 70% del consumo total.

Por otra parte, el molibdeno utilizado en forma de polvo metálico o como disulfuro de molibdeno ha permanecido casi en el mismo rango de porcentaje. Por el contrario, en el caso de las sales de molibdeno tales como el molibdato de amonio y el molibdato de sodio, que se utilizan ampliamente en la fabricación de pigmentos y productos químicos, se observa un incremento notable en su porcentaje dentro del mercado, que va de 0.9% en 1962 hasta 1.50 en 1977.

VI.2 COMERCIO DEL MOLIBDENO

Como se muestra en la tabla VI.1, el comercio mundial del molibdeno en 1973 (el último año para el cual se tienen datos estadísticos disponibles), correspondió a cerca de 53 000 toneladas métricas. Comparando esta cantidad con la producción mundial para aquel año, de aproximadamente 83 700 toneladas métricas, dicha cifra corresponde a 63.5% de la producción mundial. Esta extraordinaria movilidad del molibdeno en los mercados del mundo, como se ha explicado anteriormente, se debe a la escasa coincidencia que existe entre los centros de producción y consumo. Como se muestra en la misma tabla, los países industrializados de Europa Occidental y Japón absorben casi el 93% del molibdeno disponible en los mercados, dejando sólo un 7% para el resto del mundo, incluyendo los países de Asia, África, Latinoamérica y el bloque comunista. Además, cerca del 10% de las importaciones de Europa Occidental son re-embarcadas a la URSS y a Europa Oriental.

También, debe notarse que únicamente tres países: Estados Unidos, Canadá y Chile abastecen más del 95% de la demanda de molibdeno. Esto, nuevamente, subraya la gran importancia estratégica del hemisferio occidental en este campo.

El comercio se ha mantenido uniforme, como se muestra en la tabla VI.2, y depende particularmente de los Estados Unidos y su política. En primer lugar, debe notarse que, aparte de -

estar produciendo de 60 a 63% de la producción mundial (este porcentaje se ha incrementado a 67% por la operación de Henderson), los Estados Unidos mantienen una reserva importante de molibdeno, que ayuda a satisfacer y amortizar las fluctuaciones de la demanda, evitando de ésta manera fluctuaciones especulativas de los precios. En esta sentido,

T A B L A VI. 1

COMERCIO MUNDIAL DE MOLIBDENO EN 1973

(expresado en toneladas métricas equivalentes-
para todos los productos)

EXPORTADORES	I M P O R T A D O R E S					
	Europa Occ.	Japón	Asia	Latino-américa	Otros	Total
Estados Unidos	25,852	6,655	109	868	907	34,341
Canadá	6,848	3,250	211	250	717	11,276
Chile	3,600	1,468	-	200	-	5,268
Perú	630	-	-	3	-	633
Otros	1,000	112	200	-	500	1,812
Total	37,930*	11,485	520	1,321	2,124	53,380

* Cerca del 10% de este molibdeno es re-exportado a la URSS y a Europa Oriental.

la liberación de cantidades importantes de molibdeno de las reservas estratégicas del Gobierno de Estados Unidos y de existencias privadas han ayudado a hacer frente a diversas situaciones entre 1970 y 1975, sin haber producido situaciones críticas en el equilibrio básico entre la oferta y la demanda.

Como puede observarse en la tabla VI.2, el Gobierno de -

T a b l a VI. 2

ESTADOS UNIDOS : PRODUCCION, RESERVAS & EXPORTACIONES DE
MOLIBDENO

	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Producción EU	50 614	49 815	50 972	52 663	50 959	48 471
Liberaciones Del Gob. EU	2 152	144	-	2 642	15 919	
Existencias Industriales	14 367	18 720	29 053	35 803	23 787	
Provisiones Totales EU	67 133	68 679	80 025	91 108	90 665	
Consumo Interno	22 264	18 413	23 331	33 008	34 617	27 180
Exportaciones	25 989	21 430	20 891	34 341	37 055	
Excedentes Reservas	18 880	28 836	35 803	23 759	18 993	
<u>Principales Exportadores</u>						
Estados Unidos	25 989	21 430	20 891	34 341	37 055	
Canadá	13 741	10 394	14 192	11 276	11 500	
Chile	7 712	6 719	7 353	5 268	9 000	

Fuente : U. S. Bureau of Mines.

Estados Unidos ha estado liberando en los últimos años cantidades moderadas de molibdeno de sus reservas estratégicas, sin haber producido depresión en el mercado del molibdeno. Sin embargo, en 1974, se liberaron aproximadamente 35 000 000 libras de molibdeno contenido en todo tipo de productos, dejando las reservas estratégicas nacionales en sólo cerca de 2 100 000 Lbs. Sin embargo, dicha cantidad fue absorbida por el extraordinario crecimiento tanto en el consumo nacional como en el exterior, que se produjo en 1973 y 1974, y sin contar con un incremento en las existencias disponibles al finalizar el año.*

Es en verdad notable que, en el período 1973-1974, el consumo interno de molibdeno en los Estados Unidos creció de un nivel promedio anual de 20 000 - 22 000 toneladas métricas, a 33 000 toneladas métricas, esto es, más del 50%. Similarmente, las exportaciones de molibdeno de los Estados Unidos crecieron, en el mismo tiempo de un valor promedio de 22 000 toneladas métricas/año a un promedio de 35 000 toneladas por año, o sea aproximadamente el 63%. Esto refleja adecuadamente un crecimiento extraordinario en la demanda de molibdeno a nivel mundial, como consecuencia de nuevos usos para el molibdeno, tales como aceros aleados con alta resistencia a la tracción-utilizados para fabricación de tuberías de gran diámetro para climas árticos, y la aplicación creciente de este tipo de aceros en las industrias de construcción y maquinaria.

En términos generales el consumo de molibdeno está relacionado con el avance de los países industrializados, tales como Estados Unidos, Europa Occidental y Japón. Tradicionalmente, Europa Occidental era el principal consumidor de molibdeno en el mundo, seguido por los Estados Unidos y Japón. La Unión Soviética, efectuaba anteriormente algunas exportaciones de --

* En 1969, las reservas estratégicas del Gobierno de Estados Unidos permanecían en 52 millones de libras de molibdeno: 33 millones de libras de concentrados de molibdeno, 7.5 millones de libras como ferromolibdeno y 11.5 millones de libras como MoO_3 . Para el 1º de enero de 1975, se tenían reservas de sólo 1.8 millones de libras de concentrado y 0.3 millones de libras de ferromolibdeno.

molibdeno, principalmente en forma de ferromolibdeno, las cuales han disminuído gradualmente desde 1970 y actualmente aparece como consumidor total de su producción.

A continuación se presentan los datos para consumo de molibdeno, de acuerdo a las declaraciones del presidente de la - Climax Molybdenum Company, Mr John W. Goth publicadas recientemente; los datos se expresan en toneladas métricas:

	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Estados Unidos	23,556	21,744	25,821	31,710	33,975	27,180
Europa Occ.	30,351	28,086	29,445	34,881	41,676	36,240
Japón	9,060	8,154	7,701	10,419	12,231	7,701
Otros	3,171	3,171	3,624	4,983	5,889	4,983
Total	66,138	61,155	66,591	81,993	93,771	76,104

Estas cantidades son algo diferentes a las registradas en las tablas VI.1 y VI.2. En el primer caso la diferencia puede deberse a la pequeña producción local, y en el segundo caso a la evaluación de las reservas y liberaciones del Gobierno de - Estados Unidos, reportadas por el US Bureau of Mines. De cualquier modo, dichas cantidades reflejan adecuadamente el panorama general en el consumo del molibdeno.

