

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ANALISIS TECNICO-ECONOMICO PARA LA POSIBLE INSTALACION
DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE FERRO-MOLIBDENO EN MEXICO"



QUIMICA

HANS FICHTNER STEENBOCK

INGENIERIA QUIMICA

1968



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

Hans Fichtner Steenbock

1968

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE
SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE : Prof. ENRIQUE RANGEL TREVIÑO
VOCAL : Prof. EDUARDO ROJO y de REGIL
SECRETARIO : Prof. KURT HERMANN NADLER G.
1er. SUPLENTE: Prof. ABEL J. NAVARRO MORALES
2do. SUPLENTE: Prof. EDMUNDO PEREZ PAREDES

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

FACULTAD DE QUIMICA (UNAM)

NOMBRE COMPLETO DEL SUSTENTANTE:

HANS FICHTNER STEENBOCK

FIRMA: _____

NOMBRE COMPLETO DEL ASESOR DEL TEMA:

KURT HERMANN NADLER GUNDELSHEIMER

FIRMA: _____

S U M A R I O

	Página
INTRODUCCION	1
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	2
GENERALIDADES	6
EL MOLIBDENO	11
ANALISIS DE MERCADO	30
ESTUDIO Y ABASTECIMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS	54
ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE FABRICACION	71
COMPARACION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION	94
SELECCION DEL PROCESO MAS ADECUADO	96
POSIBLE LOCALIZACION DE LA PLANTA	97
ESTUDIO, SELECCION Y COSTO DEL EQUIPO DE PROCESO	98
ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO	102
ANEXOS	112
BIBLIOGRAFIA	118

I N T R O D U C C I O N

Siendo México un país en pleno desarrollo industrial, es de vital importancia para su economía evitar la exportación de sus materias primas y la importación de productos de alto valor agregado, instalando industrias productoras de artículos elaborados y que operen como una empresa económicamente rentable. Muchos artículos no han sido producidos en el país no por una falta de tecnología o de capital, sino debido a un desconocimiento del mercado interno principalmente. Este es el caso del ferromolibdeno, cuya producción es considerada por la Sría. de Industria y Comercio como deficiente, tanto en calidad como en cantidad, pues los minerales de molibdeno no son explotados productivamente, se exportan casi en su totalidad y vuelven a ser importados en forma de una ferroaleación.

Es el objeto de esta tesis estudiar las posibilidades para instalar una planta productora de ferromolibdeno en México, tanto desde el punto de vista del mercado existente como de la tecnología empleada para su producción y su rentabilidad. El producto deberá satisfacer el mercado nacional y su demanda futura y deberá poder competir internacionalmente, tanto en calidad como en precio, para dar al país independencia en el abastecimiento de este producto aprovechando sus recursos naturales y prestigio industrial en el mundo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

GENERALIDADES.

El ferromolibdeno es una ferroaleación que se emplea principalmente como aleante en la industria siderúrgica.

EL MOLIBDENO.

Es un metal refractario de elevado punto de fusión y densidad y se emplea principalmente como aleante en la producción de aleaciones ferrosas y no ferrosas. Es considerado como un metal estratégico.

ANALISIS DE MERCADO.

El consumo actual de ferromolibdeno en México y su tendencia hacen posible la instalación de una planta productora de ferromolibdeno en México (240 toneladas de ferromolibdeno anuales).

La demanda del producto ha sido cubierta en su totalidad por medio de importaciones.

El costo del producto puesto en planta (México) varía entre \$ 70.- y \$ 120.-/Kg de ferromolibdeno (70 - 300 % mayor que el precio fijado internacionalmente).

Se planea producir ferromolibdeno de la mejor calidad posible, al mínimo costo y en cantidad suficiente para cubrir la demanda actual y futura (5 años) del país. La venta del producto en México queda asegurada, pues se ofrecerá a un precio menor que el costo del producto importado y se reducirán los tiempos de entrega que en el producto importado llegan a ser hasta de 14

meses.

Se recomienda exigir un control gubernamental que evite la importación de ferromolibdeno en México, siempre y cuando el producto exista en cantidad suficiente y en la calidad adecuada.

ABASTECIMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS.

La disponibilidad de la materia prima (minerales de molibdeno) es el factor limitante para la producción de la ferroaleación. En México el abastecimiento de la materia prima (molibdenita) no es constante ni uniforme. Existen las suficientes reservas en el país, pues se han llegado a producir más de 1,800 toneladas anuales de minerales de molibdeno (1943), pero desde 1954 rara vez se producen más de 100 toneladas anuales. Los minerales se exportan casi en su totalidad.

Es recomendable dar un impulso a la producción minero-metalúrgica de minerales de molibdeno en el país para que se inicie la explotación de yacimientos de molibdeno de baja ley, para asegurar una entrega constante y uniforme de la materia prima. Nuevamente por medio de un control gubernamental deberá evitarse la exportación de minerales de molibdeno más aún tratándose en el caso del molibdeno de un metal estratégico.

PROCESOS DE FABRICACION.

El mineral de molibdeno se calcina para obtener MoO_3 el cual se reduce a ferromolibdeno por alguno de los siguientes procesos:

a) Reducción en horno eléctrico de arco.

b) Reducción silico-aluminotérmica.

De los procesos anteriores el segundo presenta mayor número de ventajas para la fabricación de ferromolibdeno, pero en ambos se presenta la dificultad en el ajuste de las condiciones de operación para obtener rendimientos que hagan rentable su producción (principalmente en el proceso de calcinación).

SELECCION DEL PROCESO DE FABRICACION.

El proceso más adecuado para la fabricación de ferromolibdeno en México es el de reducción silico-aluminotérmica.

Se recomienda adquirir inicialmente una tecnología en el extranjero por medio de un pago único de 200,000.- Pesos aprox. para facilitar la determinación de las condiciones óptimas de operación y poder obtener el mejor rendimiento evitando gastos de investigación inútiles, debido a que el costo de la materia prima es muy elevado.

LOCALIZACION DE LA PLANTA.

Se recomienda instalar la planta en alguna de las zonas industriales del Valle de México.

SELECCION Y COSTO DEL EQUIPO.

La capacidad del equipo deberá poder satisfacer la demanda del producto actual y futura (mín. 5 años). La inversión en el equipo es de \$ 414,000.- (no se incluye equipo auxiliar e instalación).

ANALISIS ECONOMICO.

El precio de venta del producto se fijará en \$ 70.-/Kg Fe-Mo (60 %) (mínimo costo del producto importado puesto en México).

El total de la inversión fija será de \$ 884,000.-; el capital de trabajo de \$ 2,025,058.- y la inversión total de \$ 2,909,058.-.

Considerando que las ventas mensuales son de 20 toneladas de ferromolibdeno mensuales se ha calculado una rentabilidad del 87.9 % sobre la inversión total y un tiempo de recuperación de la inversión de 399 días.

No es posible competir con el precio fijado internacionalmente (\$ 41.20/Kg Fe-Mo (60 %)).

El mínimo precio de venta que se podrá fijar para que la ganancia neta sea nula es de \$ 47.97/Kg Fe-Mo (60 %).

Es recomendable planear la diversificación de la producción, elaborando otras ferroaleaciones por el proceso silico-alumino-térmico.

GENERALIDADES

LAS FERROALEACIONES.

Aspectos generales:

Una aleación es una mezcla homogénea producida al fundir dos o más metales, que al enfriarse puede presentar alguna de las siguientes formas:

- a) Los componentes cristalizan por separado, de manera que la aleación es una mezcla de cristales de los componentes puros.
- b) Los metales permanecen completamente disueltos uno en otro en el estado sólido, formando una solución sólida o cristales mixtos (los átomos de uno de los componentes se encuentran en la red cristalina del otro).
- c) Los componentes metálicos forman una mezcla homogénea, siendo imposible descubrir una separación de fases en el estado sólido debido a la semejanza en su estructura cristalina, formando compuestos definidos (Ej. las ferroaleaciones).

Una ferroaleación es por lo tanto una mezcla homogénea de fierro y cualquier otro elemento excepto el carbono. Se usan en la industria siderúrgica como desoxidantes y eliminadores de nitrógeno o como aleantes, formando carburos o soluciones sólidas. Las ferroaleaciones son muy quebradizas por lo que no tienen otras aplicaciones.

Las ferroaleaciones son la fuente más económica para la producción de ciertos metales empleados en la industria siderúrgica, principalmente de aquellos difíciles de reducir de sus minerales

debido a su elevado costo de producción (Mo, V, Ti, W y Si).

Además presentan las siguientes ventajas:

- Tienen puntos de fusión mucho menores que el metal diferente del fierro en su estado puro.
- El fierro protege al aleante, que en su contenido debe ser lo más elevado posible, contra la oxidación.
- Se obtienen rendimientos más elevados al alearlos en el acero.

Las ferroaleaciones se producen en la actualidad en altos hornos, hornos eléctricos o por reacciones silico-aluminotérmicas, dependiendo de la ferroaleación que se desee elaborar.

Las ferroaleaciones se pueden adicionar al fierro o al acero en los hornos, en las ollas de vaciada o en las lingoteras. El momento de la adición se determinará tomando en cuenta los siguientes factores:

- a) El objeto de la adición (aleante o desoxidante).
- b) Que la homogenización de la ferroaleación en el material fundido sea completa.
- c) Que en caso de aplicarse como aleante y la ferroaleación se oxide con facilidad, el material fundido debe haber sido desoxidado previamente o la adición debe protegerse con una desoxidación simultánea (bloqueo).

Para evitar un enfriamiento brusco del baño fundido en la adición, la ferroaleación puede precalentarse. Las ferroaleaciones no deben degradarse durante su almacenamiento y deben ser del tamaño

y densidad adecuada para penetrar y mezclarse fácilmente con el material fundido.

Nomenclatura:

Como en las ferroaleaciones no se trata de un compuesto sino de una mezcla, no existe una nomenclatura como en los compuestos químicos, pero se ha adoptado la siguiente forma: Fe-X, donde X será el símbolo del elemento aleado al fierro.

EL FERROMOLIBDENO.

Es una ferroaleación que contiene de 55 - 75 % de molibdeno. Se usa como aleante en la industria siderúrgica y en la metalurgia de polvos para la producción de aleaciones sinterizadas tales como "stellites" y materiales magnéticos aleados con cobalto.

El Fe-Mo tiene un punto de fusión mucho menor que el molibdeno metálico puro y su producción resulta mucho más económica. El fierro protege al molibdeno contra la oxidación y evita la volatilidad del óxido formado (MoO_3).

Antecedentes históricos:

Las ferroaleaciones se produjeron por primera vez en el año de 1860 reduciendo minerales metálicos en crisoles y obteniendo productos de mala calidad, ya que no se alcanzaban los puntos de fusión de las mezclas. Hasta 1890 no fue posible la fusión de minerales de molibdeno, pero aplicando el horno eléctrico de arco desarrollado por Herould se alcanzaron por primera vez las temperaturas de fusión de las ferroaleaciones haciendo posible

su producción. En el año 1900 Francia reportó la primera producción de Fe-Mo en escala comercial. Se trataba de una aleación reducida con carbono en el horno eléctrico de arco y el producto contenía un elevado porcentaje de carbono. Pero como hasta antes de la Primera Guerra Mundial no se conocían aplicaciones industriales del molibdeno, su producción en forma de Fe-Mo fue muy reducida. Su demanda aumentó durante dicha guerra debido a que el molibdeno se usaba en aceros para blindaje. Los minerales de molibdeno conocidos en aquel entonces eran la molibdenita (MoS_2) y la wulfenita (PbMoO_4) y como no se podía eliminar el azufre (elemento muy perjudicial en el acero) del Fe-Mo, solo se podía partir de la wulfenita (mineral muy escaso) para su producción. La gran demanda de Fe-Mo hacia fines de la guerra obligó a recurrir nuevamente a la molibdenita, tratándose de eliminar el azufre con fusiones básicas repetidas, lo que hacía el proceso de reducción muy anti-económico. No fue sino hasta 1920 en que se eliminó el azufre de la molibdenita por calcinación, siendo la nueva materia prima MoO_3 .

En 1910 H. Goldschmidt desarrolló la reducción de minerales metálicos por el proceso aluminotérmico para producir ferroaleaciones casi libres de carbono, empleando aluminio metálico y sin consumo de energía eléctrica. En 1920 se aplicó este proceso a la producción de Fe-Mo y en años posteriores se sustituyó gran parte del aluminio con Fe-Si para disminuir la violencia de la reacción de reducción.

Este proceso silico-aluminotérmico es el que se emplea en la actualidad para producir 90 % del Fe-Mo en el mundo.

Estado natural:

El Fe-Mo no se encuentra en estado natural.

Fuentes de obtención:

El molibdeno se obtiene directamente de sus minerales o como coproducto en la producción minero-metalúrgica de cobre de baja ley. Los minerales se concentran por flotación.

Procesos de fabricación:

El mineral concentrado se calcina formando MoO_3 , el cual se reduce a Fe-Mo por alguno de los siguientes métodos:

- a) Por fusión en el horno eléctrico de arco.
- b) Por reacciones silico-aluminotérmicas.

Aspectos comerciales en México:

El Fe-Mo consumido en México ha sido importado. Se han efectuado intentos de producción en el país, pero no se ha logrado un producto que cumpla las especificaciones de calidad requeridas.

Aspectos técnicos de la producción de Fe-Mo en México:

Los intentos de producción efectuados en México se hicieron por el proceso de reducción en horno eléctrico de arco, obteniéndose un producto con contenido de carbono demasiado elevado. Actualmente se estudia la posibilidad de producir Fe-Mo por el proceso de reducción silico-aluminotérmico.

E L M O L I B D E N O

ASPECTOS GENERALES.

El molibdeno es un elemento metálico considerado como uno de los metales refractarios más importantes. Es un elemento de transición y por lo tanto es de alta densidad, punto de fusión elevado y de baja presión de vapor, lo que es debido a la elevada cohesión entre sus átomos en el estado metálico, lo que además le proporciona facilidad para formar ligas metálicas (Ej. Fe-Mo)

HISTORIA.

La palabra "molibdeno", que en griego significa plomo, asociaba compuestos de plomo y molibdeno así como al grafito debido a su semejanza en el aspecto. En el siglo XVII se encontró que la molibdenita y el grafito no contenían plomo y en 1778 K.W. Scheele identificó a la molibdenita como un sulfuro de un nuevo elemento, produciendo el óxido de molibdeno al calentar el sulfuro. En 1782 P.J. Hjelm obtuvo por primera vez el molibdeno metálico en forma de polvo reduciendo el MoO_3 con carbono. En 1893 Moissan obtuvo el molibdeno metálico sólido efectuando la reducción en un horno eléctrico de arco, resultando el producto con una pureza del 92 al 96 %.

La presencia del molibdeno en los aceros, su principal aplicación, fue durante mucho tiempo meramente accidental. La falta

de conocimientos con respecto al efecto que produce este elemento en los aceros y otras aleaciones, así como la dependencia de pequeños depósitos de minerales de molibdeno, retardaron el uso de este metal hasta años comparativamente muy recientes.

El molibdeno fue agregado por primera vez al acero en 1901 pero no adquirió importancia sino hasta la Primera Guerra Mundial. En esa época se usó como sustituto del wolframio (muy escaso) y se vió que agregado al acero mejoraba su templeabilidad y su resistencia al impacto, por lo que fue muy usado en aceros para blindaje. Durante la Segunda Guerra Mundial los aceros que contenían molibdeno tuvieron tal demanda para armamentos y blindajes que la producción de molibdeno no pudo hacerle frente, produciéndose una situación crítica, la cual condujo a que el molibdeno se considere como metal estratégico.

El hecho que los Estados Unidos sean prácticamente autosuficientes en el abastecimiento del molibdeno, produjo que en este país se pusiera principal atención en la investigación de los efectos que produce el molibdeno en los aceros con el objeto de sustituir otros aleantes muy escasos durante la guerra (Cr, Ni, W y Ti), lo que tuvo como consecuencia que en los últimos 25 años el desarrollo de los usos y aplicaciones de este metal fuera muy acelerado. El molibdeno se considera hoy entre los 4 aleantes más importantes del acero.

Además de la industria siderúrgica el molibdeno ha encontrado muchos otros campos para su aplicación.

ESTADO NATURAL.