Los períodos de baja demanda, tal como sucedió en 1971, después de un año record 1970, no se reflejan tanto en la disminución de la producción de Estados Unidos, como en el crecimiento de las reservas de este país. El panorama es muy diferente en el caso de Canadá y Chile, que son los otros abastecedores importantes del mercado mundial, los cuales sufrieron disminuciones en sus exportaciones del 30% o más. Las grandes reservas de molibdeno de Estados Unidos en 1972 y 1973 ayudaron a enfrentar el incremento en el consumo durante 1973-1974, lo cual provocó nuevamente la disminución de las reservas es--

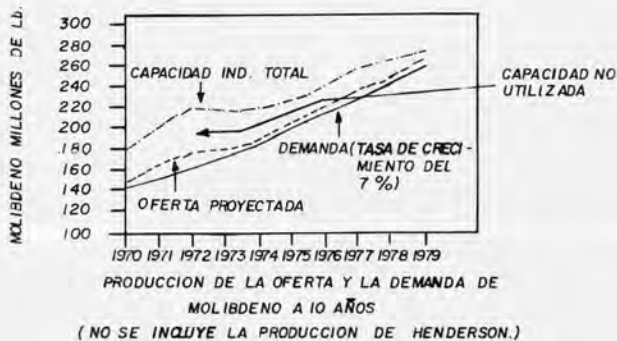
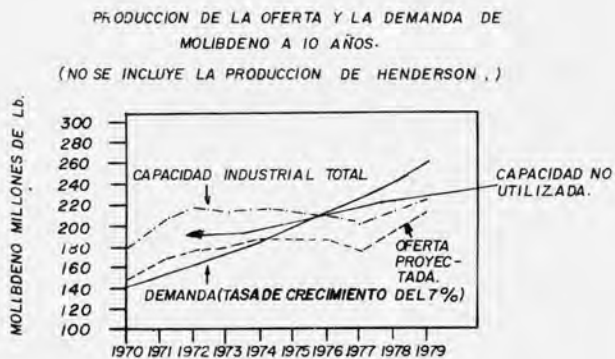


FIGURA VI.1 PROYECCION DE LA SITUACION EN LA OFERTA Y LA DEMANDA DE MOLIBDENO DE ACUERDO CON AMAX.

tratégicas. Se espera que, el proyecto Henderson ayudará a satisfacer la creciente demanda de molibdeno para los años venideros, Chile también puede ser un factor importante en este sentido, puesto que se espera un incremento en su producción de molibdeno de 10 000 000 libras/año, en los dos años próximos. En la figura VI.1, se muestra una proyección en el mercado del molibdeno hasta 1980, efectuada por AMAX, a principios de los 70's, cuando se tomó la decisión de realizar el proyecto Henderson.

En 1975, el consumo de molibdeno del mundo libre disminuyó en cerca del 20% comparado con 1974 debido a la recesión económica, a la disminución en la producción de acero y a la reducción en la demanda de coches, aviones y accesorios. Sin embargo, ésta reducción en la demanda fué sentida duramente por la industria del molibdeno, debido a lo agotado de las reservas, a la reducción en la producción de molibdeno (como consecuencia de la disminución en los precios del cobre y la demanda, y por consiguiente disminución en la recuperación del subproducto), y especialmente debido al creciente déficit en el abastecimiento de molibdeno en la Unión Soviética y los países del bloque comunista en general.

VI.3 ARANCELES Y OBSTACULOS COMERCIALES DEL MOLIBDENO

La distribución excepcional de los centros de producción y consumo de molibdeno en el mundo, es también responsable de ciertos aranceles artificiales y obstáculos comerciales que dan singularidad al negocio del molibdeno.

En primer lugar, todos los países que consumen o importan molibdeno están interesados en importarlo en su menor grado de elaboración, es decir, en forma de concentrados de molibdenita. Esto tiene dos ventajas aparentes: primero, el óxido molibdicó y otros productos a base de molibdeno pueden ser fabricados en los países consumidores, lo cual resulta en el ahorro de cantidades considerables, creación de nuevos empleos y mejoramiento en la balanza de pagos. La segunda ventaja es la posibilidad de recuperar renio como subproducto, él cual tiene un gran valor y no ha sido pagado dentro de los concentrados. Estas dos ventajas dictan la política a seguir, la cual consiste en un -

tratamiento definido de los concentrados de molibdenita versus otros productos, es decir, mientras que las importaciones de molibdenita son normalmente bien recibidas y libres de impuestos, las importaciones de ferromolibdeno, óxido molibídico y sales de molibdeno pagan impuesto.

Debido a ésta razón específica y además debido a las ventajas que ofrece el Mercado Común Europeo a sus miembros en el comercio regional, AMAX ha construído una enorme operación de conversión de 7 500 toneladas métricas por año en Rotterdam, en Holanda, adonde embarca concentrados de molibdenita-cerca del 45% de todas las exportaciones de los Estados Unidos- y -- posteriormente los convierte en óxido molibídico y sales de molibdeno que se venden a los diferentes clientes por toda Europa. En forma análoga se efectúan negociaciones entre AMAX y Japón donde, en un contexto similar, AMAX y Nikon Moribuden de sean instalar una operación de 7 000 toneladas métricas por año, en la cual AMAX participaría con el 34% del proyecto.

Con respecto a los propios Estados Unidos, debido a la extraordinaria abundancia de molibdeno en su territorio, este país considera nocivas las importaciones de molibdeno. Esta es la razón que se encuentra detrás de un arancel obligatorio de 12 centavos de dólar por libra de concentrado de molibdenita y un arancel de 10 centavos de dólar por libra para otros productos. Dichos productos se encuentran además sujetos a un impuesto ad valorem de un 3 hasta un 12.5%, lo cual es una cantidad suficiente para desalentar las importaciones de molibdeno a los Estados Unidos.

Este tema fue discutido y negociado bajo El Acuerdo General Sobre Aranceles Aduanales-Aduanero y Comercio (GATT) y bajo The Kennedy round, aunque con escasos resultados hasta ahora.

Canadá tiene un sistema arancelario propio, en el cual se distingue un tratamiento preferencial para Inglaterra, otro sistema para las naciones más favorecidas, y un tercer sistema para uso general.

Inglaterra puede exportar todos sus productos libres de

impuesto, excepto los óxidos e hidróxidos de molibdeno, los cuales pagan un arancel del 10%. Las naciones más favorecidas tienen que pagar un 15% en el caso de los óxidos y 5% para el ferromolibdeno, mientras que la categoría general paga aranceles de 5 a 25%. El molibdato de calcio y el ferromolibdeno pagan 5% y el óxido molibídico y las aleaciones un 25% de recargo. En los Estados Unidos, sólo el molibdeno metálico y la chatarra de este metal pagan un 12.5% de impuesto.

VI.4 PRODUCTOS DE MOLIBDENO - ESPECIFICACIONES Y PRECIOS

Los usos finales de molibdeno requieren productos de molibdeno con cierta pureza, especialmente en lo que respecta las impurezas críticas, que pueden contaminar a los productos finales. Los precios de tales productos están cotizados en dólares por libra de molibdeno contenido, de acuerdo a la calidad del producto. Estos precios pueden variar ligeramente en relación con la presentación del producto, esto es si este se encuentra briqueteado o empacado en latas o sacos.

El precio fundamental para la evaluación de los productos de molibdeno es el precio del molibdeno en los concentrados de molibdenita. Los Estados Unidos, como el mayor exportador y comerciante de productos de molibdeno, es quien generalmente fija los patrones en el sistema de precios del molibdeno. Además, AMAX, que es propietaria de Climax Molybdenum, el mayor productor de molibdeno en el mundo, es un factor importante en la cotización de los productos de molibdeno. Su concentrado de molibdenita, generalmente muy puro, es la base para establecer el precio fundamental para dichos productos.

En general, los precios del molibdeno se han manejado sabiamente en orden de guardar la posición competitiva del molibdeno en comparación con otros metales en los mercados mundiales e inspirar un grado de confianza mayor a los consumidores. Este caso es substancialmente diferente cuando se compara con la variabilidad de los precios del cobre. El examen de los precios del molibdeno en los últimos 30 años indica que el precio del molibdeno estuvo oscilando entre \$ 1.05 y \$ 1.72 dólares por libra, equivalente a \$ 1.80 a \$ 2.00 dólares en términos de dólares constantes en 1973. A este respecto, el mantenimiento de un precio estable de molibdeno de 1969 a 1973, a -

\$ 1.72 dólares por libra, significó realmente una disminución en el precio del molibdeno, en términos reales, de cerca del 17% en un período de 5 años, debido a las presiones inflacionarias.

Esta situación fue corregida en Julio de 1974, cuando -- debido a la gran demanda de molibdeno, el precio base se elevó a \$ 2.08 dólares por libra de molibdeno. Más tarde, el precio del molibdeno alcanzó \$ 2.30 dólares por libra en Enero de -- 1975, y fue ajustado nuevamente a \$ 2.62 dólares en Septiembre de 1975. De esta forma, la industria está tratando de guardar el poder adquisitivo del dinero para sus productos, él cual -- se ha deteriorado considerablemente debido a la inflación mundial.

La situación prevaleciente a principios de 1976 está reflejando básicamente lo mismo que sucedía en los últimos meses de 1975, por lo cual los concentrados de molibdenita de Climax con 95% de pureza y menos de 0.1% de cobre fueron fijados a un precio de \$ 2.62 dólares por libra de molibdeno contenido, sin incluir el costo de envase. Esto elevó inmediatamente el costo del óxido molibídico técnico a \$ 2.90 dólares por libra de molibdeno, incluyendo el costo de envase. Con este precio base, el ferromolibdeno en lotes de 5 000 libras o más, se cotizó a un precio de \$ 3.50 dólares por libra de molibdeno contenido.

Los concentrados de molibdenita, que provienen de cobres porfídicos y que resultan de la recuperación del subproducto, -- conteniendo en este caso cantidades variables de cobre y otras impurezas, se cotizaron a precios un poco menores, que varían de \$ 2.20 a 2.55 dólares con el precio base de molibdeno (Climax) de 2.62 dólares. Esto estimula grandemente el esfuerzo -- de los productores de molibdeno como subproducto para incrementar la pureza de sus productos. Dichos concentrados contienen normalmente cerca de 90% de MoS_2 y de 0.1% a 0.5% de cobre. La pureza de estos productos se obtiene con una cierta pérdida en la producción, debido a que el tratamiento a contracorriente de los concentrados incrementa el contenido de molibdeno en las colas.

Esta diferencial en el precio tiene una tendencia a in--

crementarse y en el Metal Bulletin de Abril de 1976, se indica que mientras el precio base para el concentrado de molibdenita Climax era de \$ 2.90* dólares por libra (con contenido mínimo de 85% MoS₂), los precios para los concentrados de molibdeno de otros orígenes variaban entre \$ 2.60 a \$ 2.65 dólares por libra de molibdeno contenido - lo cual indica un descuento substancial de cerca del 10% con respecto al precio base.

T A B L A VI.3

PRECIOS DE LOS PRODUCTOS DE MOLIBDENO
(12 de abril de 1976)

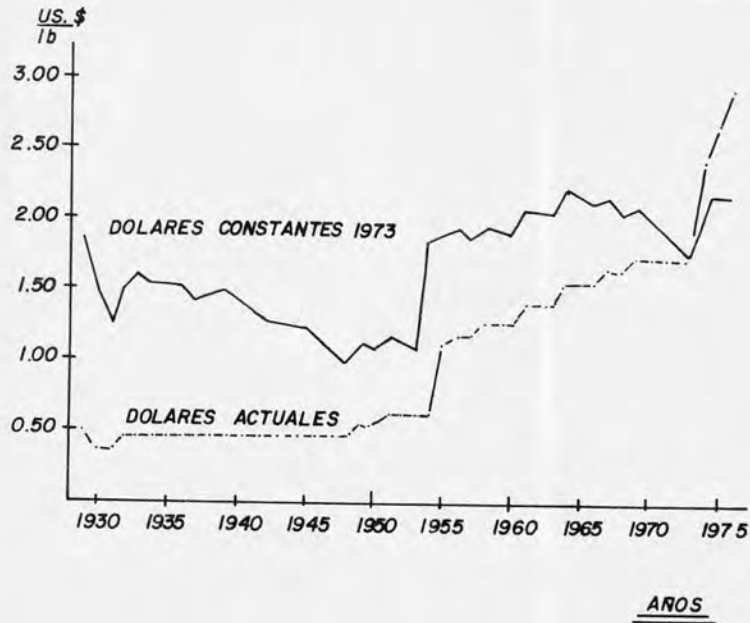
	Fecha	Precio
Concentrado de molibdenita Climax	3.29.1976	\$ 2.90
Concentrado de molibdenita-Subproducto	3.25.1976	\$ 2.38 - \$2.88
Oxido Climax-envase	3.29.1976	\$ 3.21
Oxido - precio al comerciante	3.25.1976	\$ 3.25
Oxido K-1 -envase	4.01.1976	\$ 3.21
Oxido K-2 -envase	4.01.1976	\$ 3.14
Ferromolibdeno grueso - Climax	3.29.1976	\$ 3.75
Ferromolibdeno en polvo - Climax	3.29.1976	\$ 3.81
Ferromolibdeno para exportación	3.25.1976	\$ 3.80

Fuente : Metals Week, April 12, 1976

* El último aumento en los precios del molibdeno refleja un costo laboral incrementado en Climax, el cual se elevó aproximadamente un 40% de 1970 a 1976 (\$ 39 vs. \$ 57 dólares por día); -- además de un aumento en el costo de inversión del 60%. El proyecto Henderson evaluado originalmente en \$ 250 millones de dólares costó alrededor de \$ 400 millones de dólares.

FIGURA VI. 2

EVOLUCION DE LOS PRECIOS DEL MOLIBDENO
(en US \$ por lb. de Mo contenido en los concentrados)



Los precios del molibdeno metálico en forma de polvo se rigen generalmente con un recargo casi del 100% sobre el precio base de la molibdenita. Por ejemplo, con el precio base de \$ 2.62 dolares por libra de molibdenita el metal se cotiza ba ligeramente alrededor de \$ 5.00 dólares por libra.

Existe una gran variedad de productos de molibdeno en el mercado, los cuales se rigen siempre a precios más elevados de acuerdo a su grado de pureza. Estos precios varían de acuerdo a la demanda.

Aparte del óxido molíbdico grado técnico, este se encuentra disponible en forma de un producto purificado con un contenido mínimo de 99.5% de MoO_3 . Dicho producto contiene, como nivel máximo, 0.005% de las siguientes impurezas (en cada caso): hierro, sílice, azufre y plomo. La calidad P.M. del óxido molíbdico es aún mayor puesto que tiene una pureza que puede ser hasta del 99.9% mínimo de MoO_3 . Las impurezas en este producto varían de 5 a 40 ppm. El óxido molíbdico es pecial de grado reactivo tiene una pureza de 99.99%.

El molibdato de amonio se vende como cristales blancos de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ con 81 a 83% de MoO_3 , molido a 3/8" o a malla -20. Este producto no debe contener más de 0.01% de insolubles, 0.01% de sulfatos, 0.005% cloruros, 0.002% de metales pesados y 0.001% de fosfatos. Este es un producto químicamente puro. El producto grado reactivo es aún más puro.

El molibdato de sodio anhidro grado técnico, contiene un mínimo de 98% de Na_2MoO_4 , que equivale a 68.5% de MoO_3 . Las impurezas de este producto deben ser menores de 0.2%, para el caso de cloruros y sulfatos y 0.05% para insolubles; una solución al 5% debe dar un pH entre 8.5 y 9.5. El producto grado reactivo tiene 99% de pureza en forma anhidra y 99.5% de pureza en forma cristalina.

Los otros productos químicos del molibdeno pueden ser especificados brevemente como sigue:

AMONIO —

Fosfomolibdato	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$	polvo amarillo
Molibdato de Bario	BaMoO_4 (98% pureza)	polvo blanco
Molibdato de Cadmio	CdMoO_4 (98.5% de pureza)	polvo blanco
Molibdato de Calcio	CaMoO_4 (técnico & 98.5%)	polvo blanco
Molibdato de Cobalto	$\text{CoMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	polvo morado
Molibdato de Cobre	$3\text{CuMoO}_4 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$	polvo verde
Molibdato de plomo	PbMoO_4 (99% de pureza)	polvo blanco amarillento
Molibdato de litio	Li_2MoO_4 (98.5% de pureza)	blanco delicuescente
Molibdato de Níquel	$\text{NiMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (98.5% de pureza)	polvo amarillito verdoso
Molibdato de Potasio	K_2MoO_4 (99.5% de pureza)	polvo blanco
Molibdato de Estroncio	SrMoO_4 (98.5% de pureza)	polvo blanco
Molibdato de Zinc	$\text{ZnMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (99% de pureza)	polvo blanco

VI.5 EXPORTACIONES DE MOLIBDENO

Las exportaciones en 1973 correspondieron a 53,380 toneladas métricas y las de 1974 fueron cerca de 58,000 toneladas métricas. Considerando dólares de 1976 y precios de este año, se tiene un comercio cercano a \$ 400 000 000 dólares por año.