El molibdeno se encuentra aproximadamente en igual abundancia que el plomo en la corteza terrestre. No se encuentra nativo y en estado natural se presenta en los siguientes minerales (por orden de abundancia):

Molibdenita	-	MoS_2
Wulfenita	-	PbMoO_4
Powellita	-	$\text{Ca}(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4$
Molibdita	-	$\text{FeO} \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Chilagita	-	$\text{Pb}(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4$
Ilsemanita	-	$\text{MoO}_2 \cdot 4\text{MoO}_3$

Minerales poco abundantes o cuya existencia es dudosa son los siguientes: Kochlinita, Lindgrenita, Achrematita, Belonesita, Eosita, Pateraita, Jordisita y Colusita.

También se han encontrado vestigios de molibdeno en las plantas, en el petróleo y en la sangre.

PROPIEDADES.

El molibdeno es un elemento del grupo VI B del sistema periódico de los elementos. Es un metal dúctil y maleable en caliente, de lustre metálico, fácil de pulir y de color blanco plateado (gris cuando se encuentra en forma de polvo).

- Número atómico: 42
- Peso atómico: 95.95
- Densidad (20°C): 10.22 g/cm³
- Punto de fusión: 2620 ± 10°C (superado únicamente por Os, Ta, Re, W y C)
- Punto de ebullición: 3700 - 5560°C
- Dureza: 5.5 - 8.5 (Escala de Mohr)
- Estructura atómica: Niveles de energía N y O:
4s², 4p⁶, 4d⁵, 5s¹
- Estructura cristalina: Cúbica centrada en el espacio
- Isótopos: Naturales: 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100
Artificiales: 90, 91, 93, 99, 101, 102, 105
- Calor específico (0°C): 0.0647 cal/g.°C
- Calor de fusión: 6.7 Kcal/mol (estimado)
- Conductividad térmica (0°C): 0.3460 cal/sec.cm.°C
(disminuye al aumentar la temperatura)
- Conductividad eléctrica (0°C): 28 - 32.9 % (Cu=100)
- Resistividad eléctrica (20°C): 5.7 microohms - cm
(aumenta con la temperatura)
- Coeficiente lineal de expansión (40°C): 5.15 x 10⁻⁶ %
- Solubilidad: El molibdeno solamente es soluble en H₂SO₄ y HNO₃ calientes o en agua regia.

En metales fundidos el molibdeno es completamente soluble en cromo y wolframio y totalmente insoluble en cobre y plata, solo siendo posible la elaboración de mezclas simples.

PRINCIPALES COMPUESTOS DEL MOLIBDENO.

El molibdeno se presenta en los siguientes estados de oxidación: +2, +3, +4, +5 y +6. Los compuestos más estables y de mayor importancia son los tetra- y los hexavalentes. Los compuestos de bajo estado de oxidación son pocos y muy inestables. El molibdeno tiene propiedades anfóteras. Es estable en el aire, pero al calentarlo por encima de 600° C en atmósferas oxidantes se oxida.

Oxidos:

El molibdeno forma dos óxidos bien definidos (MoO_3 y MoO_2). Además forma otros óxidos binarios e hidratados, así como hidratos coordinados. Los más importantes son el di- y el trióxido, y el azul de molibdeno ($\text{MoO}_3 \cdot \text{Mo}_2\text{O}_5$ donde $\text{Mo} : \text{O} = 1 : 2.75$ aproximadamente) que presenta un color azul intenso.

Sulfuros:

El molibdeno forma una serie de compuestos con el azufre que corresponde a la serie de los óxidos, así como oxisulfuros y tiocianatos. Los principales sulfuros son el disulfuro (MoS_2), el trisulfuro (MoS_3), el pentasulfuro (Mo_2S_5) y el sesquisulfuro (Mo_2S_3).

Haluros:

El molibdeno forma varios compuestos de diferente grado de estabilidad con los halógenos. Los haluros son sensibles a la oxidación y a la hidrólisis formando oxi- e hidroxihaluros.

Con el fluor forma el hexafluoruro (MoF_6) y se duda la existencia de otros compuestos binarios fluorados de molibdeno.

Con el cloro forma compuestos binarios di-, tri-, tetra- y pentavalentes, pero no forma el hexacloruro.

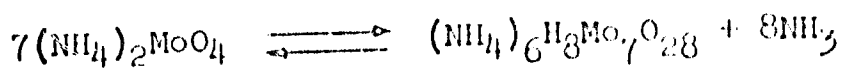
Con el bromo unicamente forma compuestos binarios di-, tri- y tetravalentes.

Se duda de la existencia de compuestos binarios yodados de molibdeno, aunque se han llegado a preparar el di- y el trayoduro de molibdeno en el laboratorio.

El MoF_6 y el MoCl_5 fueron muy empleados durante la Segunda Guerra Mundial en la separación de isótopos.

Molibdatos:

El ácido molíbdico forma una serie de sales estables del tipo Na_2MoO_4 llamadas molibdatos, que son solubles en ácidos y sus propiedades son muy semejantes a los cromatos y tungstenatos. Los molibdatos forman polimolibdatos en solución acuosa disolviendo MoO_3 (hasta 16 moléculas de molibdeno en su fórmula). En contraste con el gran número y variedad de molibdatos ácidos, los molibdatos básicos son muy raros ($\text{PbO} \cdot \text{PbMoO}_4$, usado como pigmento y en esmaltes). El molibdato de amonio normal pierde amoníaco con facilidad para dar el paramolibdato:



Soluciones ácidas de molibdatos reaccionan con H_2O_2 para formar peroximolibdatos de color amarillo o naranja intenso (H_2MoO_5) y (H_2MoO_6).

Los molibdatos forman heteropolimolibdatos, sales o ácidos complejos cuyo anión contiene átomos de oxígeno, de 2 a 18 átomos de molibdeno hexavalente y uno o más átomos metálicos o no metálicos como P, As, Fe, Si o Te, siendo el ácido fosfomolibdico, los fosfomolibdatos ($\text{Na}_3\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4$) y los silicomolibdatos los heteropolimolibdatos más importantes.

Otros compuestos:

El molibdeno forma cianuros y tiocianatos, compuestos de color intenso.

Con el nitrógeno forma nitruros inestables y con el carbono carburos y el hexacarbonilo de molibdeno ($\text{Mo}(\text{CO})_6$). Con el boro forma compuestos muy resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas (MoB , Mo_2B , Mo_3B_2 , Mo_2B_5 y MoB_2).

Forma el diselenuro (MoSe_2) y el diteluro (MoTe_2), compuestos usados como lubricantes sólidos.

Con el silicio forma los siliciuros (MoSi_2), empleados como revestimiento para molibdeno metálico con objeto de protegerlo contra la oxidación.

La electrodeposición del molibdeno es muy difícil.

El molibdeno es atacado por sales oxidantes fundidas, pero es muy resistente a metales líquidos (K, Na, Li, Mg y Hg principalmente).

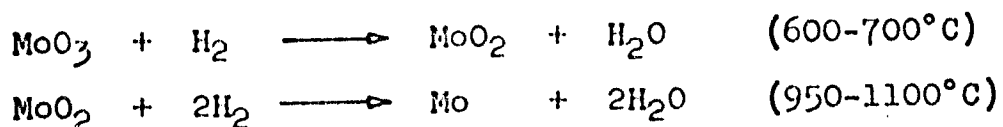
MÉTODOS DE OBTENCIÓN.

Molibdeno metálico:

El mineral de molibdeno concentrado se calcina en una atmósfera oxidante para obtener MoO_3 . Este óxido se reduce para obtener el molibdeno metálico por alguno de los siguientes procesos:

En escala industrial:

- a) El óxido se extrae con amoníaco, formando el molibdato de amonio que se purifica y se reduce con carbono en el horno eléctrico de arco.
- b) Reducción directa con carbono en el horno eléctrico de arco.
- c) Reducción aluminotérmica.
- d) Reducción con hidrógeno gaseoso en caliente en una reacción de dos pasos (que evita que exista un exceso de vapor de agua y que el producto se aglomere):



El producto así obtenido es polvo de molibdeno que es comprimido y sinterizado en atmósfera de hidrógeno.

En el laboratorio la reducción se efectúa como sigue:

- I.- Con hidruro de calcio
- II.- Con magnesio metálico
- III.- Con estaño
- IV.- Por electrólisis
- V.- Por disociación térmica

El molibdeno se purifica refundiéndolo en un horno eléctrico de arco al vacío empleando un molde de cobre enfriado con agua. El molibdeno impuro actúa como electrodo que se consume y una vez fundido se vacía en lingotes que pueden ser estirados o laminados. Aunque estas operaciones se efectúan a muy altas temperaturas se considera que se trabaja "en frío", pues no se alcanza la temperatura de recristalización del metal. El molibdeno puede obtenerse en las siguientes formas en el mercado: alambres, varillas, barras, lingotes, tubos, polvo y piezas laminadas y fundidas, todas hasta 99.9 % de pureza (pequeñas cantidades de impurezas varían mucho sus propiedades físicas y mecánicas).

Oxido de molibdeno grado técnico:

Es el producto obtenido directamente de la calcinación del sulfuro de molibdeno y contiene de 79 a 95 % de MoO_3 generalmente.

Pastillas (briquets) de óxido de molibdeno:

El MoO_3 grado técnico se mezcla con alquitrán y se comprime en pastillas de un tamaño tal, que cada una contenga exactamente 5 lb de molibdeno. Contienen de 70 a 80 % de MoO_3 y aproximadamente 11 % de carbono.

Oxido de molibdeno puro:

El MoO_3 obtenido de la calcinación se purifica por sublimación en una mufla que se calienta entre $982 - 1038^\circ\text{C}$. El producto de la sublimación es arrastrado por una corriente de aire hacia un filtro de bolsas. El polvo producido es muy voluminoso y se densifica humedeciéndolo (su volumen se reduce hasta un 85 %).

El MoO_3 se seca y presenta así una pureza de 99.975 % de MoO_3 .

Molibdato de calcio:

Se obtiene calcinando MoS_2 y CaO en proporción estequiométrica. La cal apagada evita la sublimación del MoO_3 a altas temperaturas y se trata de una mezcla mecánica y no de un compuesto químico.

Siliciuro de molibdeno:

Se obtiene por el proceso silicotérmico fundiendo molibdenita con cal apagada en presencia de silicio.

Molibdatos:

Estos compuestos se obtienen fundiendo molibdato de sodio con cloruros metálicos o reaccionando MoO_3 con los hidróxidos de los metales.

EFECTOS QUE PRODUCE EL MOLIBDENO EN LOS ACEROS.

Debido a que el principal consumidor del molibdeno es la industria siderúrgica, es de gran interés hacer un breve análisis de los efectos que produce el molibdeno usado como aleante en el fierro y en los aceros.

Al agregar molibdeno a los aceros se obtienen los siguientes resultados:

Aumenta su resistencia máxima a la tensión, su límite elástico, su reducción de área (en la prueba de tensión), su límite de fluencia (sobre todo a temperaturas elevadas), su dureza, su

ductilidad, su resistencia al impacto (principalmente a bajas temperaturas) y su tenacidad; además aumenta su resistencia al desgaste (abrasión y erosión) debido a la formación de nitruros y carburos, su resistencia al ataque de gases de combustión y su resistencia a la corrosión en aceros inoxidable (principalmente contra corrosión alveolar e intercrystalina de H_2SO_4 y agua salada, aumentando su resistencia en caliente).

También aumenta la templabilidad de los aceros, permitiendo mayores temperaturas en el templado e incrementando el rango para el tratamiento térmico y para su trabajo en caliente, pues conservan sus propiedades mecánicas aún a elevadas temperaturas. Da mayor penetración al temple por lo que se obtiene mayor uniformidad en la dureza y la mantiene durante el revenido aún a temperaturas más altas.

Mejora su maquinabilidad (sobre todo en aceros de alta aleación) y en su respuesta al revenido y al temple principalmente disminuye la tendencia a la fragilidad evitando la formación de fisuras, lo que le da mayor resistencia al impacto y a esfuerzos alternados.

Reduce el rango de la "velocidad crítica de enfriamiento" en el templado y la tendencia al crecimiento del grano (aumenta la temperatura de crecimiento del grano en la austenita). Refina además el grano primario formando centros de cristalización y en general facilita la eliminación de la escama producida en la laminación y en el trefilado de los aceros.

Agregando otros aleantes tales como Cr, Ni, W o V junto con el molibdeno en los aceros se pueden incrementar los efectos producidos por este último. En algunos aceros pequeñas cantidades de molibdeno pueden reducir las cantidades necesarias de otros aleantes para obtener los mismos efectos en ellos.

El molibdeno se agrega a los aceros en forma de Fe-Mo, óxido de molibdeno o molibdato de calcio en los hornos (eléctrico o de hogar abierto) o en la olla de vaciada.

El efecto del molibdeno producido en los aceros depende de la cantidad y de la presencia de otros metales aleantes.

Cuando el molibdeno se encuentra como único aleante en el acero por lo general no pasa de 0.55 % y presenta la desventaja de la grafitización del acero al usarlo durante mucho tiempo a temperaturas elevadas. En aceros aleados y bonificados casi no se usa con más de 1.35 % de Mo. Aceros inoxidable lo contienen de 2-4 % y los aceros para herramientas (inclusive para trabajo caliente y de alta velocidad) rara vez contienen más del 10 % de molibdeno. En este último tipo de aceros el molibdeno ha sustituido en gran parte al wolframio debido a que también forma un carburo muy duro pero más resistente al desgaste y mejor conductor del calor, además de ser más económico su empleo ya que de 2 a 3 partes en peso de wolframio son sustituidas por una de molibdeno (debido a su peso atómico menor).

Los aceros aleados con molibdeno se usan principalmente en aquellas partes que aprovechan sus propiedades mecánicas, tales como dureza, resistencia y conservación de sus características a elevadas temperaturas, respuesta al tratamiento térmico, resistencia a esfuerzos estáticos o dinámicos, etc.

El efecto del molibdeno en el fierro colado es el siguiente:

Mejora las propiedades al impacto (principalmente a altas temperaturas), su maquinabilidad y su respuesta al temple. Tiende a romper las placas grafiticas formando pequeñas partículas alineadas.

El fierro colado gris conteniendo hasta 1 % de molibdeno aumenta su resistencia a la tensión y su tenacidad, produciendo uniformidad en las propiedades mecánicas a lo largo de toda la pieza. El fierro colado blanco con hasta 1 % de molibdeno mejora su tenacidad, mientras que con 8 % aumenta su resistencia al desgaste, a la corrosión y al ablandamiento a altas temperaturas.

USOS Y APLICACIONES DEL MOLIBDENO Y SUS COMPUESTOS.

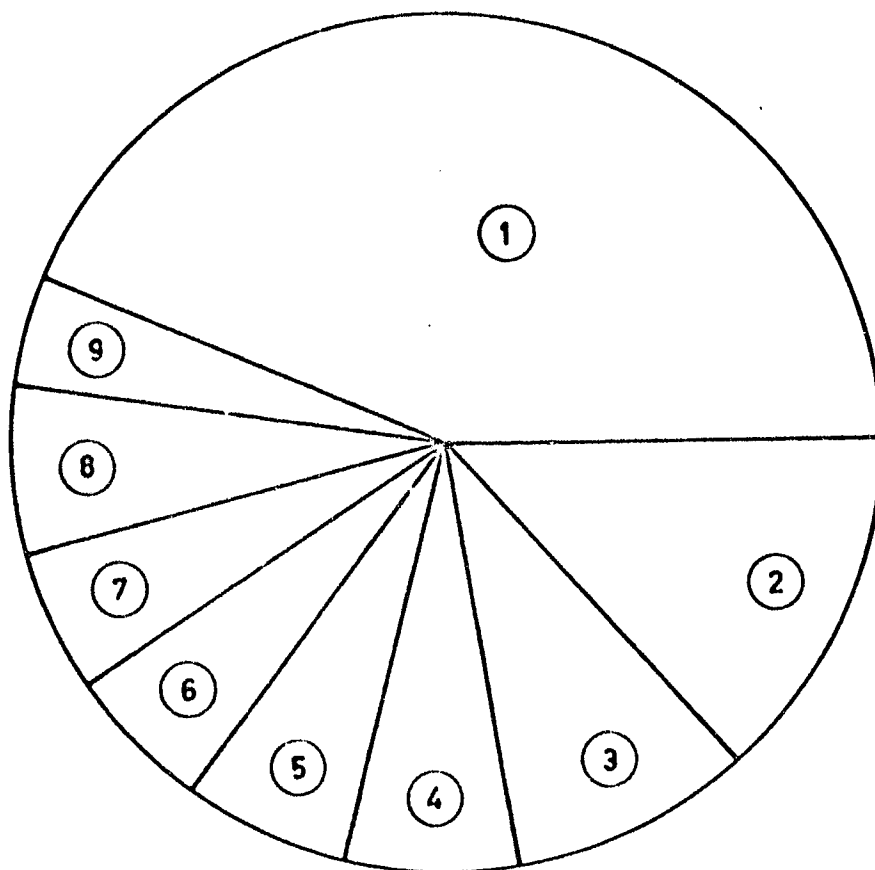
En la Fig. 1 se indican las principales formas comerciales del molibdeno y sus aplicaciones.