Sólo se conocen los detalles de las exportaciones de los Estados Unidos. El trastorno en los embarques de los Estados Unidos para 1973 y 1974, se expresan a continuación en toneladas métricas de molibdeno contenido:

	1973	1974
Concentrado de Molibdenita	21,983	18,104
Oxido Molíbldico	17,427	16,285
Todos los Otros Productos	1,291	1,323

Los otros productos incluyen ferromolibdeno, alambre, -- polvo, productos semi-fabricados y chatarra con molibdeno.

Por otra parte, Canadá ha estado exportando firmemente - alrededor del 90% de su producción. Sólo hasta hace poco su - consumo interno ha llegado a cerca de 2 000 toneladas métricas por año, dejando por consiguiente para exportación entre 11 000 y 12 000 toneladas métricas por año. Aproximadamente dos tercios de sus exportaciones son en forma de concentrados de molibdenita.

Las exportaciones de molibdenita de Chile han estado fluctuando entre 1970 y 1973, debido a las condiciones particulares en la industria del cobre, de donde proviene toda la producción de molibdeno. La situación a cambiado a partir de 1973. La compañía Molymet (Molibdenos y Metales, S.A.) se ha especializado en la producción de óxido molíbldico, ferromolibdeno y sales de renio, los cuales exporta a Europa, Japón, India, Africa, Latinoamérica, Estados Unidos y Australia. La producción - promedio de 4 300 toneladas métricas de óxido molíbldico y 860 toneladas métricas de ferromolibdeno por año, en el período de 1970 a 1973, se ha incrementado a 5 680 toneladas métricas y - 1 004 toneladas respectivamente en 1974, y ha exportado a Europa (cerca del 50%), Japón (30%) y a otros países. Por consiguiente, cerca del 45% de la producción de molibdeno en Chile es convertida y exportada como óxido molíbldico y ferromolibdeno. El resto se exporta como concentrados de molibdenita. El óxido molíbldico chileno es, de acuerdo con la especificación - A 132-64 de la ASTM, un producto de grado B con un contenido - mínimo de 60% de molibdeno y con un máximo de impurezas de: -- 0.05% de azufre, 0.10% de carbono, 0.05% de fósforo, 1% de sílice, 0.35% de cobre, 0.01% de plomo y 0.01% de estaño.

El ferromolibdeno de Molytmet contiene 63% de molibdeno - y cantidades muy pequeñas de impurezas. Este producto se em-- barca principalmente a Europa (39%), Latinoamérica (27%), A--- frica (21%) y Japón (13%),

En 1975, Molytmet produjo y exportó cerca de 2 700 tonela das métricas de molibdeno contenido en forma de óxido molíbdico, 570 toneladas métricas de ferromolibdeno y 2 500 libras de renio.

En la tabla VI.4 se expresan las cantidades preliminares para la situación mundial de la oferta y la demanda.

T A B L A VI.4

SITUACION MUNDIAL DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN 1975
(expresada en toneladas métricas de molibdeno)

	Producción	Consumo	Balance
Estados Unidos	48,471	27,180	+ 21,291
Canadá	13.500	2,000	+ 11,500
Chile	9,092	92	+ 9,000
Unión Soviética	9,000	10,000	- 1,000
Europa	240	36,240	- 36,000
China	1,500	1,000	+ 500
Japón	500	10,500	- 10,000
Otros	800	1,800	- 1,000
Total	83,103	88,812	- 5,709

Estas cantidades indican que básicamente no existe un ex ceso, sino que por el contrario se tiene un déficit en la ofer

ta mundial de molibdeno y que las reservas existentes deben estar disminuyendo.

La recesión económica causada por la crisis del petróleo y la inestabilidad monetaria debido a el alza en los precios del petróleo, en lugar de tener efectos depresivos sobre los mercados del molibdeno por el contrario los promovió, debido a que el molibdeno se convirtió en un metal de aleación importante para la generación de energía y para la transportación de la misma. La reacción mundial al aumento en los precios del petróleo fue el desarrollo de fuentes de suministro propias en Alaska, Mar del Norte, Siberia y otros lugares; construcción de plantas nuevas de energía atómica y de gasificación e hidrogenación de carbón. En todos estos casos se necesitan materiales fabricados a base de molibdeno tales como componentes aleados para equipo de refinerías, tuberías y materiales que resisten los efectos negativos del sulfuro de hidrógeno sobre los aceros normales y catalizadores.

VI.6 COMERCIO DEL MOLIBDENO EN MEXICO

El panorama general en el comercio del molibdeno en México, durante los últimos años, puede establecerse de acuerdo a la tabla que se muestra en las siguientes hojas. Además, se adjuntan las gráficas correspondientes a la Producción Minero-metalúrgica y Consumo Aparente de Molibdeno en México durante los últimos años, expresados en volumen y en valor. Del análisis de dichas gráficas se observa que, en términos generales, el consumo aparente de molibdeno tiende a incrementarse. Puede observarse asimismo que la producción ha venido disminuyendo en los últimos años hasta alcanzar un volumen insignificante en el año de 1977.

VI.6.1 PRINCIPALES CONSUMIDORES DE MOLIBDENO EN MEXICO

El consumo reportado por los principales consumidores -- del país, es actualmente de alrededor de 544 toneladas por año y se espera que al estar el Proyecto Cumobabi en operación alcanzará un nivel de 800 toneladas anuales.

El principal consumidor de molibdeno en el país es la en

T A B L A

MEXICO :

Porciento de Autosuficiencia, Producción, Exportación, Importación y Consumo Aparente de Molibdeno. (Mo)

		Porciento de Autosuficiencia, (%)							
		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Volumen		99.9	19.6	15.2	7.3	4.2	55.4	2.6	0.14
Valor		99.1	31.0	25.2	12.5	8.6	50.3	3.5	0.17

Producción Minero-Metalúrgica en México, (Ton. , miles de pesos) .

		1970	1971	71/70 % inc	1972	72/71 % inc
Producción		141	79	-44.0	78	- 1.3
Valor		6 690	3 728	-44.3	3 697	- 0.8

		1973	73/72 % inc	1974	74/73	1975
Producción		41	-47.4	43	4.9	17
Valor		1 955	-47.1	2 234	14.3	1 168

		75/74 % inc	1976	76/75 % inc	1977	77/76 % inc
Producción		-60.5	16	- 5.9	1	-93.8
Valor		-47.7	1 188	1.7	163	-86.3

Exportación Minero-Metalúrgica de México. (Kg., pesos) .