En los años 1939 y 1940 95 % de la producción del molibdeno en el mundo era consumida por la industria siderúrgica, pero debido al creciente desarrollo de nuevos usos el porcentaje consumido por esta industria ha disminuído, indicándose en la Fig.2 la distribución del consumo del molibdeno por aplicaciones para el año 1967.

Industria siderúrgica:

Debido al efecto que produce el molibdeno en el fierro y en los aceros se emplea como aleante.

Fig. 2.- DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE MOLIBDENO POR SUS APLICACIONES EN EL AÑO DE 1967



- | | | |
|---|------|---|
| ① | 44 % | Aceros aleados (excluyendo aceros inoxidable y aceros para herramienta) |
| ② | 15 % | Aceros inoxidable |
| ③ | 9 % | Aceros para herramienta |
| ④ | 6 % | Hierro colado |
| ⑤ | 6 % | Productos químicos |
| ⑥ | 5 % | Rodillos de laminación |
| ⑦ | 5 % | Molibdeno metálico |
| ⑧ | 6 % | Aleaciones especiales sinterizadas |
| ⑨ | 4 % | Diversos |

Industria eléctrica y electrónica:

Se usa el molibdeno como soportes de los filamentos de tungsteno en lámparas incandescentes; como soportes para transistores de germanio o silicio; para ánodos y pantallas en tubos de rayos - X; para cátodos, rejillas y sellos metal-vidrio en bulbos electrónicos; como contactos eléctricos (mezclado con cobre o plata), como conductores eléctricos o como escobillas en generadores de alta velocidad; para electrodos en erosión por arco eléctrico; como ánodos en pilas secas de tamaño muy pequeño y además en hornos eléctricos como material de construcción o como resistencias de calentamiento siempre y cuando se emplee en atmósferas reductoras.

Industria aeronáutica y del espacio:

Debido a la resistencia del molibdeno a las elevadas temperaturas se emplea en la construcción de turbinas, quemadores, toberas, escapes y en general todo tipo de accesorios de esta industria (principalmente aleado con wolframio para elevar su punto de fusión y su dureza).

Industria de la transformación y producción de metales:

El molibdeno se emplea en la producción de dados de estiraje, herramientas para trabajo en caliente y alta velocidad, buriles, taladros, barrenos, punzones perforadores para la fabricación de tubos sin costura, etc.; en la producción de metales chapados, imanes permanentes (aleado con Co), "stellites" (con Co y Ni principalmente), aleaciones con resistencia a la tensión hasta 300,000 psi y metal TZM (0.5 % Ti, 0.08 % Zr y Mo) aleación aún más resistente a las altas temperaturas que el molibde-

no metálico puro; como moldes para la fusión de metales; en la producción de electrodos para soldar; como rectificadores para esmeriles de diamante con liga de resina; como termopares (Mo-W y Mo-Rh) para la medición de muy altas temperaturas y de atmósferas muy reductoras y en el metalizado de partes sujetas al desgaste (cilindros, cigüeñales, etc.).

Producción de energía nuclear:

Como el molibdeno es un metal refractario se emplea en la construcción de equipos y accesorios de plantas productoras de energía atómica, principalmente en equipo que maneja metales líquidos.

Industria química:

El molibdeno se usa en la producción de reactivos, indicadores de reacciones de oxidación y reducción y productos farmacéuticos; en fertilizantes en forma de molibdato de amonio como fijador de nitrógeno en cantidades de 1 - 2 ppb; en algunos plásticos y fibras sintéticas para darles resistencia al desgaste y resistencia a la acción del agua; en catalizadores (Mo-W y Mo-Co principalmente) como desnitrogenizadores y desulfurizadores en la industria química y petroquímica y en la producción de formaldehído a partir de formol y además en pigmentos, colorantes, lacas, pinturas y tintas para imprenta, pues imparten un color naranja, actúan como inhibidores de la corrosión o dan mayor resistencia contra la acción de la luz y el agua. Los molibdatos colorantes no son tóxicos por lo que pueden ser empleados en la industria productora de alimentos.

Industria del vidrio:

El molibdeno se emplea como electrodos y agitadores en la fusión del vidrio, pues resiste las altas temperaturas y sus óxidos son incoloros en el vidrio. El molibdato de plomo básico se usa en barnices y esmaltes de productos cerámicos para darles mayor fluidez, adherencia y opacidad.

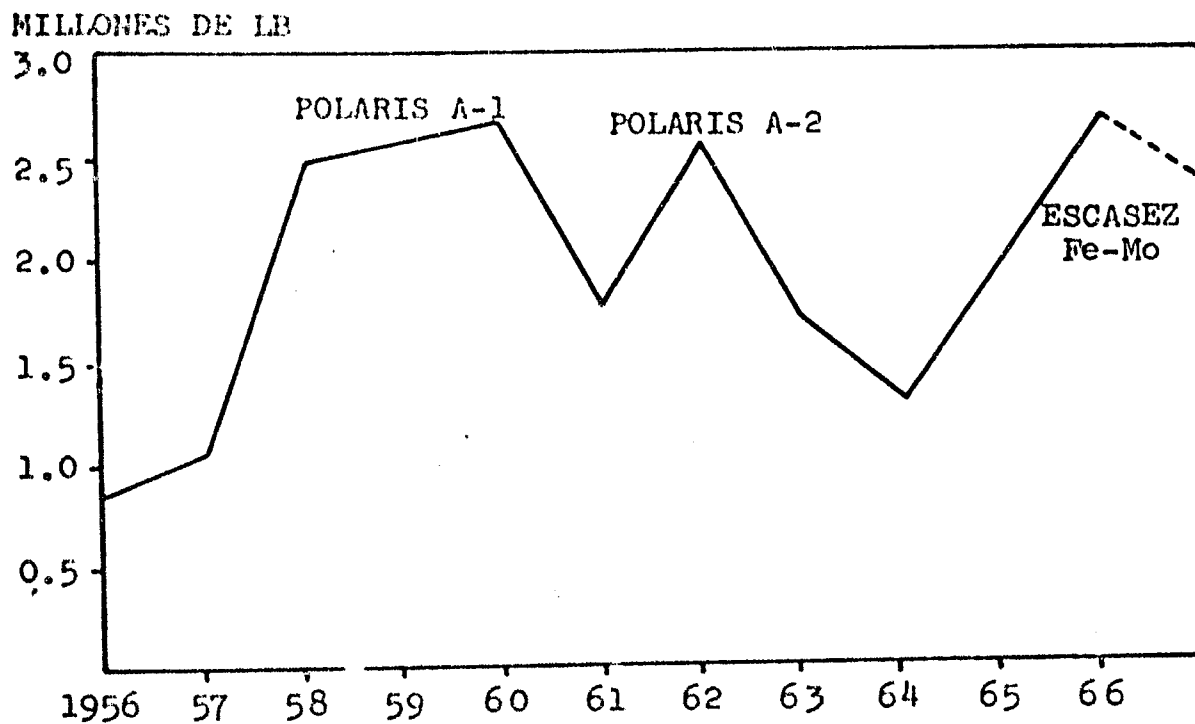
Varios:

El molibdeno se usa además como lubricante sólido (MoS_2) que cubre un amplio rango de presión y temperatura y además como sustituto del cromo en el curtido de pieles.

FUTURO DEL MOLIBDENO.

En 1960 el consumo de molibdeno en el mundo para el año 1975 se estimó en 45,600 toneladas anuales, cifra que ya fue alcanzada en el año de 1965, debido a que el desarrollo industrial en el mundo ha crecido más rápidamente de lo que se esperaba. La tasa de crecimiento anual del consumo del molibdeno en las diferentes ramas industriales varía entre 6 y 10 %, excepto en sus aplicaciones como molibdeno metálico donde han existido altas y bajas en el consumo tal como se puede apreciar en la gráfica No.1 . También en sus aplicaciones como lubricante sólido y como catalizador la tasa de crecimiento anual en el consumo ha sido moderada.

El principal desarrollo en el consumo del molibdeno será en el aprovechamiento de sus propiedades como metal refractario.



Gráfica No.1.- Consumo de molibdeno metálico en los Estados Unidos de Norteamérica.

En la actualidad se han comprobado reservas de molibdeno que pueden satisfacer la demanda para los siguientes 100 años, y ya se ha empezado con la recuperación de desperdicios de molibdeno metálico para poder asegurar el abastecimiento de este metal en el futuro.

A N A L I S I S D E M E R C A D O

DESCRIPCION DEL PRODUCTO.

El Fe-Mo es una aleación dura y muy quebradiza. Tiene un brillo metálico y es de color gris. Su punto de fusión es de $1,540^{\circ}$ C (ver Fig.3).

Influencia metalográfica del molibdeno en aleaciones ferrosas:

El fierro gamma puede contener hasta 3 % del molibdeno en solución sólida. La solubilidad del molibdeno en fierro alfa es de 37.5 % a $1,450^{\circ}$ C debido a la formación de cristales mixtos y la solubilidad disminuye al bajar la temperatura. El molibdeno aumenta la dureza de la ferrita y la respuesta al temple y al revenido.

El molibdeno es buen formador de carburos. En ausencia de otros elementos forma MoC y Mo₂C y en los aceros forma carburos kappa (Fe, Mo)₂₃C₆ y carburos omega (Fe, Mo)₆C.

El molibdeno presente en los aceros está parcialmente en solución sólida y parcialmente combinado con carbono formando carburos complejos. El molibdeno es más soluble en cementita (Fe₃C) que en ferrita, pero formando Fe₃Mo₂ aumenta mucho su solubilidad en el fierro alfa.

El molibdeno es un reductor de la zona austenítica, retarda la formación de perlita y es un fijador o estabilizador de la martensita, lo que en el templado produce una disminución de la velocidad crítica de enfriamiento.

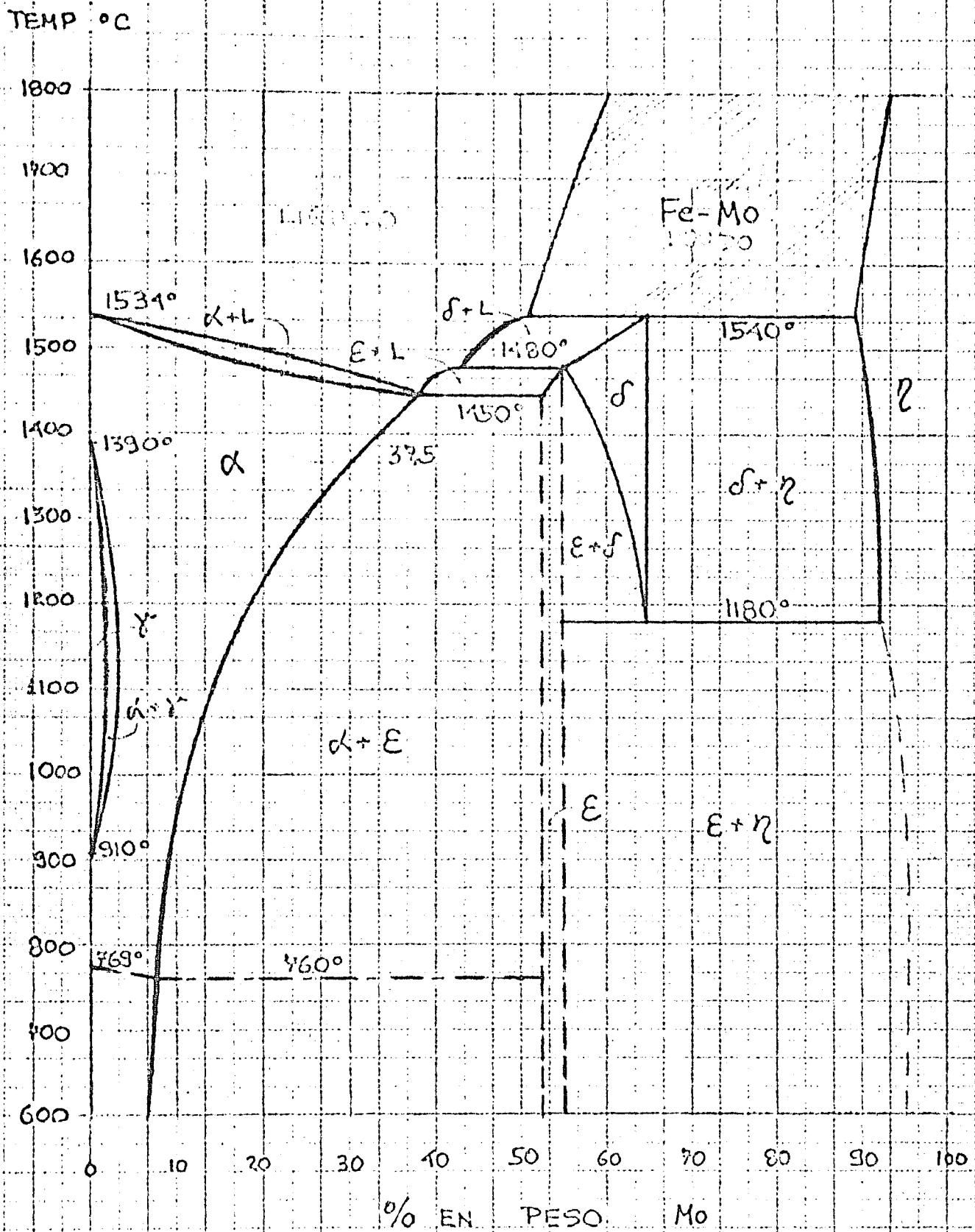


FIG. 31. DIAGRAMA DE FASES DO SISTEMA FERRO-MOLIBDÊNIO.

Por un lado hay carburos de molibdeno facilmente solubles en aleaciones ferrosas lo que produce que no se eleve la temperatura de austenitización y se logre mayor penetración en el templado.

Por otro lado existen carburos de molibdeno difícilmente soluble en aleaciones ferrosas, aún a temperaturas muy elevadas, propiedad que se emplea en aceros para herramienta pues conserva su dureza en elevadas temperaturas y resiste temperaturas de revenido superiores sin perder su dureza de corte. El revenido reduce la fragilidad de los aceros después del templado.

Los carburos molibdoferrosos interfieren mecánicamente en el crecimiento del grano de la austenita aumentando su límite de fluencia.

Propiedades químicas:

El Fe-Mo se oxida a temperaturas elevadas y en atmósferas muy oxidantes. En general el interés del Fe-Mo es metalúrgico y metalográfico por lo que no se le conocen propiedades químicas.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES.

Del producto:

La Secretaría de Industria y Comercio clasifica al producto en su norma DGN B - 228 - 66 en 2 calidades:

- a) Fe-Mo / 63 (alto carbón)
- b) Fe-Mo / 60 (bajo carbón)

Sus especificaciones para el análisis químico son:

	Fe-Mo / 63	Fe-Mo / 60
Mo	55.0 - 77.0 %	60 % min.
C	2.0 - 2.5 %	0.10 % max.
P	0.10 % max.	0.050 % max.
S	0.25 % max.	0.15 % max.
Si	1.50 % max.	1.0 % max.
Cu	1.00 % max.	1.0 % max.

A petición de los consumidores se pueden agregar las siguientes especificaciones para el Fe-Mo / 60 :

Cu : 0.200 % max.

Pb : 0.010 % max.

Sn : 0.010 % max.

El Fe-Mo debe estar libre de inclusiones no metálicas.

Especificaciones para la granulometría:

- 50.8 mm y menores (10 % max. sobre malla 50.8 mm y 10 % max. que pase malla 6.35 mm)
- 38.10 mm y menores (10 % max. sobre malla 38.10 mm y 10 % max. que pase malla 6.35 mm)
- 19.05 mm y menores (10 % max. sobre malla 19.05 mm y 10 % max. que pase malla 20 (841 micras))
- Malla 4 y menores (10 % max. sobre malla 4 (4,76 mm) y 10 % max. que pase malla 80 (177 micras))
- Malla 20 y menores (10 % max. sobre malla 20)
- Malla 80 y menores (10 % max. sobre malla 80)

Todos los embarques de Fe-Mo deben ir acompañados por un certificado de análisis del productor.