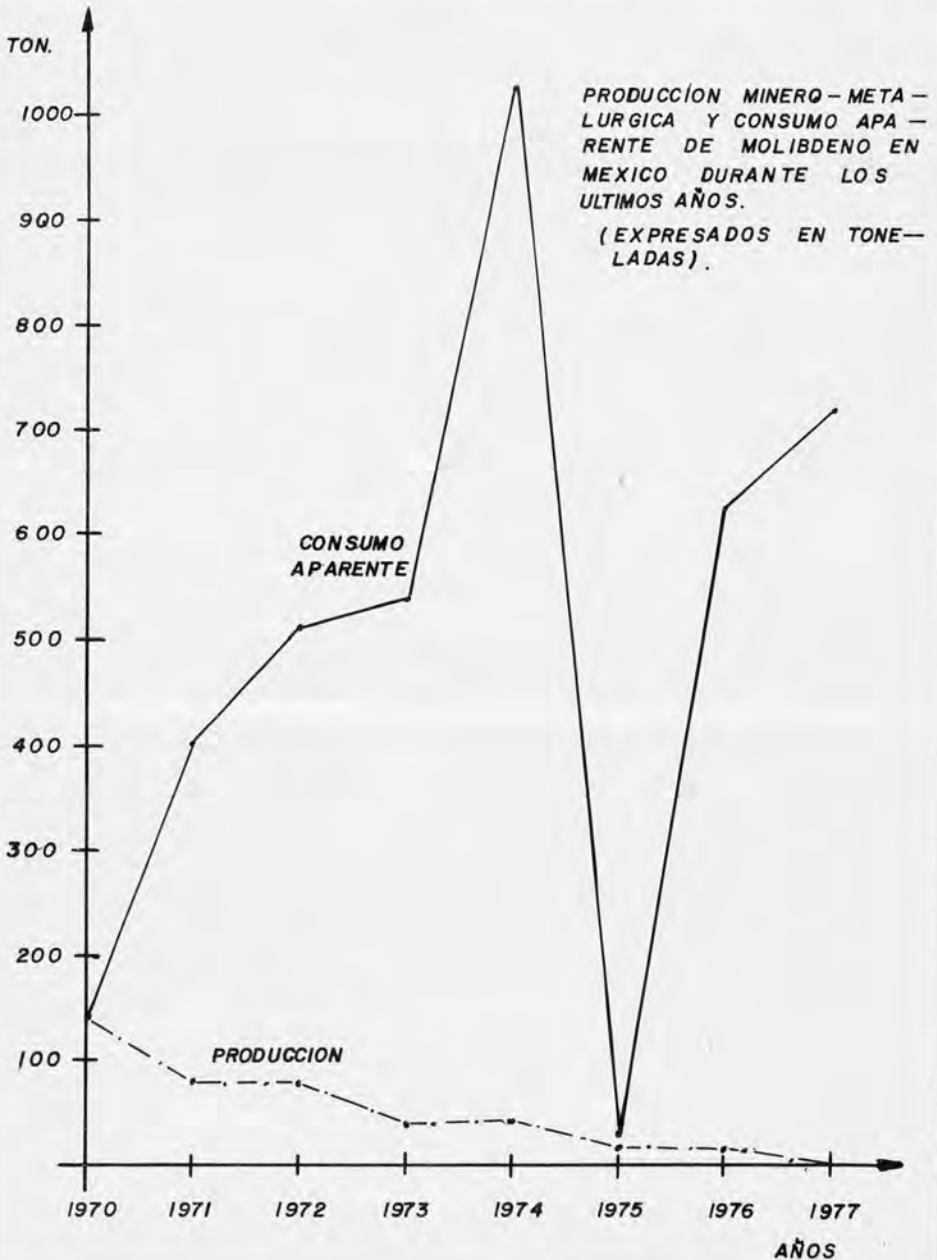
		1970	1971	71/70 % inc	72/76	1977
Volumen		208	3 433	1 550.5	-	91
Valor		9 682	40 822	321.6	-	81 732

Importación Minero-Metalúrgica de México, (Kg., pesos).

	1970	1971	71/70 % inc	1972	72/71 % inc
Volumen	412	326 597	79 171	433 781	32.8
Valor	68 424	8 326 792	12 069	10 991 157	32.0
	1973	73/72 % inc	1974	74/73 % inc	1975
Volumen	522 965	20.6	982 070	87.8	13 677
Valor	13 641 298	24.1	23 677 969	73.6	1 154 006
	75/74 % inc	1976	76/75 % inc	1977	77/76 % inc
Volumen	- 98.6	608 712	4 351	716 013	17.6
Valor	- 95.1	32 349 203	2 803	97 383 143	201.0

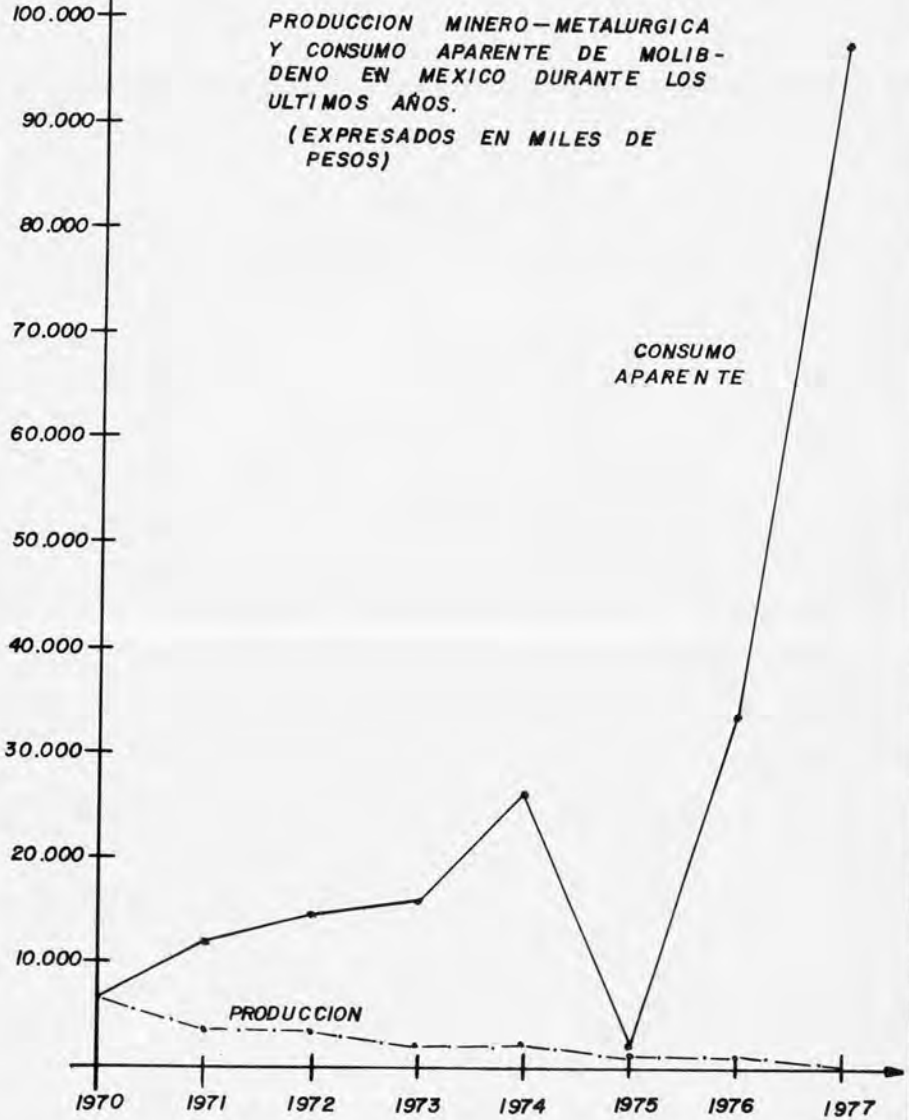
Consumo Aparente en México, (Kg., pesos) .

	1970	1971	71/70 % inc	1972	72/71 % inc
Volumen	141 204	402 164	184.8	511 781	27.3
Valor	6 748 742	12 013 970	78.8	14 688 157	22.3
	1973	73/72 % inc	1974	74/73 % inc	1975
Volumen	563 965	10.2	1 025 070	81.8	30 677
Valor	15 596 298	6.2	25 911 969	66.1	2 322 006
	75/74 % inc	1976	76/75 % inc	1977	77/76 % inc
Volumen	- 97.0	624 712	1 936	716 922	14.8
Valor	- 91.0	33 537 203	1 344	97 464 411	190.6



MILES DE PESOS

PRODUCCION MINERO-METALURGICA
Y CONSUMO APARENTE DE MOLIB-
DENO EN MEXICO DURANTE LOS
ULTIMOS AÑOS.
(EXPRESADOS EN MILES DE
PESOS)



AÑOS

presa Ferroaleaciones de México, localizada en Gómez Palacio, Dgo. siguiendole en orden decreciente: Tubos de Acero de México, S.A., Campos Hermanos, S.A., Aceros Solar, S.A., Fundidora de Aceros Tepeyac, S.A. Catalizadora Industrial, S.A. -- (Sn. N. Garza, N.L., Monterrey), Eutectic Mexicana, S.A. Otras compañías que consumen molibdeno son: Cristales Mexicanos, S. A., Vidriera Monterrey, S.A., y Proveedor Industrial MOSA, S. A. localizadas en Monterrey, N.L.; además de Contactos y Electrodo Mallory, S.A. y Electricidad y Química, S.A. localizadas en el Distrito Federal.