Del empaque:

El Fe-Mo se entrega a granel o en envases adecuados tratando de evitar pérdidas, humedad, oxidación, y contaminación del producto durante su manejo. En general el Fe-Mo en polvo se surte en botes de lámina (50 Kg) y el Fe-Mo en trozos en sacos de yute reforzados.

Otras normas:

Ya se ha producido Fe-Mo de EXTRA BAJO CARBON (0.03 % C max.) usado para aplicaciones especiales.

PRODUCCION NACIONAL.

En México no se ha producido Fe-Mo en escala comercial. En enero de 1966 la compañía Ferroatomociones de México, S.A., subsidiaria de la Cía. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S.A., situada en Estación Banda al norte de Gomez Palacio, Durango, inició la producción de Fe-Mo a partir de MoO_3 importado, proceso que resultó ser antieconómico. Además intentó la producción de Fe-Mo a partir de minerales de molibdeno del país, obteniendo un producto que no cumplía con las normas de calidad establecidas. No existen datos de las cantidades de Fe-Mo producidas en plan de investigación, por lo que se puede considerar que hasta la fecha no se ha producido Fe-Mo en México.

PRODUCCION MUNDIAL.

No existen datos de la producción de Fe-Mo en el mundo, pero de un 30 - 35 % del consumo mundial del molibdeno se hace en forma de Fe-Mo. A continuación se indica el consumo en contenido de molibdeno en el mundo para los años 1959 a 1966:

1959	:	27,700 ton
1960	:	34,200 ton
1961	:	34,600 ton
1962	:	31,800 ton
1963	:	36,000 ton
1964	:	40,900 ton
1965	:	45,600 ton
1966	:	46,800 ton

La producción de Fe-Mo en el mundo tiene una tasa de crecimiento anual del 8 al 10 %.

En el anexo se encuentra una lista de los productores y proveedores de Fe-Mo en el mundo.

IMPORTACION.

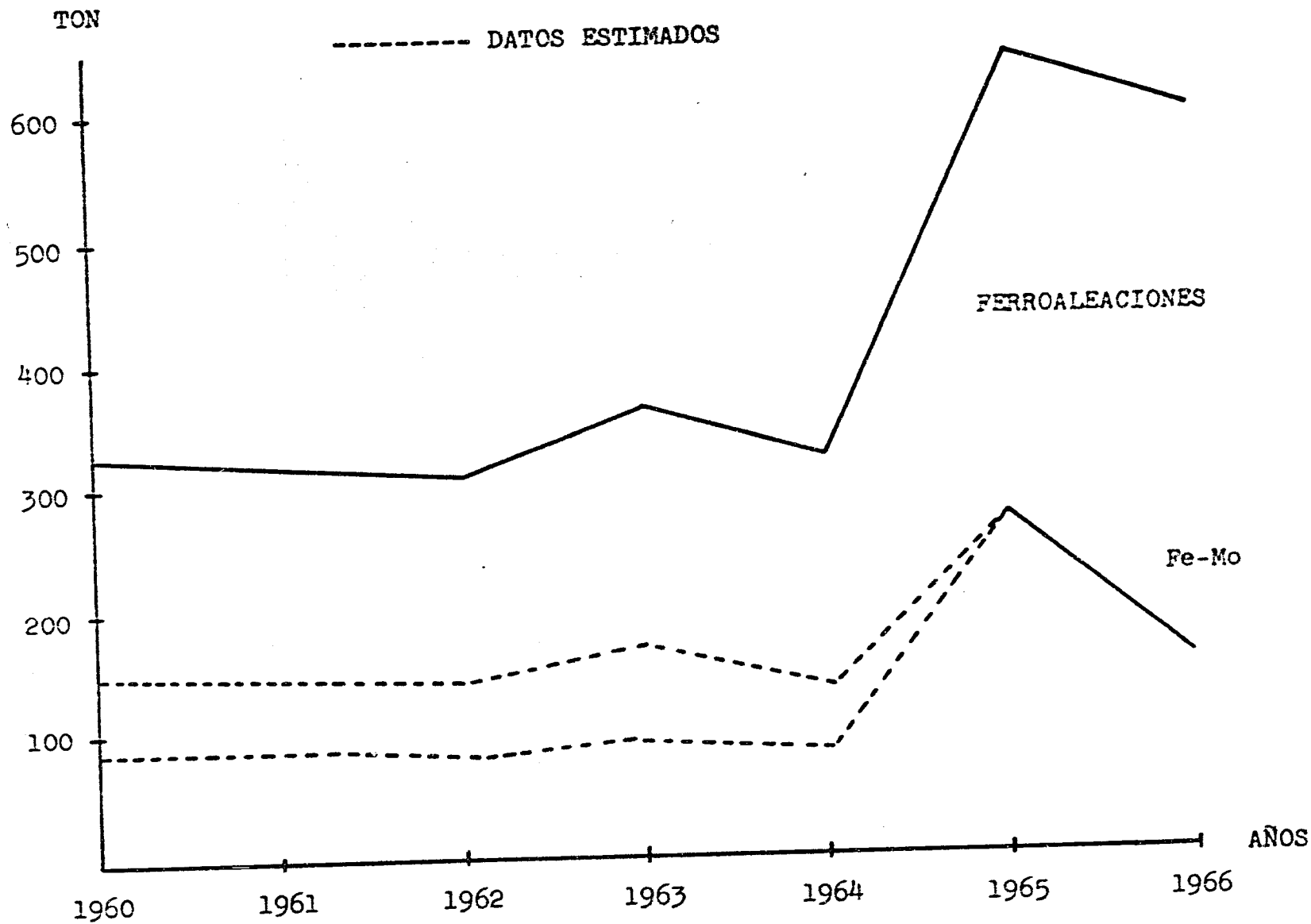
Solo se conocen con exactitud los datos de importación de Fe-Mo en 1965 y 1966 :

País de Procedencia	1 9 6 5		1 9 6 6	
	Cant. Kg(b)	Valor \$	Cant. Kg(b)	Valor \$
E. U. A.	33,025	1,425,959	10,739	683,461
Alemania	1,143	44,933		
Bélgica	22,061	1,957,213		
Reino Unido	9,707	1,051,701		
Italia	999	107,725		
Países Bajos	5,462	408,668		
Suiza	23,430	1,655,994	19,187	1,383,988
Luxemburgo	174,491	15,442,945	125,904	8,703,876
TOTAL	270,318	22,095,138	155,830	10,771,325

Con el objeto de poder estimar la importación de Fe-Mo en años anteriores se incluyen a continuación las importaciones de ferromolibdeno junto con las demás ferroaleaciones (excluyendo Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Cr y Fe-P) para los años 1960 a 1966:

1960 : 323,309 Kg
 1961 : 315,283 Kg
 1962 : 308,706 Kg
 1963 : 363,098 Kg
 1964 : 318,445 Kg
 1965 : 639,426 Kg
 1966 : 593,856 Kg

En la gráfica No.2 se muestran las Importaciones de Fe-Mo y ferroaleaciones excluyendo Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Cr y Fe-P de 1960 a 1966.



GRAFICA No.2.- IMPORTACION DE Fe-Mo Y FERROALEACIONES (EXCLUYENDO Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Cr y Fe-P)

En los primeros 9 meses de 1967 hubo un incremento del 200 % en la importación total de ferroaleaciones con respecto al mismo período en 1966 (de 800 a 2,400 toneladas) lo que hace suponer que las importaciones de Fe-Mo para 1967 también aumentaron considerablemente.

En la gráfica No.3 se indican las importaciones de otros productos de molibdeno (molibdeno metálico desde 1965, molibdato de sodio desde 1962 y molibdato de amonio desde 1957).

EXPORTACION.

México no ha exportado Fe-Mo.

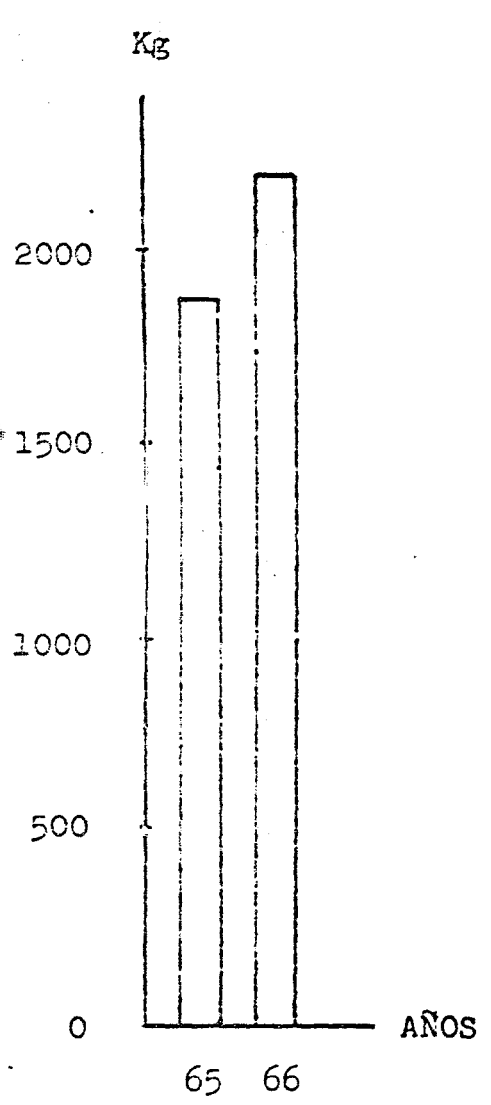
CONSUMO APARENTE EN MEXICO.

Cantidad y su valor:

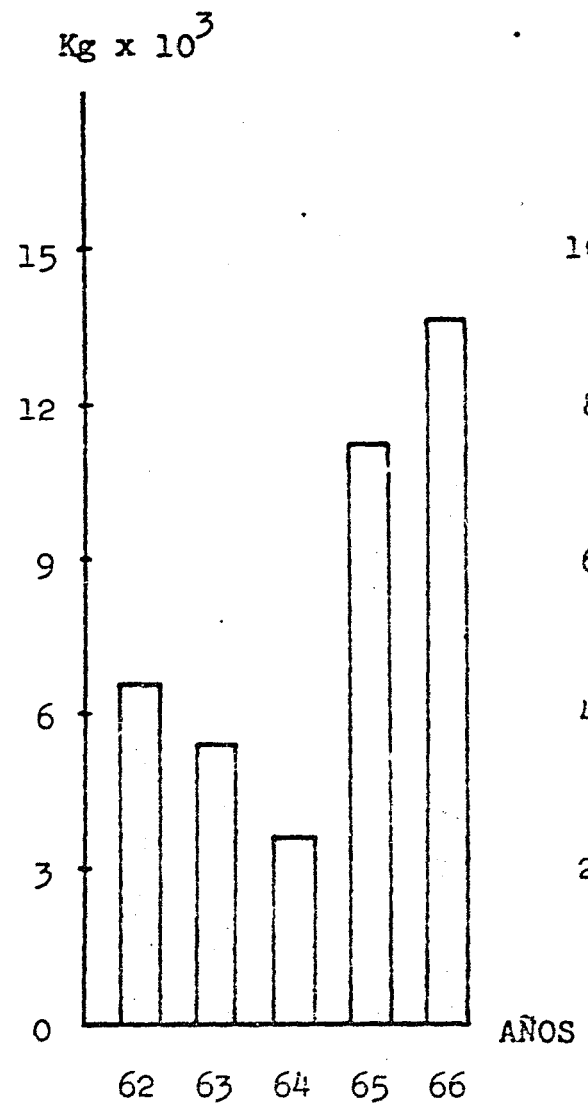
Debido a que en México no se produce Fe-Mo su consumo equivale a las importaciones:

Año	Cantidad (Kg)	Valor (\$ M.N.)
1960 (*)	80,000 - 145,000	
1961 (*)	75,000 - 140,000	
1962 (*)	75,000 - 140,000	
1963 (*)	95,000 - 160,000	
1964 (*)	75,000 - 140,000	
1965	270,318	22,095,138
1966	155,830	10,771,325

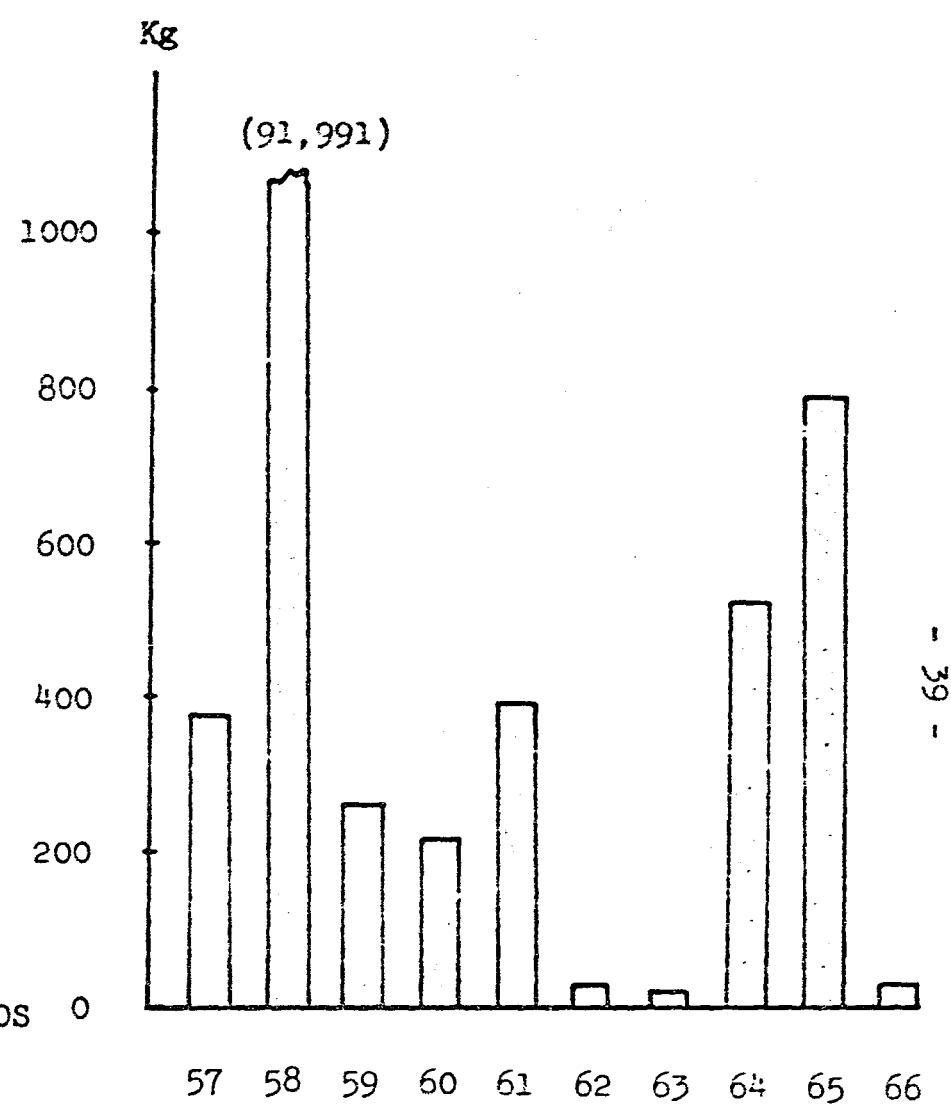
(*) Datos estimados de la importación total de ferroaleaciones.



MOLIBDENO MANUF.



MOLIBDATO DE SODIO



MOLIBDATO DE AMONIO

GRAFICA No.3.- IMPORTACION DE OTROS PRODUCTOS DE MOLIBDENO

El Fe-Mo ocupa el 90 a 95 % de los productos de molibdeno consumidos en México.

Industrias consumidoras:

Los únicos consumidores de Fe-Mo en México son la industria siderúrgica y los productores de electrodos para soldar.