Existe en México una planta transformadora de concentrados a óxido de molibdeno, propiedad de Ferroaleaciones de México, S.A. (51% Fundidora de Monterrey, 49% Continental Ore Co.) situada en Gómez Palacio, Dgo. La capacidad actual de esta -- planta es de 400 toneladas por año y tiene en construcción un segundo horno Herreshoff para duplicar su capacidad.

Por otra parte, la producción de ferromolibdeno en el -- país durante los últimos años ha sido la siguiente:

PRODUCCION DE Fe-Mo, EXPRESADA EN TONELADAS

1972	1973	1974	1975	1976	1977
118	165	191	155	154	93

VI.6.2 ARANCELES PARA LA IMPORTACION DE MOLIBDENO EN MEXICO

A continuación se presentan las tarifas que rigen el comercio de importación de molibdeno en el país, de acuerdo a -- las fracciones arancelarias correspondientes a los diferentes productos.

Fracción	Nomenclatura	Unidad para la aplicación	Cuota ad valórem.
26-01A-006 ¹	Molibdenita (0-2-15)	----- Kg.B	Exenta
81-02A-001 ¹	En Bruto (0-15)	----- Kg.B	Exenta
28-47A-003	Molibdato de Sodio	----- Kg.L	10%
81-02A-999	Los demás (0-6-15)	----- Kg.B	15%

¹No causa la cuota adicional de 2% sobre el valor de la mercancía.

Es conveniente anotar que, el molibdeno importado en la mayor parte de los casos, se encuentra registrado bajo las dos primeras fracciones arancelarias anotadas anteriormente.

VI. 7 BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO VI

- 1.- U.S. Bureau of Mines' Yearbooks for 1970,1971,1972,1973, y 1974.
- 2.- Molybdenum chapters from U.S. Bureau of Mines' Mineral --- Facts and Problems. Editions 1970, 1975.
- 3.- Canadian Minerals' Yearbooks for 1972 and 1973.
- 4.- Chilean Copper in 1975. Corporación del Cobre, Santiago - 1975.
- 5.- Anuario de Minería de Chile. Ministry of Mining for 1970, 1971 and 1972.
- 6.- Canadian Mines Handbook. The Northern Miner, Toronto 1975.
- 7.- Annual Reports of AMAX, Kennecott, Duval, Noranda, Codelco Chile.
- 8.- Personal Communication with MoLynet.
- 9.- A. Sutulov. Molybdenum and Rhenium recovery from porphyry coppers Concepción 1970
- 10.- A. Sutulov. The Soviet Challenge in Base Metals, University of Utah, Salt Lake City, 1971.
- 11.- A. Sutulov. Mineral Resources and the Economy of the USSR. University of Utah, Salt Lake City, 1973.
- 12.- American Metal Market.
- 13.- Metals Week.
- 14.- Metal Bulletin.
- 15.- J.W. Both. Molybdenum Supply-Demand in 1975. E&MJ, March - 1976.
- 16.- Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, años 1970 a -- 1977, publicación del Consejo de Recursos Minerales.

- 17.- Tarifa del Impuesto General de Importación Tomo 1º, -
6ª Ed. 1975.
- 18.- Directorio de las Empresas Minero-metalúrgicas en Mé-
xico-Metálicos publicación del Consejo de Recursos Mi
nerales.
- 19.- Guía de los Mercados de México, Marynka Olizar 11^{ava}-
Ed. 1978-79.

CAPITULO VII

PESPECTIVAS DEL MOLIBDENO

En cierta ocasión, alguien dijo que el presente es hijo -- del pasado y padre del futuro. El propósito obvio de esta afirmación es que la vida tiene una conducta de desarrollo continua y que pocas cosas suceden fuera del contexto de cosas que normalmente conocemos. Esto es algo importante cuando se tiene -- que examinar el futuro y hacer predicciones en cuestiones que -- son difíciles de prever, y menos de predecir. Los desarrollos anteriores, no deben ser la única guía utilizable para hacer -- predicciones, debido a que pueden cambiar de manera similar a -- lo que sucede cuando se maneja un coche y de pronto se observar por el vidrio trasero. No obstante, existe algo de experiencia y realidad en que el pasado y el futuro no pueden estar completamente fuera del espacio de acción del pasado y el presente. -- Así es que, al menos, se tienen dos puntos de comparación que -- matemática y geoméricamente nos dan la dirección en este juego difícil. Pretender tener un "sistema" o "modelo" a este nivel de nuestro desarrollo y complejidad es un poco utópico e impracticable, hasta ahora.

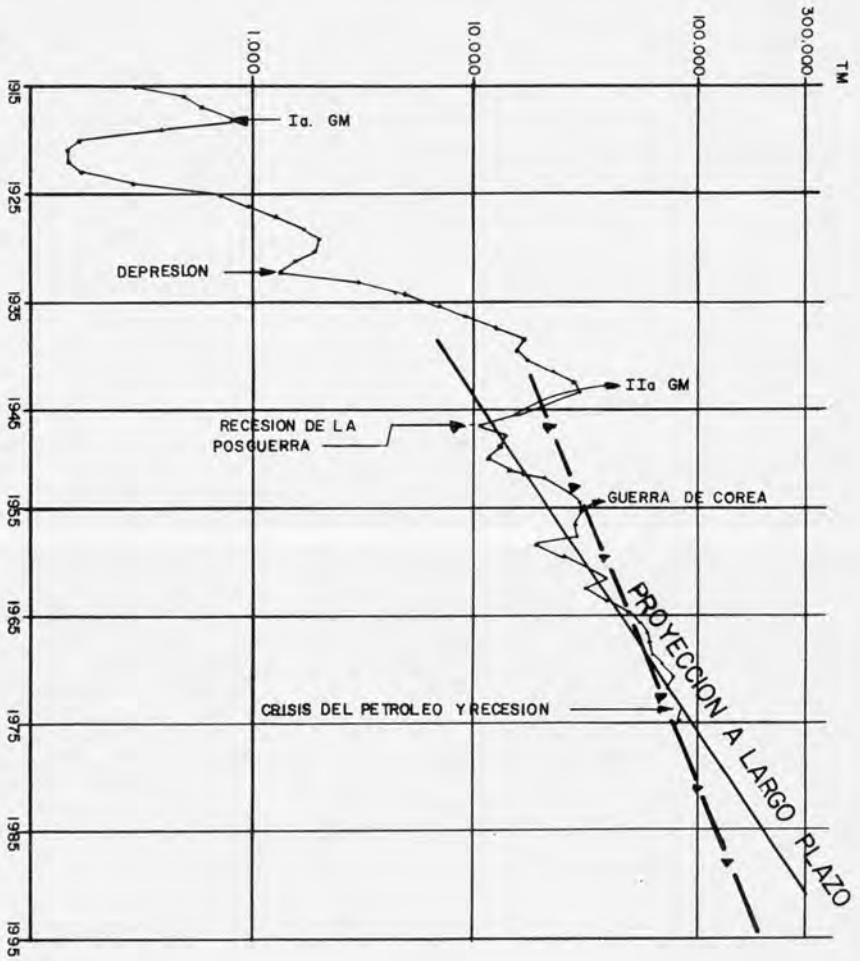
Con estos planteamientos en mente, podemos empezar nuestra discusión con el análisis del registro de la producción pasada. El diagrama IV.1 sugiere un desarrollo casi exponencial en la demanda y producción de molibdeno. Este diagrama se muestra -- más apropiadamente en una presentación semi-logarítmica de los datos a fin de obtener apreciaciones más delicadas de las pendientes. Esto se ha realizado en el diagrama VII.1 él cual -- muestra el desarrollo histórico de la producción y demanda de molibdeno desde la Primera Guerra Mundial.

Es obvio que debido al desarrollo relativamente bajo de este metal en las primeras décadas de sus aplicaciones industriales, las estadísticas para molibdeno de aquel período tienen poco impacto en nuestras consideraciones presentes. O, al menos, el período comprendido entre 1915 y 1945 debe ser analizado separadamente.

La tendencia conveniente del crecimiento, sin embargo, la cual directamente dirige a nuestras altas tasas actuales de producción y consumo, empieza inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, es decir, de 1946 a la fecha.