Los principales consumidores de la industria siderúrgica son:

- Aceros Ecatepec, S.A.
- Aceros Solar, S.A.
- Aceros Tepeyac, S.A.
- Altos Hornos de México, S.A.
- Amsco Mexicana, S.A.
- Automanufacturas, S.A.
- Campos Hermanos, S.A.
- Cía. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S.A.
- Cía. Fundidora del Norte, S.A.
- Ford Motor Company, S.A.
- Fundiciones de Fierro y Acero, S.A.
- General Motors de México, S.A. de C.V.
- Hierro Maleable de México, S.A.
- Hojalata y Lámina, S.A.
- Siderúrgica Nacional, S.A.
- Talleres Universales, S.A.
- Tubos de Acero de México, S.A.
- Vehículos Automotores Mexicanos, S.A.

además de otros productores de piezas moldeadas de acero y de fierro colado.

Los consumidores en la producción de electrodos para soldar son:

- Aruco Mexicana, S.A. de C.V.
- Champion de México, S.A.
- Electrodo Commonwealth, S.A.
- Electrodo Monterrey, S.A.
- Eutéctico Mexicana, S.A.
- Soldaduras Técnicas, S.A.
- Super Técnica, S.A.
- UTP de México, S.A.

Distribución del consumo de Fe-Mo en México por sus aplicaciones:

Ver Fig.4 .

Areas de consumo:

El consumo de Fe-Mo en México se localiza en tres regiones principales:

- a) Zona industrial del noreste (incluye Monterrey, Monclova y Saltillo)
- b) Zona industrial del Valle de México
- c) Estado de Veracruz

Ver Fig.5 .

Tendencia del consumo:

El consumo de Fe-Mo en México aumenta junto con el desarrollo de su industria siderúrgica. En la gráfica No.2 se apreció una disminución en la importación de Fe-Mo en 1966. Este fenómeno se debió a que en 1965 hubo una escasez mundial de Fe-Mo y todos los consumidores trataron de llenar lo más posible sus

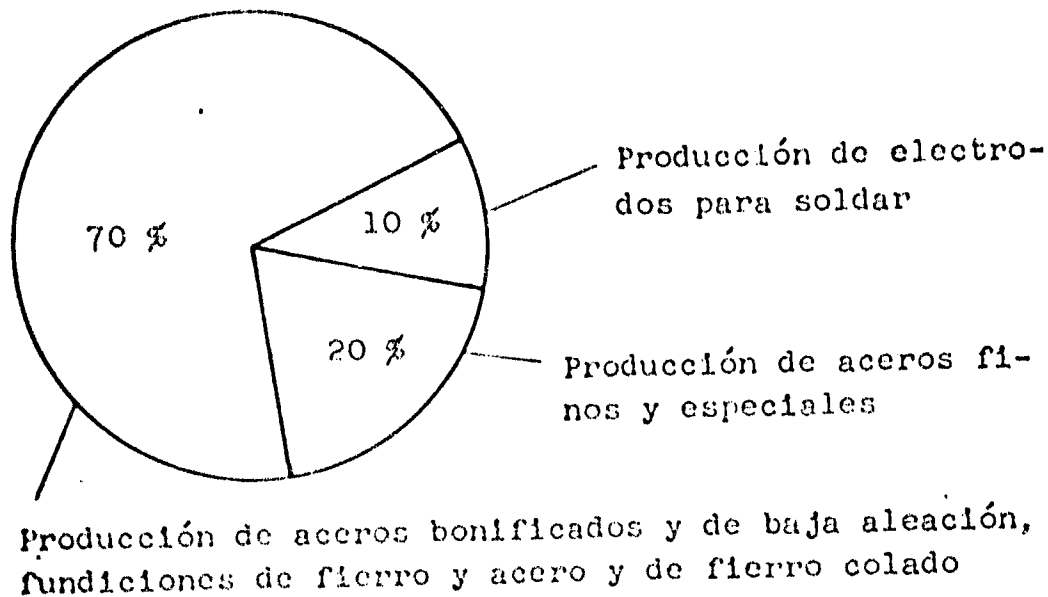


Fig. 4.- DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE Fe-Mo EN MEXICO POR SUS APLICACIONES



Fig. 5.- AREAS DE CONSUMO DE Fe-Mo EN MEXICO

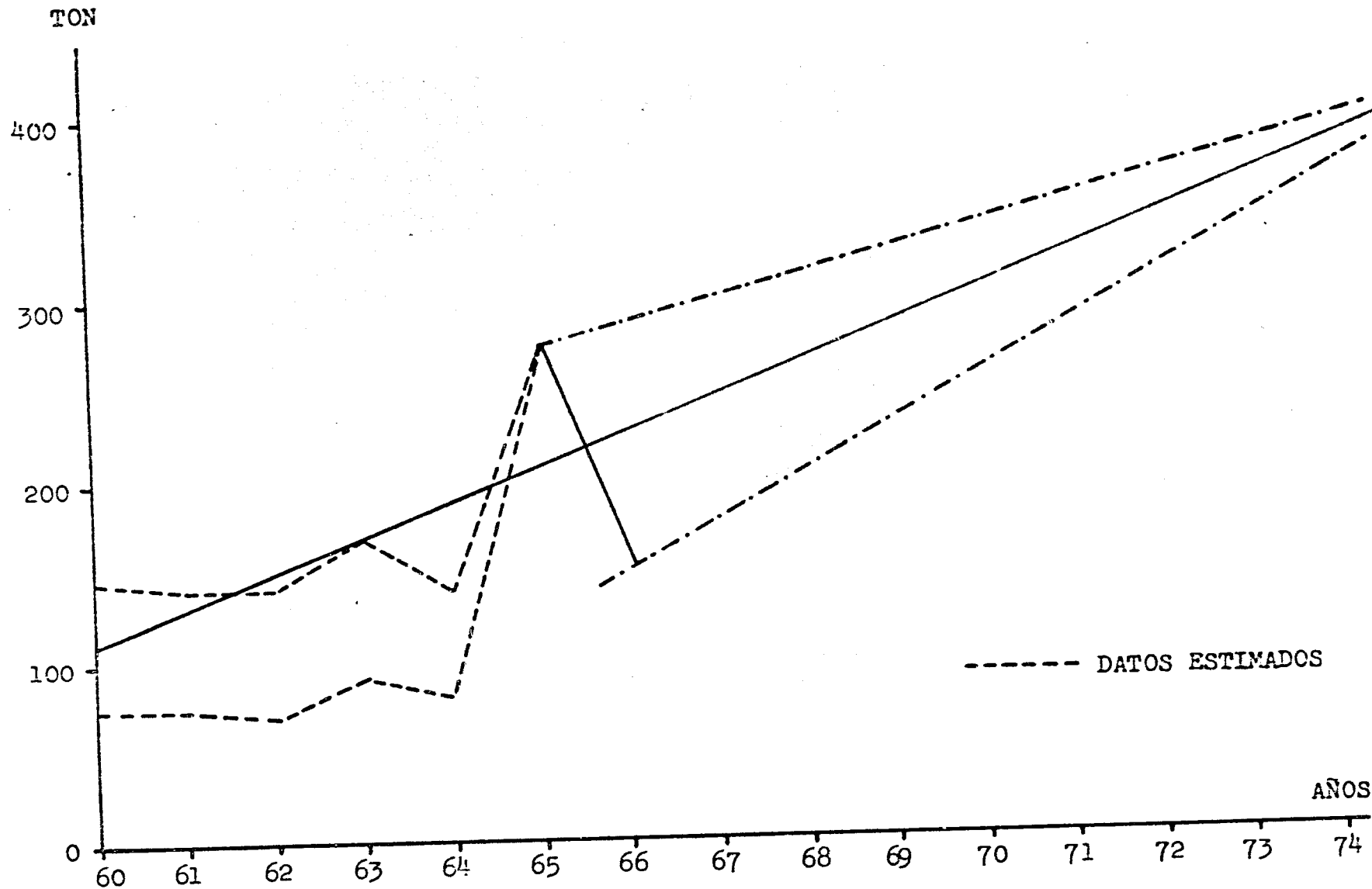
almacenes con este producto, inclusive comprándolo a precios muy elevados. En general la política que siguen las compañías en México con respecto a sus inventarios de Fe-Mo, es tener una cantidad almacenada tal para cubrir de 6 a 12 meses de su consumo.

En la gráfica No.4 se indica la tendencia del consumo del Fe-Mo en México tomando en cuenta los siguientes factores:

La demanda de Fe-Mo aumenta debido al desarrollo en la producción de partes fundidas para la industria automotriz, debido al desarrollo en la producción de aceros finos, aceros para herramienta, aceros de baja aleación y aceros bonificados (Sidena, S.A. planea la producción de estos tipos de aceros para 1970 y Hojalata y Lámina, S.A. será otro consumidor de Fe-Mo tan pronto arranque su planta en Puebla) y además debido a la demanda de equipos de acero inoxidable para la industria química (tipo 316 y 502 principalmente) que planea producir Aceros Tepeyac, S.A.).

TIPO DE DEMANDA.

La demanda de Fe-Mo es fluctuante (muy elevada durante los conflictos bélicos debido a que se considera una aleación estratégica) y elástica (al bajar el precio del producto la demanda en el mundo aumenta).



GRAFICA No.4.- TENDENCIA DEL CONSUMO DE Fe-Mo EN MEXICO

OFERTA ACTUAL DEL PRODUCTO EN EL MUNDO.

Debido a que el 90 % del molibdeno en el mundo se produce en los Estados Unidos de Norteamérica el mercado mundial está prácticamente sujeto a la oferta de este país. Como el molibdeno y sus productos se consideran como materiales estratégicos este país puede bloquear en cualquier momento la entrega de dichos productos, produciendo una situación crítica en el mundo, que tiene como consecuencia que el Fe-Mo se comercie en una especie de mercado negro y a precios muy inflados. La exportación de Fe-Mo de los Estados Unidos está regulada por su gobierno (General Service Administration y National Strategic Stockpile) que asigna cuotas de cantidad para la exportación a los diferentes países y asegurándose siempre que el producto no sea usado para la reexportación (ver anexo 2).

Los tiempos de entrega de Fe-Mo en la actualidad son de 3 meses, pero en épocas de escasez (1965) fluctuaron entre 12 y 14 meses.

FACTORES LIMITATIVOS DE LA PRODUCCION.

Además de poseer la tecnología adecuada para la producción de Fe-Mo el factor determinante para su producción en todo el mundo es la disponibilidad de la materia prima (minerales de molibdeno), pues su entrega debe ser constante y uniforme y de preferencia no estar sujeta a fluctuaciones y bloqueos como en el caso de importarse la materia prima de los Estados Unidos.

PROCESOS DE FABRICACION.

Partiendo de MoO_3 como materia prima:

- a) Reducción en horno eléctrico de arco con carbono en presencia de CaO , CaF_2 , Fe_2O_3 y Fe_3O_4 .
- b) Reducción silicotérmica o silicoaluminotérmica en presencia de Fe-Si (75 %), polvo de aluminio o Ca-Si (30/60), Fe_2O_3 , Fe metálico, Fe_3O_4 , CaO y CaF_2 .

En estos procesos se puede agregar Fe-Mn como desulfurizador. En escala de laboratorio se obtiene el Fe-Mo por reducción del molibdato de calcio en horno eléctrico de arco en presencia de carbono, por reducción con magnesio metálico (reacción térmica) o por sinterización muy lenta de fierro y molibdeno metálico (se obtiene un producto deformable, laminable y forjable hasta cierto grado con una pureza del 100 % pero de muy poca aplicación debido a su elevado costo de producción).

Ninguno de los procesos anteriores está sujeto a patentes o protecciones.

POSIBLES SUSTITUTOS DEL Fe-Mo.

- a) Molibdato de calcio (40 - 46 % Mo, 0,25 % S max., 0,10 % P max., 1,0 % Cu max. y C: trazas).
- b) Oxido de molibdeno grado técnico (55 - 64 % Mo, 0,25 % S max., 0,05 % P max., 1,0 % Cu max., C: trazas).

Se prefiere el uso de Fe-Mo pues se oxida y sublima con más dificultad, necesita menos control en el momento de la adición al baño fundido y se obtienen mayores rendimientos. Se emplean los sustitutos anteriores cuando los costos de producción del acero tienen gran influencia y el molibdeno en el producto no exceda de 0.7 % o cuando el Fe-Mo en el mercado se consiga con dificultad (en México únicamente se usa Fe-Mo y en los Estados Unidos se consume 50 % de Fe-Mo, 34 % de MoO_3 y 16 % de CaMoO_4 , empleando molibdeno como aleante en los aceros).

c) Otros sustitutos. Aleaciones como Cr-Mo o siliciuro de molibdeno cuyos costos de producción son muy elevados y se emplean poco.

Con respecto a los efectos que produce el molibdeno en los aceros hay elementos que lo sustituyen o disminuyen su contenido para obtener las mismas características en los aceros. Estos elementos son Zr, V, Nb y W, pero se usan poco pues su costo de producción es muy elevado.

SUBPRODUCTOS.

En la producción de Fe-Mo solo existen como subproductos la escoria y los polvos producidos durante la reacción de reducción. La escoria producida por la reducción silicotérmica, que contiene hasta 0.5 % de molibdeno, se ha llegado a emplear en la producción de cemento Portland para darle mayor resistencia, pero por lo general se prefieren reprocesar los subproductos con objeto de recuperar el molibdeno contenido en ellos para

volverlo a emplear en la producción del Fe-Mo, tirándose el residuo que queda pues no tiene ninguna aplicación.

SITUACION LEGAL DEL Fe-Mo EN MEXICO.

Actualmente la importación de Fe-Mo en México está sujeta a permiso de importación. Su fracción arancelaria para la importación es 73.02 A004, su precio oficial es de \$ 55.40 por Kg bruto y los derechos de importación son de \$ 0.04 por Kg bruto + 8 % ad valorem.

ESTUDIO DE LOS PRECIOS.

El precio del Fe-Mo se fija de acuerdo con la cantidad de molibdeno que contenga.

Para el estudio de precios se establecen los siguientes tipos:

- a) "Precio de Productores" que es una especie de precio internacional fijado por los principales productores de los Estados Unidos que producen 90 % del molibdeno en el mundo (Climax Molybdenum Co., Molybdenum Corp. of America, Kennecott Copper Corp. y Anaconda).
- b) Precio en el mercado libre.

El "precio de productores" se ha mantenido más o menos fijo a través de los años pero la disponibilidad del producto a estos precios (90 % del molibdeno en el mundo) no es regular pues se encuentra sujeta a la situación política internacional (bloques de entrega y períodos de escasez; Fe-Mo en 1965).

De la situación anterior se aprovecha el mercado libre (10 % restante del molibdeno en el mundo) para especular con los precios y por lo general un 20 % de los productos de molibdeno en el mercado mundial se venden a precios muy inflados. En la tabla No.1 se indica el desarrollo del "precio de productores" para los principales productos de molibdeno.

En la factura del anexo 2 se puede apreciar la variación del precio en el mercado libre con respecto al "precio de productores" (U.S.\$ 14.60 por Kg de Mo en el Fe-Mo contra U.S.\$ 4.55 por Kg de Mo en el Fe-Mo en diciembre de 1964).

En la gráfica No.5 se indica la tendencia del "precio de productores" para el Fe-Mo.

Costo unitario del producto puesto en México:

Como en México el Fe-Mo por lo general se compra en el mercado libre, el precio de compra varía mucho. El costo unitario del Fe-Mo (60 % Mo) puesto en México (incluyendo gastos de embarque, seguro, fletes, derechos de importación y gastos aduanales) varía entre \$ 70.- y \$ 120.- (M.N.) por Kg de Fe-Mo.

ASPECTOS COMERCIALES.

Debido a que el precio del Fe-Mo se establece de acuerdo con su contenido en molibdeno, el comprador dispone de 45 días a partir de la fecha de entrega para efectuar reclamaciones con respecto al contenido de molibdeno o al precio de venta fijado. Los métodos de análisis químicos son fijados por la Dirección General de Normas de la Sría. de Industria y Comercio y

Tabla No. 1.- DESARROLLO DEL "PRECIO DE PRODUCTORES" PARA
LOS PRINCIPALES PRODUCTOS DE MOLIBDENO

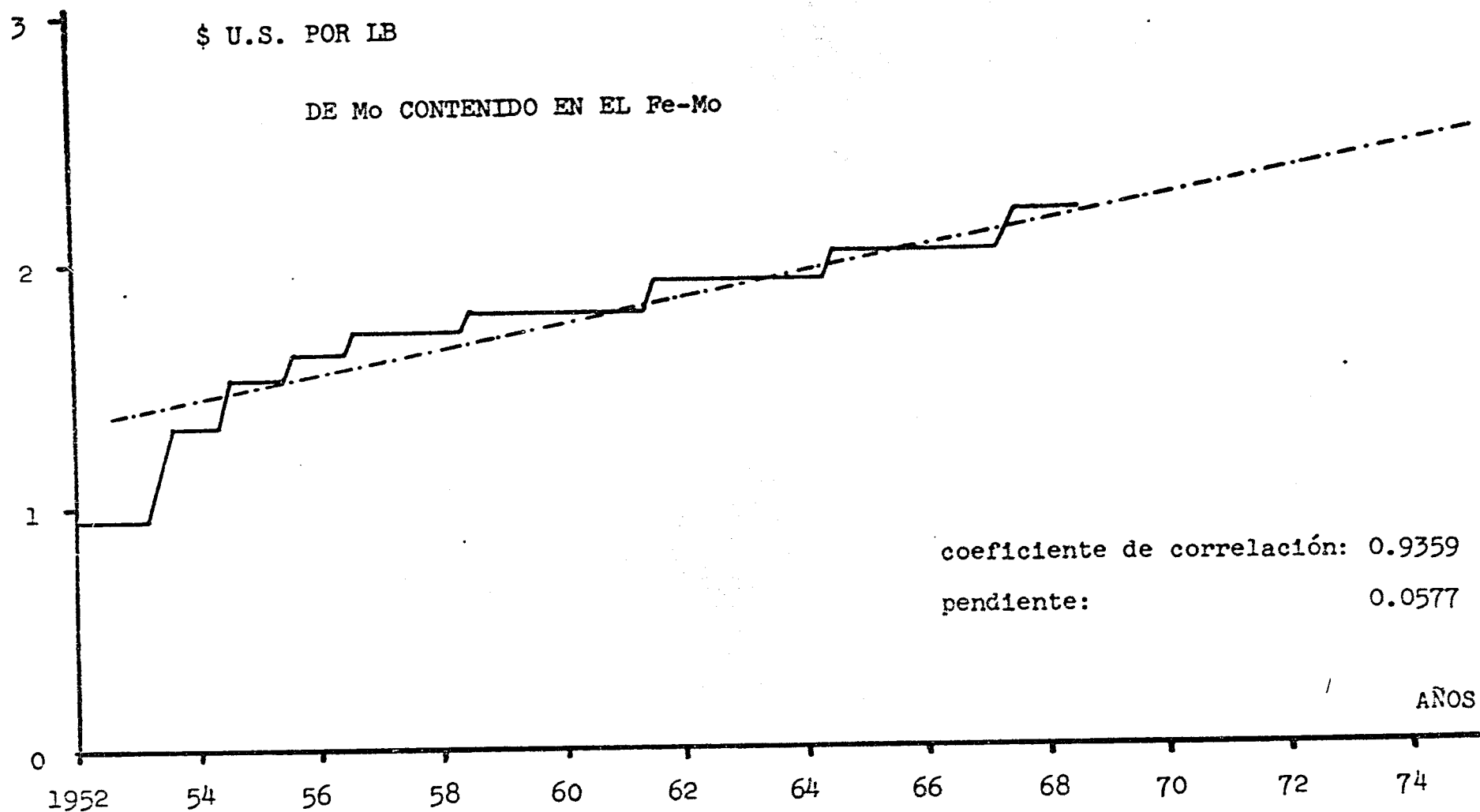
(en U.S. \$ por lb de molibdeno contenido en el producto)

AÑO	Fe-Mo	MoS ₂ (90-95%)	MoO ₃ (Técnico)	MoO ₃ (Puro)	MOLIBDENO (Polvo Met.)
1918	5.00				
1921	2.50				
1929	1.20				
1931				0.95	2.72
1932	0.95				
1938		0.75			
1939	0.95				
1944					
1948		0.75-0.98			
1949	0.95	0.90		1.11	
1950		0.90-1.00		1.25-1.35	2.72-3.25
1953	1.32	1.00	1.14	1.35	3.25-3.40
1954	1.32-1.52	1.00-1.05	1.14-1.25	1.57	3.40
1955	1.52-1.60	1.05-1.10	1.25-1.31	1.65	3.40
1956	1.60-1.71	1.10-1.18	1.31-1.39	1.72	4.10
1957	1.71	1.18	1.39		
1958	1.71-1.79	1.18-1.25	1.39-1.47		
1959	1.79	1.25	1.47		
1960	1.79	1.25	1.47	1.72	3.55
1961	1.79-1.92	1.25-1.40	1.47-1.60	1.88	3.55
1962	1.92	1.40	1.60		
1963	1.92	1.40	1.60		
1964	2.07	1.40-1.55	1.75	1.88-2.02	3.55-3.75
1965					
1966					
1967	2.11-2.19	1.60-1.65	1.80-1.85		3.60-3.75
1968	(*)	1.60-1.65 (°)	1.80-1.85 (#)		

(°) 11 - Ene - 1967 1.60-1.65
5 - Jun - 1967 1.80-1.90
18 - Sep - 1967 1.70-1.80
11 - Dic - 1967 1.80-1.90
18 - Dic - 1967 1.70-1.80
22 - Ene - 1968 1.60-1.65

(#) 18 - Sep - 1967 hasta
8 - Ene - 1968 1.95-2.05

(*) Para exportación 2.25-2.35



GRAFICA No.5.- TENDENCIA DEL "PRECIO DE PRODUCTORES" DEL Fe-Mo

en caso de no llegarse a un acuerdo entre el comprador y el vendedor en el contenido de molibdeno o en el precio fijado, intervendrá un árbitro neutral reconocido por la SIC.

Contratos y bases de cotización:

El precio del Fe-Mo se cotiza generalmente al día de facturación o al plazo de entrega y se paga en forma de cartas de crédito bancario o de letras de cambio a 30, 60 y 90 días (6 - 8 % de interés anual).

Métodos de venta:

El Fe-Mo consumido en México llega al país por medio de importaciones directas o por medio de representantes en cuyo caso la facturación se hace directamente al cliente.

ESTUDIO Y ABASTECIMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

De la gran variedad de minerales de molibdeno existentes, solo 3 son explotados en escala comercial:

- a) Molibdenita
- b) Wulfenita
- c) Powellita

La molibdenita (MoS_2) es el mineral de molibdeno más importante y se encuentra junto con granito y pegmatita (rocas de cuarzo, feldespato y mica) o acompañando a minerales de cobre, oro, plata, y uranio. 90 % del molibdeno producido en el mundo se obtiene a partir de la molibdenita, que en sus minerales presenta un contenido de 0.3 - 0.7 % de MoS_2 , aunque algunas veces hasta 3.5 % de MoS_2 y en muy raras ocasiones de 30 - 50 %. En los yacimientos de cobre de baja ley la molibdenita se encuentra de 0.01 % hasta 0.08 %.

La wulfenita por lo general acompaña a otros minerales de plomo y la powellita se encuentra junto con scheelita (CaWO_4).

PROPIEDADES DE LA MOLIBDENITA.

Es un mineral blando (dureza = 1 - 1.5 en la escala de Mohr), grasoso al tacto y de aspecto muy parecido al grafito. Cristaliza en forma de placas hexagonales y tiene una densidad de 4.6 - 4.8 g/cm^3 .

Por calcinación en atmósferas oxidantes forma MoO_3 . Es fácilmente atacada por el fluor, agua regia y H_2SO_4 y HNO_3 calientes. El cloro solo lo ataca en caliente y no reacciona con el bromo. Es insoluble en ácidos e hidróxidos y en general es un compuesto muy estable.

PRINCIPALES YACIMIENTOS DE MOLIBDENITA EN EL MUNDO.

- Climax, Colo. (Estados Unidos). Es el depósito de molibdeno más grande del mundo. La molibdenita se encuentra junto con topacio y fluorita en rocas de cuarzo. A excepción de los años 1958, 1962 y 1965 esta única mina ha producido más del 60 % del molibdeno consumido en el mundo.
- Questa, N. Mex. (Estados Unidos).
- Alice Arm, B.C. (Canadá).
- Knaben (Noruega).
- Minas de cobre, (Chile).

BENEFICIO DE LOS MINERALES DE MOLIBDENO.

Molibdenita:

Este mineral se concentra y se separa de la ganga por flotación. El mineral de la mina se tritura (trituradora de mandíbulas, giratoria y de cono), se clasifica y se muele en un molino de bolas. El mineral molido se clasifica por flotación en agua y las partículas demasiado gruesas se vuelven a moler hasta obtener el tamaño adecuado (menor de 200 mallas), pasando posteriormente a las celdas de flotación. El agente de flotación contiene aceite mineral neutro, aceite de pino y un de-

tergente sintético que asegura una buena mezcla del aceite con el agua. El detergente sintético por lo general es un glicérido sulfatado. Las partículas de molibdenita tienen gran afinidad por el aceite y se pegan a él, e inyectándose posteriormente aire comprimido al agente de flotación se forman burbujas de aceite, que son sumamente resistentes debido a la presencia del aceite de pino, arrastrándose el mineral de molibdeno a la superficie donde se recolecta, se mezcla con agua, se muele en un molino de piedras, se lava el aceite, se filtra y se seca obteniendo así los concentrados de molibdenita. Por lo general la operación de flotación se efectúa en varias celdas de flotación colocadas en serie para obtener un producto lo más concentrado posible. En estas celdas se agrega NaCN con objeto de evitar el arrastre de pirritas y minerales de cobre durante la flotación.

Por el proceso de flotación se obtienen concentrados de molibdenita que presentan aproximadamente el siguiente análisis:

Mo	-	50.00 %
S	-	34.40 %
SiO ₂	-	8.70 %
Al ₂ O ₃	-	1.30 %
CaO	-	0.02 %
MgO	-	0.03 %
Pb	-	0.05 %
Cu	-	0.28 %
Zn	-	0.13 %
Fe	-	0.53 %

P	-	Trazas
Accite mineral		4.47 %

Como en el proceso de concentración anterior solo se beneficia el molibdeno que se presenta en forma de sulfuro, el molibdeno presente en forma de óxido o de molibdatos se recupera de las soluciones de desperdicio por lixiviación y adsorción. El molibdeno presente en dichas soluciones se precipita en forma de molibdatos con SO_2 y H_2SO_4 , los cuales son adsorbidos con carbón vegetal, para luego ser separados con agua y una mezcla de aire y amoníaco formando una solución de molibdato de amonio y ácido molíbdico. Esta solución se evapora para obtener las sales de molibdeno por cristalización que por calcinación forman el óxido de molibdeno (MoO_3).

Cuando la molibdenita se obtiene como subproducto de la producción de cobre se concentra junto con los minerales cupríferos y se separa posteriormente por precipitación como polisulfuro y se concentra luego por flotación. En esta operación lo más importante es obtener un concentrado de molibdeno con el mínimo contenido de cobre posible.

En la Fig.6 se muestra el diagrama de flujo del proceso de concentración de la molibdenita.

PRODUCCION DE MINERALES DE MOLIBDENO EN EL MUNDO.

En la tabla No.2 se indica la producción minero-metalúrgica de minerales y concentrados de molibdeno en el mundo.

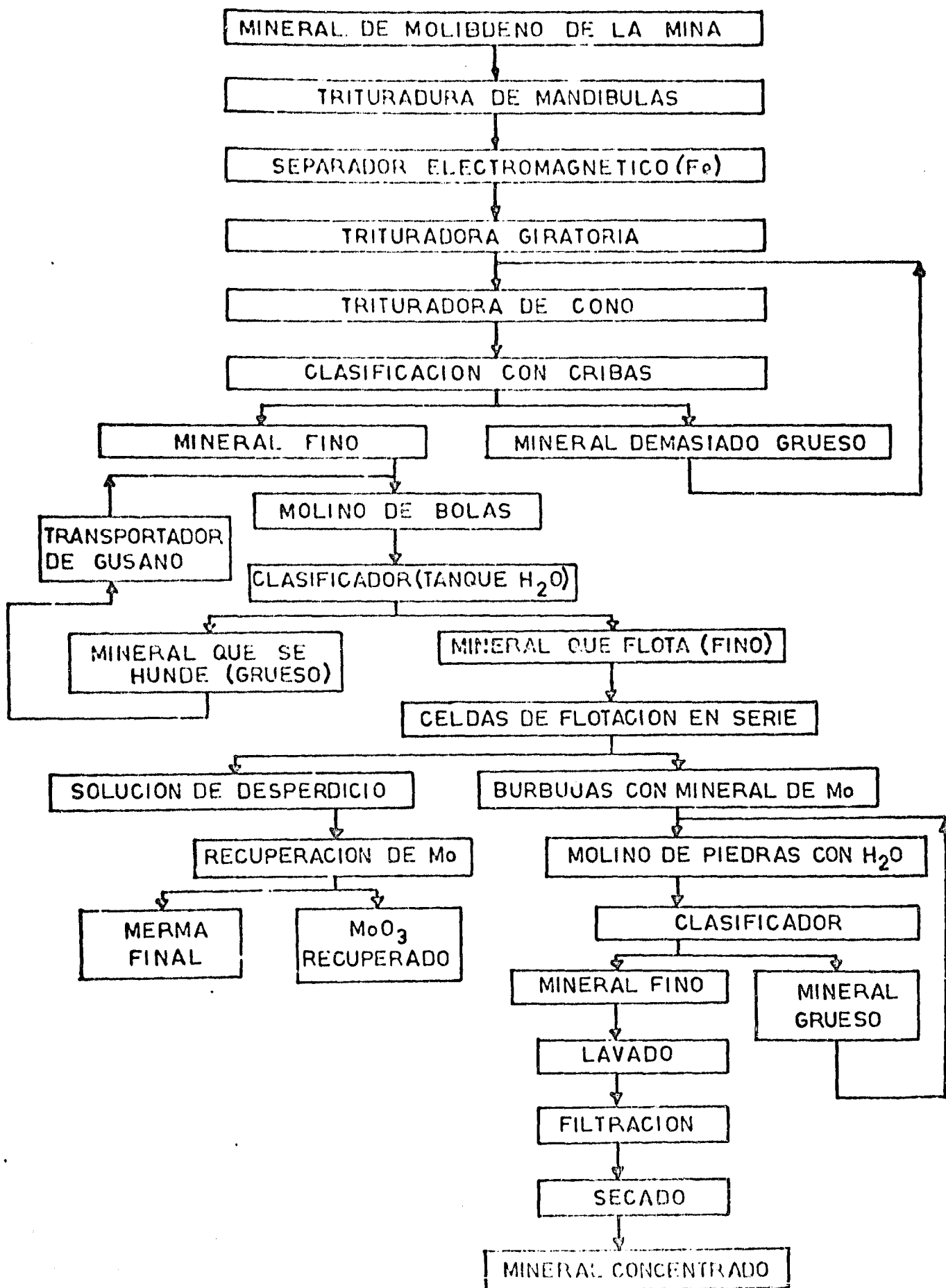


FIG. 6.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CONCENTRACION DE LA MOLIBDENITA

AÑO	PAIS																	TOTAL									
	ALBANIA	ARGENTINA	AUSTRIA	CANADA	CHILE	CHINA	COLOMBIA	CUBA	FRANCIA	INDIA	INDONESIA	JAPAN	MARROCOS	MEXICO	NETHERLANDS	PERU	RUSSIA		SPAIN	SOUTH AFRICA	SOUTH AMERICA	SWEDEN	SWITZERLAND	USSR	YUGOSLAVIA	USA	(c)
1926																									120	272	
1927																									(b)	81	
1928																										81	
1929																										138	
1930																										91	
1931																										91	
1932																										181	
1933																								32	81	81	
1934																								5	88	136	
1935																							7	83	272		
1936																							5	84	454		
1937																							21	159	590		
1938																							25	32	301	816	
1939																							(A)		135	400	
1940																							(A)		18	181	
1941																										45	
1942																										45	
1943																									10	136	
1944																									135	272	
1945																								4	8	800	
1946																							32	32	850	816	
1947																								15	1043	1226	
1948																								16	1555	1733	
1949																								15	1824	1926	
1950																								13	1680	1904	
1951																								5	1421	1587	
1952																								12	1103	1315	
1953																								22	2577	2993	
1954																								53	4246	5125	
1955																								13	5221	6531	
1956																								46	7794	9025	
1957																								27	13442	14785	
1958																								180	15101	16417	
1959																								(b)	77	13752	15600
1960																								(b)	52	15561	17370
1961																								(b)	77	18351	20317
1962																								(b)	25824	29024	
1963																								12	2957	31610	
1964																								20	17541	21451	
1965																								32	13968	16327	
1966																								(b)	72	8264	10840
1967																								(b)	12266	14013	
1968																								09	12112	13635	
1969																								5	10217	11428	
1970																								50	12916	14512	
1971																								18	17621	20272	
1972																								(b)	659	19619	22585
1973																								(b)	871	25961	28416
1974																								(b)	200	26606	28974
1975																								(b)	430	28019	30476
1976																								(b)	2600	28622	28622
1977																								(4200)	2	27557	30295
1978																								(4200)	2	18629	20520
1979																								(4500)	2	23113	26460
1980																								(5000)		30952	33910
1981																								(5000)		30192	33130
1982																								(5700)		23244	36920
1983																								(5700)		20400	34030
1984																								(6400)		29711	35303
1985																								(6200)		35085	44730

Tabla No. 2.- PRODUCCION MINERO-METALURGICA DE MINERALES Y CONCENTRADOS DE MOLIBDENO EN EL MUNDO (TON)

TABLA No. 2.- (Cont.)