Puede observarse que en los últimos 30 años, de 1946 a ---

FIGURA VII. I PROYECCION A LARGO PLAZO PARA LA PRODUCCION Y LA DEMANDA DE MOLIBDENO



a 1976, la producción y el consumo de molibdeno han crecido 10 veces, de 10 000 toneladas métricas por año hasta 100 000 toneladas métricas por año. En forma más precisa, si tomamos los datos reales de producción, los cuales eran de 10 863 toneladas métricas en 1946 y fueron de 85 579 en 1974, podemos observar que en un período de 28 años, la producción se elevó aproximadamente 8 veces, es decir, se duplicó tres veces consecutivamente: de 10 800 a 21 600 toneladas métricas, de 21 600 se duplicó a 43 200 y después, otra vez hasta 85 500 toneladas métricas. Esto implica por consiguiente una tasa de crecimiento acumulada de cerca del 7% durante las tres últimas décadas.

Proyectando este crecimiento a futuro y empezando con una producción total de 80 000 toneladas métricas en 1975, podemos esperar una producción de 160 000 toneladas métricas para 1985, 320 000 toneladas métricas en 1995 y sin duda sobre 400 000 toneladas métricas para el año 2 000 .

Tal crecimiento excesivo en la demanda de molibdeno requerirá no sólo de recursos de molibdeno adecuados sino que, también, de la fuerza y dinámica total de nuestra economía como sucedió en los años de la posguerra, especialmente en los 60's, cuando la prosperidad económica estaba asociada con las tasas de desarrollo sin precedentes y con pequeñas aunque detestables guerras.

Desde un punto de vista más balanceado, sería realista reconocer que el descenso en la posguerra y el nivel mínimo en la demanda de molibdeno es un punto inicial de poco valor para evaluar realísticamente nuestras necesidades de molibdeno a largo plazo. Realmente el hecho es que durante la guerra se alcanzó una capacidad de producción de casi 32 000 toneladas métricas por año, lo cual indica que bajo circunstancias muy especiales, la demanda de molibdeno de los días de la posguerra podía ser tres veces mayor, si existían las condiciones adecuadas, y que el progreso relativo en tres décadas es en realidad exagerado cuando se considera el punto más bajo de este período como el inicio.

Por consiguiente, tomando una demanda promedio de 21 000 toneladas métricas por año durante la guerra, lo cual coincide

con la demanda mundial de molibdeno en 1944, podemos decir que de 1944 a 1974, la demanda no ha aumentado 8 veces, sino realmente sólo 4 veces, así es que el crecimiento acumulado fué del 4.5% anual en lugar del 7%. Esta alternativa se representa en el diagrama VII. 1, por la línea punteada y sus proyecciones para 1985 y el año 2 000 dan cantidades para producción y demanda de 135 000 toneladas métricas para 1985 y cerca de 270 000 toneladas métricas por año en el año 2 000. Esta demanda implica incidentalmente, el consumo completo de nuestras reservas conocidas de molibdeno, las cuales se mantienen actualmente en -- cerca de 8 000 000 a 9 000 000 de toneladas métricas y requieren de un desarrollo dinámico de nuestras reservas identificadas.

Podemos considerar, por consiguiente, que una estimación más conservadora, basada en un crecimiento anual del 4.5% será un acercamiento más realista para predicción a largo plazo, --- puesto que de esta forma se absorben ciertas situaciones tales como la recesión actual, causada por la crisis del petróleo y las dificultades en el sistema monetario internacional. Por otra parte, los usos pacíficos en lugar de los militares han provocado un mayor crecimiento en la demanda de molibdeno, debido a que en esta época nuclear, a quién puede convenirle una nueva guerra o incluso conflictos militares peligrosos que pueden llevar a dicha guerra?

Por otra parte, es obvio, que en un futuro próximo, los Estados Unidos, como principal productor y consumidor de molibdeno, tendrán un fuerte impacto en la situación de la oferta y la demanda de molibdeno. Como se ha indicado anteriormente, los Estados Unidos ya consumen y producen, el 40% y 60% respectivamente de la producción mundial de molibdeno. De acuerdo con el U. S. Bureau of Mines, esta situación podría cambiar muy pronto: la producción primaria de los Estados Unidos ha experimentado una ayuda fuerte con el inicio de operación en Henderson, por lo cual los Estados Unidos producirán aproximadamente 2/3 de la producción mundial en las próximas décadas. Por otra parte, la demanda actual de 35 000 toneladas métricas por año crecerá a -- cerca de 50 000 toneladas métricas por año en 1985 y alrededor de 86 000 toneladas métricas por año en el año 2 000. En otras palabras, los Estados Unidos en el año 2 000, consumirán aproximadamente

madamente la misma cantidad de molibdeno que se consume actualmente en todo el mundo. Aún cuando, esta cantidad será sólo el 32% de la producción mundial en el año 2 000 .

Estas estadísticas implican que, progresivamente, se consumirá más molibdeno en los países menos desarrollados, los cuales tienen que compensar la diferencia en los vacíos existentes en infraestructuras, construcción y otros desarrollos tecnológicos para lo cual el molibdeno es un componente esencial. Existirá, en primer lugar, una expansión a nivel mundial en el transporte y las comunicaciones, incluyendo todo tipo de medios clásicos, tales como ferrocarril, automóvil y camiones y otros equipos como son aviones-jets, cohetes para exploración espacial, los cuales no se fabrican exactamente para transportación pero que caen en la misma categoría de consumidores de molibdeno. Además, por supuesto, habrá una gran expansión de las industrias de extracción, procesamiento de alimentos, petrolera y otras, dicha expansión seguirá el crecimiento demográfico, que actualmente tiene una tasa promedio del 2% anual. De tal forma que esto evite déficits de materias primas, comida, combustibles y muchos otros productos. El molibdeno juega una parte importante en aceros y aleaciones que forman parte de la maquinaria, equipo y estructuras utilizadas en éstas plantas, debido a sus propiedades características.

Si sólo extrapolamos la tasa per capita promedio presente para el consumo en 1974 hasta el año 2 000, entonces debido al puro crecimiento de la población, la demanda de molibdeno deberá crecer a 160 000 toneladas métricas por año. Cualquier mejoramiento en nuestros estándares de vida, en las zonas desarrolladas o subdesarrolladas, etc., aumentará considerablemente esta demanda. Por ejemplo, los industrializados, que corresponden a sólo el 30% de la población mundial, consumen actualmente más del 94% de la producción mundial de molibdeno, mientras que el resto del mundo satisface sus necesidades con tan sólo el 6% del molibdeno disponible. Si los países subdesarrollados, alcanzan para el año 2 000 un nivel de civilización que signifique sólo una proporción de consumo de molibdeno del 20% (1/5) - del que, en base per capita, consumen los países desarrollados actualmente, se requerirá de 110 000 toneladas métricas de molibdeno por año adicionales sólo por este concepto.

Todos estos datos ilustran que no estamos lejos de la realidad cuando consideramos un consumo de 270 000 toneladas/año para el año 2 000. Esto, realmente excluyendo cualquier adelanto tecnológico importante o algún cambio económico significativo.

El progreso de nuestra civilización, relacionado con la industria y la tecnología, está estrechamente asociado con la disponibilidad de materiales siempre mejores y más sofisticados. - Algunas ideas y procesos tenían que esperar varios años hasta que se desarrollaron los materiales adecuados. Muchos de estos problemas están conectados con las temperaturas altas, desgaste por corrosión, materiales con baja resistencia a elevadas temperaturas, y algunas otras características para las cuales el molibdeno tiene unas propiedades extraordinarias. Existe poca duda de que debido a éstas razones específicas, la demanda de molibdeno se incrementa en el futuro puesto que existirían más y mejores materiales de molibdeno desarrollados para los usos más amplios y cotidianos. Nuestro mundo está destinado a hacerse más mecanizado, más automatizado y más móvil. Esto provocará la necesidad de más materiales y un consumo de energía más intenso. En todos estos aspectos, existirá una gran demanda para el molibdeno.