- (A) Menos de 500 Kg
- (B) No existen datos estadísticos; estimaciones se incluyen en el total
- (C) En el total además se incluyen pequeñas cantidades producidas en Argentina, Bolivia, Bulgaria, Birmania, Corea del Norte, India, Rodesia, Sierra Leone y Turquía
- (* Se excluye URS y China

Cantidades en paréntesis: valores estimados

FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION MINERO-METALURGICA DE MINERALES Y CONCENTRADOS DE MOLIBDENO EN EL MUNDO.

El fenómeno que tuvo como consecuencia la primera producción en escala industrial de minerales de molibdeno fue la Primera Guerra Mundial. Antes de esta época solo se explotaba el molibdeno con fines meramente científicos y para satisfacer la demanda de los museos. Desde el siglo XVIII hasta 1914 el molibdeno provenía principalmente de Queensland, Australia y Knaben, Noruega. La demanda de molibdeno para la industria militar durante 1914 a 1918 hizo posible la localización de muchos yacimientos de molibdeno, pero una vez terminada la Primera Guerra Mundial el consumo de productos de molibdeno disminuyó en tal forma que para 1919 la mayoría de las minas en el mundo suspendieron su producción. No fue sino hasta 1924 en que la producción minero-metalúrgica de molibdeno se volvió a incrementar, pues se aplicaron los conocimientos adquiridos durante la Primera Guerra Mundial a la producción de aceros aleados con molibdeno. La producción de minerales de molibdeno volvió a aumentar mucho durante la Segunda Guerra Mundial sufriendo una disminución en 1946.

A partir de 1950 se incrementó la producción de minerales de molibdeno debido a la guerra en Corea y a que las naciones europeas y asiáticas destruidas por la Segunda Guerra Mundial trabajaban en el resurgimiento de su industria. Como la mayoría de los países industrializados carecen de recursos naturales de molibdeno, éstos trataron de acumular la mayor cantidad posible de productos de molibdeno, lo que produjo que se creara

un consumo fluctuante y la producción de minerales de molibdeno disminuyó en 1956 a 1960 y en 1962 pues el mercado se encontraba saturado con producción de molibdeno. Actualmente los Estados Unidos han tratado de estabilizar esta situación fluctuante por medio de un control gubernamental de sus exportaciones.

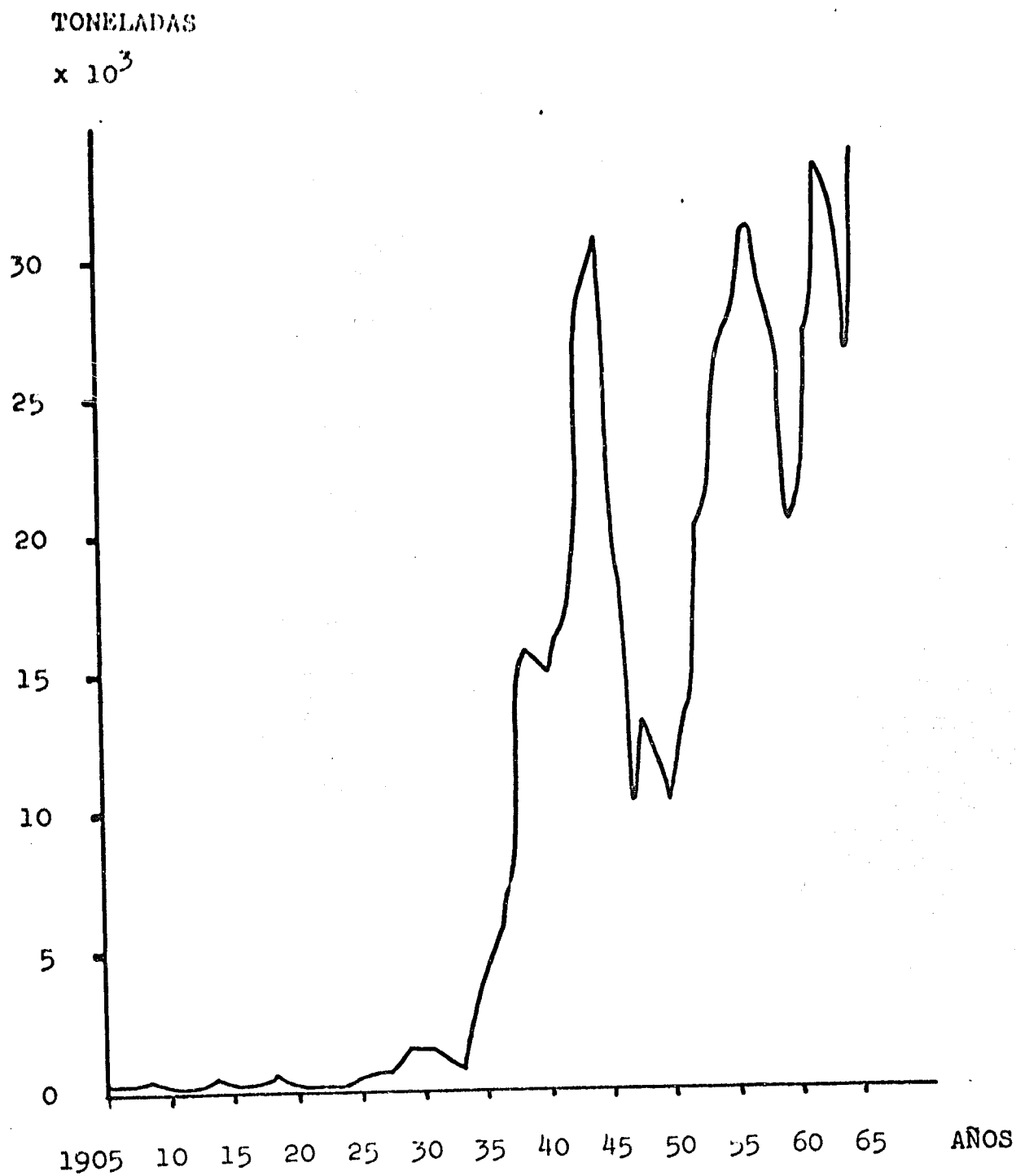
En la gráfica No. 6 se puede apreciar la variación en la producción de minerales de molibdeno en el mundo.

PRODUCCION MINERO-METALURGICA DE MINERALES DE MOLIBDENO EN MEXICO Y SU EXPORTACION.

Las cantidades producidas y exportadas de minerales de molibdeno mexicanos, así como su valor se indican en la tabla No. 3.

FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION MINERO-METALURGICA DE MINERALES DE MOLIBDENO EN MEXICO.

Durante la Primera Guerra Mundial se localizaron en México los primeros yacimientos de molibdeno y debido a que el producto se cotizaba a buenos precios en el mercado mundial se explotaron estos yacimientos. En 1918 el consumo de molibdeno en el mundo disminuyó y México prácticamente no produjo nada de minerales de molibdeno hasta 1930. En el año 1931 la Cía. Greene-Canaan Copper Co. volvió a producir minerales de molibdeno obteniéndolos como subproducto de la explotación de minerales de cobre de baja ley. La producción aumentó en tal forma que en los años de 1934 a 1935 México ocupaba el segun-



Gráfica No. 6.- PRODUCCION DE MINERALES Y CONCENTRADOS DE MOLIBDENO EN EL MUNDO

Tabla No. 3.- PRODUCCION MINERO-METALURGICA DE MINERALES
DE MOLIBDENO EN MEXICO Y SU EXPORTACION

AÑO	PRODUCCION		EXPORTACION	
	CANTIDAD (Kg)	VALOR (\$)	CANTIDAD (Kg)	VALOR (\$)
1924	3,825	13,891		
1925	1,000	3,467		
1926				
1927				
1928				
1929				
1930				
1931	5,709	19,125	5,709	19,125
1932	5,223	13,634	5,223	13,634
1933	66,186	217,047	66,186	217,047
1934	778,000	2,590,508	778,000	2,590,508
1935	1,144,000	3,811,316	1,144,000	3,811,316
1936	890,000	2,964,263	890,000	2,964,263
1937	1,049,315	3,494,217	1,042,647	
1938	805,776	3,305,227	787,668	3,427,012
1939	872,000	4,486,007	872,000	4,486,007
1940	516,000	2,889,243	516,000	2,889,243
1941	869,578	4,246,959	866,342	4,221,733
1942	1,425,815	6,864,860	1,420,716	6,029,117
1943	1,896,879	9,123,989	1,884,832	8,516,437
1944	1,194,971	5,746,293	1,188,206	5,370,692
1945	780,740	3,763,166	773,326	3,495,434
1946	1,363,510	6,564,397	1,360,494	6,222,195
1947	226,914	1,093,727	221,033	1,065,376
1948				
1949				
1950				
1951				
1952				
1953				
1954	119,297	1,695,280	67,427	836,832
1955	41,000	914,854		
1956	24,000	459,975		
1957	22,275	434,141		
1958	42,661	831,461		
1959	44,443	918,637	40,417	635,470
1960	100,492	2,077,168	52,950	31,576
1961	3,021	65,659		
1962	97,218	2,250,598	113,032	2,191,268
1963	68,755	1,591,679	66,577	1,216,680
1964	89,134	2,250,255	106,284	2,781,853
1965	80,926	2,074,133	108,411	3,255,682
1966	149,663	3,835,862	65,036	1,642,622

Tabla No.3.- (CONT.)

P R O D U C C I O N

1 9 6 7	CANTIDAD (Kg)	VALOR (\$)
Enero	8.035	205.937
Febrero	3.282	85.004
Marzo	406	10.877
Abril	9.566	256.273
Mayo	854	22.879
Junio	468	12.538
Julio	11.884	318.372
Agosto	8.197	219.587
Septiembre	8.455	226.509
Octubre	270	7.233
Noviembre	10.832	290.189

do lugar en el mundo como productor de minerales de molibdeno. Este aumento fue debido a 2 factores:

- a) Se encontraron yacimientos con contenidos de molibdenita hasta 50 % $K_2O \cdot S_2$.
- b) La demanda de productos de molibdeno durante la Segunda Guerra Mundial se incrementó mucho, y aunque los Estados Unidos son autosuficientes en el abastecimiento de minerales de molibdeno no pudieron cubrir la demanda de su industria militar por lo que importaron los minerales de molibdeno desde México.

En 1948 volvió a suspenderse la explotación de minerales de molibdeno en México y a partir de 1954 se producen solo en pequeñas cantidades por muchos pequeños mineros que venden los minerales a agentes y compradores de negociaciones más fuertes que por lo general exportan el mineral, pues el molibdeno todavía no se procesa en México.

YACIMIENTOS DE MOLIBDENO EN MEXICO.

En la Fig.7 se indican los principales yacimientos de minerales de molibdeno en México. Aunque en México solo se ha explotado la molibdenita también se ha encontrado molibdita, wulfenita y powellita, principalmente en el estado de Sinaloa y Chihuahua (municipios de Tinajas y Guadalupe y Calvo). Toda la producción de minerales de molibdeno en México ha proveni-
do del estado de Sonora de los siguientes municipios:

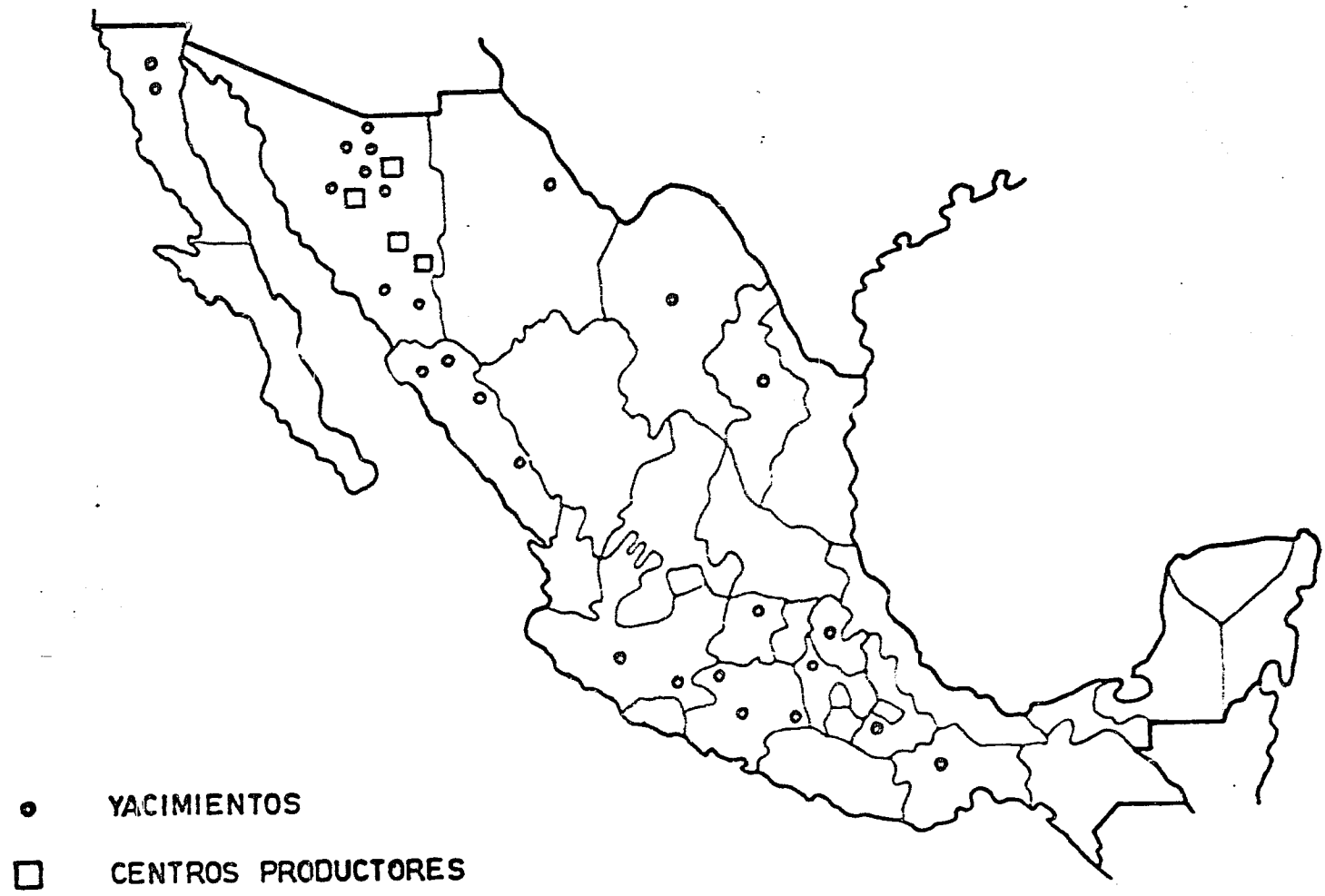


FIG.7.- YACIMIENTOS Y CENTROS PRODUCTORES DE MINERALES DE MOLIBDENO EN MEXICO

Sahuaripa y Nogales (molibdenita de alta ley); Baviácora, Bacanora, Nacozari de García y Yécora (molibdenita con 0.5 - 3.0 % de Mo en el mineral) y de Cananea (como subproducto en la extracción de cobre de baja ley con menos de 0.5 % de Mo en el mineral).

COMPAÑIAS MINERAS QUE ACTUALMENTE PRODUCEN MINERALES DE MOLIBDENO EN MEXICO.

Se indica el nombre de la compañía, su localización, la concentración de molibdeno en el mineral, su capacidad máxima de explotación del mineral sin concentrar, su proceso de beneficio del mineral y el destino de su producción.