Europa Occidental, que consume actualmente entre 40 y 45% de la oferta mundial de molibdeno, junto con Japón, que consume otro 12 a 15% del consumo, están consumiendo en una gran proporción todo el molibdeno para sus propias necesidades, y también para fabricar materiales y productos que exportan, los cuales requieren de un cierto porcentaje de contenido de molibdeno. - Todos los coches, aviones, máquinas de ferrocarril y equipo, maquinaria industrial, plantas, etc. requieren de aceros y aleaciones que contienen cantidades importantes de molibdeno. Además de, las industrias petrolera y del gas, refinerías petroleras y plantas químicas, tuberías y productos tales como catalizadores, pigmentos, etc., las cuales están creciendo aceleradamente para satisfacer la continua demanda de dichos productos, lo cual indica simultáneamente usos adicionales de determinadas libras de molibdeno por tonelada de máquinas, instalaciones y productos.

Las otras razones que existen para justificar el gran con-

sumo de molibdeno esperado son: el molibdeno no es un material-fácilmente recuperable para recircularse y además no es un material o aleación que pueda ser fácilmente substituído. Hasta --ahora, se ha hecho relativamente poco para recuperar productos-de molibdeno por recirculación y es ampliamente conocido el hecho de que gran parte del molibdeno se pierde en tales intentos.

Por otra parte, los intentos de substitución nunca fueron-muy atractivos económicamente. El mejor reemplazante para el -molibdeno es el tungsteno, pero es más caro y difícil de trabajar. También existen metales como tantalio, cromo, manganeso y boro, los cuales pueden reemplazar al molibdeno en algunos ace-ros, pero que nunca han demostrado muchas de las ventajas del -molibdeno y que a la larga resultan más caros y menos seguros.- Esto hace la substitución del molibdeno bastante difícil. El -molibdeno es un material con la gran ventaja de encontrarse ---siempre disponible a un precio estable.

Se cree que este abastecimiento de molibdeno relativamente seguro, basado en función de los recursos, su solidez en los -mercados y el desarrollo de nuevas aplicaciones, son la garan--tía de que después de 200 años de existencia como substancia --identificada, el molibdeno pueda mirar con confianza su futuro-en este mundo altamente complejo y dinámicamente desarrollado.

Finalmente, con respecto al bloque comunista, pueden realizarse las siguientes observaciones generales: La Unión Soviética, con su producción anual de molibdeno estimada en 8 000 a --9 000 toneladas métricas, realmente no se encuentra en una posición de exceso ni puede exportar este material a sus aliados. - Si consideramos que los tres líderes mundiales productores de -acero, los Estados Unidos, la Unión Soviética y Japón, están en el mismo rango y tasa de producción, parecería que los rusos se encuentran en la parte inferior en lo que respecta a usos del -molibdeno. Mientras que los Estados Unidos consumen aproximadamente 35 000 toneladas métricas por año. Japón está consumien-do cerca de 12 000 toneladas métricas por año y Rusia sólo ---8 000 a 9 000 toneladas métricas por año. Esto explica las ne-cesidades soviéticas para materiales de alta calidad, los cua--les son importados en forma directa o indirecta, tales como maquinaria y equipo. Por la misma razón, los países del bloque -

comunista, tales como Alemania Oriental, Checoslovaquia, Polonia y otros pagan precios altos por estos abastos estratégicos. Por consiguiente, parece obligatorio que el progreso adicional y el desarrollo técnico en el Este requerirán de una búsqueda más activa y exitosa de molibdeno. En este sentido existen potencialidades significativas de cobres porfídicos en Yugoslavia, Bulgaria y Rumania y, en especial, un pórfido de molibdeno gran de localizado en Machkatica, Yugoslavia.

Con respecto a China, Corea, Vietnam y otros países comunistas de oriente, la situación es menos presionante, en primer lugar debido al estado de desarrollo relativamente bajo de sus economías, con un nivel en la producción de acero relativamente bajo y, en seguida, debido a la existencia de recursos considerables de molibdeno y tungsteno. A pesar de eso, la tasa acelerada de desarrollo que se espera desde ahora hasta fines de siglo requerirá más que incrementos promedio en la producción de molibdeno en aquella parte del mundo.

Esta difícil situación con los abastos de molibdeno que -- existe como un fenómeno general en Europa Oriental y en general en el mundo comunista, fue aliviada por la liberación del comercio oriental-occidental, que permitió a los comunistas obtener virtualmente todos los materiales de los cuales tienen déficit. Esto es además a un precio determinado y, por consiguiente, no puede ser considerado como una política permanente.

En vista de esto, y con economías planeadas tal como sucede en aquella parte del mundo, debe esperarse que dentro de -- unas cuantas décadas se alcance una autosuficiencia práctica en este asunto. Puede postularse, entonces, que para fines de siglo los países del bloque comunista incrementaran su producción actual de, 10 500 toneladas métricas por año a por lo menos --- 40 000 a 50 000 toneladas métricas por año para el año 2 000. - Esto es obligatorio tanto desde el punto de vista económico y - de las consideraciones estratégicas. A fin de alcanzar niveles aceptables de vida y abastecimiento, los países comunistas deben incrementar drásticamente su producción de acero, consumo de energía y disponibilidad de materiales. Todos estos sectores son fuertes consumidores de molibdeno. Por ejemplo, el déficit presente de molibdeno en la Unión Soviética y los países del mundo comunista es debido principalmente a los desarrollos ambiciosos de petróleo y gas natural a gran escala en la parte

norte de Siberia y a la construcción de tuberías en climas hostiles para la transportación de dichos recursos, tanto en el caso de los consumidores asiáticos como para los europeos. Por otra parte, el mantenimiento de la igualdad con la potencia militar occidental, los cambios constantes y el progreso en materiales y armamento militar, requieren siempre de abastecimientos crecientes de molibdeno. Pero, mientras que los ductos para tuberías pueden ser importados y cargados a la cuota occidental de consumo de molibdeno, el equipo militar y los accesorios deben tener abastos disponibles localmente. Similarmente, la construcción de una fábrica de camiones grande en el río Kama (KAMAZ) utilizando equipo y tecnología occidental no es una experiencia que pueda ser repetida indefinidamente si continúa la tensión política. Esto hace al problema del molibdeno una cuestión de importancia estratégica considerable y en un contexto de desequilibrio básico en recursos, de preocupación considerable para el mundo comunista.

CONCLUSIONES

En base a lo expuesto, puede considerarse que:

México es un país con gran potencialidad en pórfidos de cobre y por consiguiente con una posibilidad importante para la recuperación de molibdeno como subproducto. Esto es parte de los pequeños yacimientos tipo stockwork que han sido explotados en el pasado en México.

Por lo que respecta a la tecnología de la producción de molibdeno se observa que, no se requiere de procesos sofisticados tanto para la obtención del concentrado de molibdenita como para la conversión a trióxido de molibdeno.

Por otra parte, las posibilidades que ofrece el mercado nacional e internacional para la comercialización del molibdeno, sugieren definitivamente el desarrollo y explotación de los yacimientos de este mineral con una ley que la haga rentable desde el punto de vista económico.

Finalmente, considerando que México tiene una producción de acero superior a 6 500 000 Ton/año y que en los últimos años se ha convertido en un consumidor importante de productos de molibdeno, principalmente de trióxido de molibdeno y ferromolibdeno (el consumo de molibdeno se ha incrementado de 80 - 100 Ton/año en los 60's a más de 250 Ton/año en los 70's y se ha proyectado que alcanzará cerca de 800 Ton/año para 1985), es imperativo señalar la importancia que para el país tiene el desarrollo y operación adecuados de los recursos y proyectos que se trabajan actualmente. Dicha cuestión se refleja en el hecho de que - si todo marcha correctamente -, México pasará en los próximos años de ser un importador neto a un exportador neto de productos de molibdeno.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

Molybdenum and Rhenium 1978-1977
A. Sutulov Concepción, Chile 1976
University of Concepción.

International Molybdenum Encyclopaedia 1778-1978
Volume I: Resources and Production
Edited by Alexander Sutulov, Santiago de Chile 1978.
Intermet Publications.

Metallurgy of Rare Metals
Chapter II Molybdenum
A.N. Zelikman, O.E. Krein and G.V. Samsonov.
Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1966.

A Dictionary of Mining Mineral, and Related Term
Published by Bureau of Mines 1968.



Tesis por computadora
único sistema en el país

URGENTES

Arquitectura No. 49 Local B
Tel. 548-36-02 Ciudad Universitaria