- Cía. Minera de Hermosillo, S.A.; Baviácora, Son.; 1 % de Mo; 10 ton/día; flotación de Mo; México, D.F.
- Cía. Minera el Satélite, S.A.; Bacanora, Son.; 1 % de Mo; 20 ton/día; flotación de Mo; C. Tennant Co. N.Y. (Exportación).
- Minera Montecristo, S.A.; Nacozari, Son.; 0.5 % de Mo y 3 % de Cu; 80 ton/día; flotación de Cu y Mo; Fundición Asarco, El Paso, Tex. (Exportación).
- Cía. Minera Galaviz, S.A.; Yécora, Son.; 1.5 % de Mo; 60 ton/día; flotación de Mo; Ferroaleaciones de México, S.A., Gómez Palacio, Dgo.

Otras compañías que producen molibdeno en cantidades menores son:

- Cía. Minera el Encinal, Yécora, Son.
- Cía. Minera Bemnewileo, Nacozari, Son.
- Mineras América, Nacozari, Son.
- Cía. Minera Sta. Bárbara, Son.

La empresa que concentra y distribuye el molibdeno producido en el estado de Sonora es la Comisión de Fomento Minero de Hermosillo.

DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA EN MEXICO.

En México no se han estimado las reservas de minerales de molibdeno y su producción ha sido muy variable y se ha debido al poco interés que se ha puesto en su explotación. Solo se produjeron minerales de molibdeno al encontrarse yacimientos ricos en mineral y fáciles de explotar que por lo general son muy pequeños o cuando la demanda de este producto producía un alza de precio y hacía costear la explotación de yacimientos pobres en mineral de molibdeno.

La materia prima existe en cantidad suficiente para establecer una industria productora de productos elaborados de molibdeno (Fe-Mo), pero debe darse un impulso a la minería del molibdeno para asegurar una producción minero-metalúrgica constante y uniforme tanto en cantidad como en calidad, así como para descubrir nuevos yacimientos y estimar las reservas actuales. Es de gran importancia que se evite la exportación

de la materia prima para asegurar el abastecimiento de minerales de molibdeno en el país.

PRECIO DE LOS CONCENTRADOS DE MOLIBDENO EN MEXICO.

La molibdenita en México se vende a un precio entre \$ 25.- y \$ 30.- M.N. dependiendo de la concentración del mineral (80 - 95 % MoS_2).

En el anexo 1 se encuentra una lista de proveedores de mineral de molibdeno en el mundo.

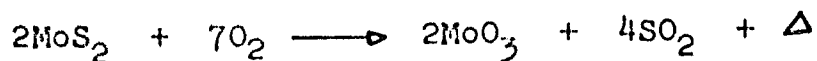
ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE
FABRICACION

CALCINACION DE LA MOLIBDENITA.

Se desea obtener óxido de molibdeno.

Materia prima: Molibdenita molida que contiene de 80 a 95 % de MoS_2 y de 5 a 10 % de humedad.

La reacción que se efectúa es la siguiente:



Las propiedades del MoO_3 hacen necesario un control muy estricto durante el desarrollo del proceso de calcinación, pues el óxido empieza a sublimar a 593°C , es sumamente volátil a 704°C y funde a 796°C .

La calcinación se efectúa en un horno de pisos (raras veces en hornos rotatorios). Los pisos están contruidos de tal forma que alternadamente tienen aberturas en el centro y en la periferia del horno, para que con ayuda de un agitador vertical de aspas el material sea removido y transportado por arrastre mecánico hacia el centro o a la periferia de cada uno de los pisos y pueda caer por gravedad al siguiente. La velocidad de transporte del mineral a través del horno es función de la velocidad de giro del agitador que puede ser regulada con un variador de velocidad y del ángulo en que están colocadas las cucharas de arrastre en las aspas. La altura del mineral (espesor) en cada piso varía de 7 a 10 cm.

La calcinación se efectúa únicamente en presencia de aire, el cual es alimentado por compuertas laterales en cada piso. Los gases producidos durante la calcinación son desalojados individualmente de cada piso a una chimenea que produce un tiro natural en el horno.

La reacción de calcinación es exotérmica y por si sola puede formar un producto que contenga de 0.5 a 1.0 % de azufre, pero para obtener un producto con 0.05 % de S máximo el horno debe mantenerse a una temperatura uniforme de 650° C, lo cual se logra calentando algunos de los pisos con quemadores automáticos colocados tangencialmente debajo de ellos. El combustible empleado por lo general es diesel.

Cada piso tiene un termopar para poder controlar su temperatura, la cual se regula con la admisión de aire.

Durante la calcinación hay pérdidas de molibdeno por volatilización y arrastre y debido a su elevado costo deberá recuperarse la mayor cantidad posible instalando en la chimenea un colector electrostático de polvos y un filtro de bolsas.

Funcionamiento y control del proceso:

El horno deberá precalentarse a una temperatura máxima de 650° C. El mineral se alimenta por la parte superior con un transportador de gusano. En el primer piso se elimina por destilación la humedad y el aceite de flotación presentes. En este piso no deberá existir un exceso de aire para evitar que el aceite destilado se incendie y produzca una elevación de temperatura incontrolable.

La calcinación empieza en el segundo piso y puede ser observada perfectamente, pues el mineral forma una masa en ignición.

En este proceso no se pueden fijar condiciones de trabajo. Las temperaturas y la velocidad de avance del mineral en el horno deberán fijarse de acuerdo con la pureza de la molibdenita disponible. En este proceso no es posible eliminar la ganga presente. Deberán efectuarse pruebas experimentales para establecer condiciones óptimas de operación que permitan obtener la máxima calidad en el producto (mínima cantidad de azufre) y el mejor rendimiento posible.

El SO_2 producido arrastra de 10 a 12 % del molibdeno alimentado en forma de sulfuro (90 %) y en forma de óxido (10 %). Una vez recuperado el molibdeno en el colector y en el filtro los gases abandonan la chimenea a una temperatura de 150 a 200° C.

Los compuestos de molibdeno recuperados se vuelven a mezclar con molibdenita y se alimentan nuevamente al horno, el cual deberá ser limpiado periódicamente para recuperar el material aglomerado y fundido en él.

Resultados:

El MoO_3 obtenido tiene una pureza de 80 a 90 %. El producto calcinado tiene un color amarillo pálido y se presenta como polvo fino conteniendo pedazos de hasta 3 cm de diámetro. El producto se muele en un molino de martillos y en forma de polvo se envía a la planta de Fe-Mo.

Rendimiento:

En las condiciones óptimas de operación se puede obtener un rendimiento del 88 al 90 % con respecto al molibdeno alimentado y al reprocesar los compuestos recuperados se puede lograr hasta un 99 %.

El proceso de la calcinación es el más crítico en la producción de Fe-Mo. Un mal control de la temperatura produce pérdidas y bajos rendimientos. Temperaturas muy elevadas producen volatilización y con ello pérdidas de tiempo y dinero en la recuperación; temperaturas muy bajas y velocidades de transporte del mineral muy altas producen una eliminación incompleta del azufre, teniendo que volver a reprocesar el producto, lo cual resulta antieconómico.

Siempre se determinará el peso y el contenido de molibdeno, tanto en la materia prima como en el producto, para llevar un control estricto en el rendimiento y en el costo del proceso de calcinación.

Consumo de combustible: 50 - 60 Kg diesel / ton de producto.

Mano de obra necesaria: 2 obreros.

En la Fig.8 se muestra un horno de calcinación para la producción de óxido de molibdeno a partir de molibdenita y en la Fig.9 el diagrama de flujo del proceso de calcinación.

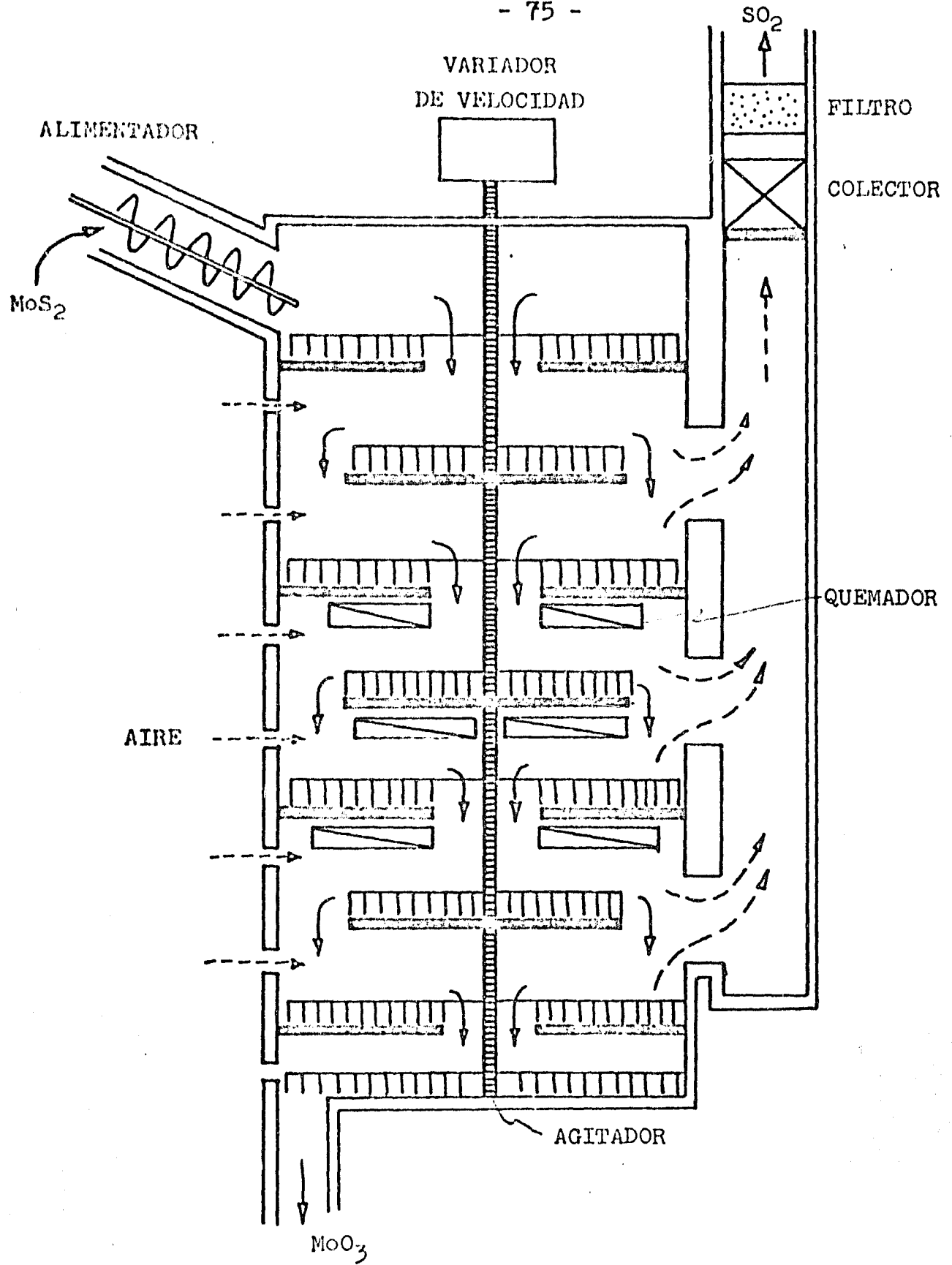


Fig.8.- HORNO DE CALCINACION PARA PRODUCIR OXIDO DE MOLIBDENO A PARTIR DE MOLIBDENTITA

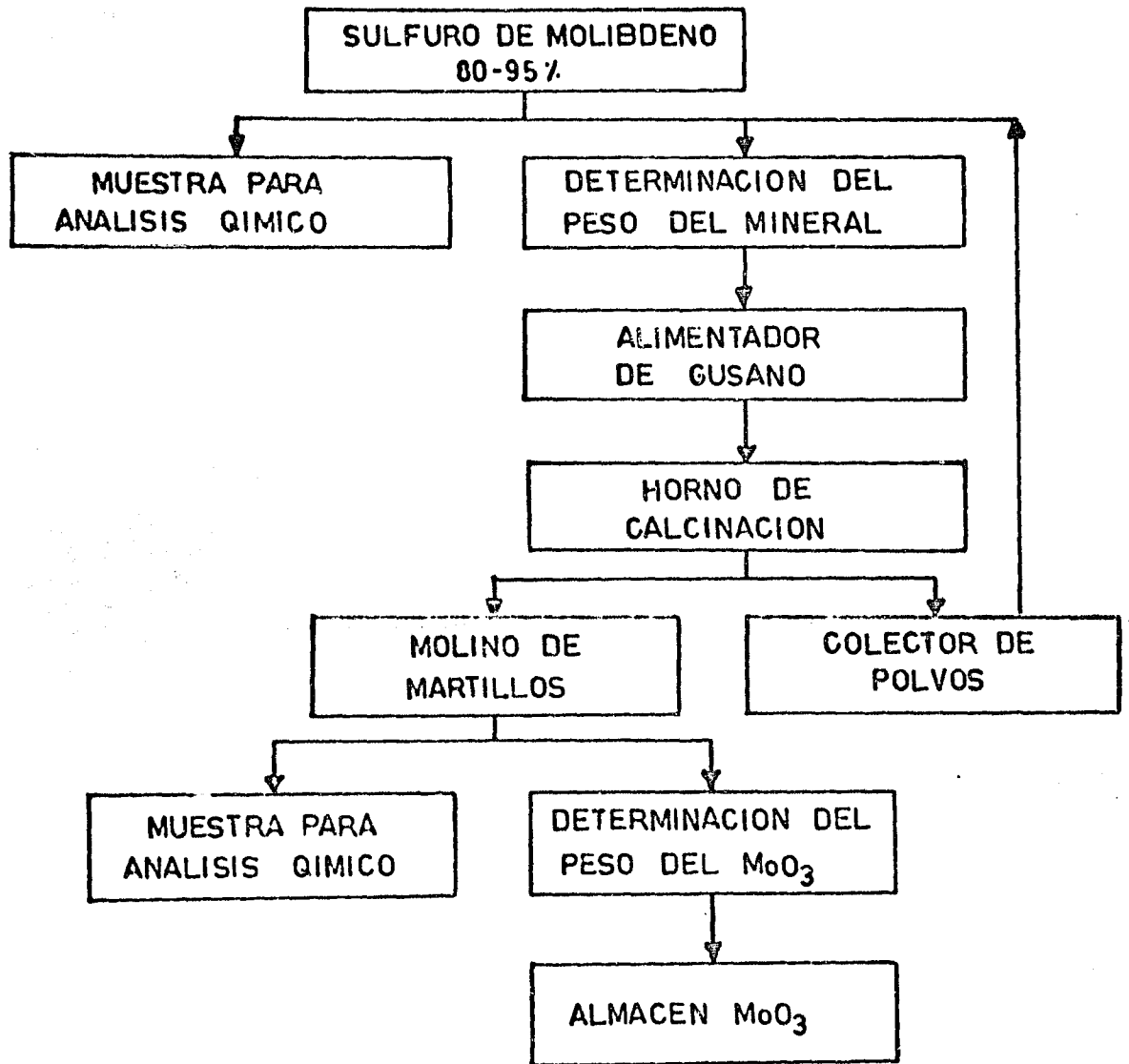


FIG. 9.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CALCINACION DE LA MOLIBDENITA

REDUCCION DE MoO_3 A Fe-Mo EN HORNO ELECTRICO DE ARCO.

Se desea obtener Fe-Mo con contenido de molibdeno de 65 a 75 % y el mínimo contenido de carbono posible.

Equipo necesario:

Para la producción de ferroaleaciones se prefieren usar pequeños hornos eléctricos de arco que consumen de 300 - 500 kWh. Por lo general son monofásicos con un solo electrodo y su electrodo de piso correspondiente. No se emplean unidades grandes y de elevado consumo de energía debido a su alto costo y a la dificultad que presentan en el manejo de los bloques de metal fundido. En la producción de Fe-Mo no se llega completamente al estado líquido debido a su elevado contenido de molibdeno, siendo imposible el vaciado del producto. El horno eléctrico de arco siempre incluye al equipo eléctrico correspondiente (transformador, cables, buses, controles, etc.).

El electrodo en los hornos monofásicos está suspendido de cables y debe poder elevarse y descenderse con facilidad. El recipiente del horno está montado sobre ruedas metálicas y su interior está revestido con dolomita alquitranada. Al rededor del electrodo de piso se coloca una masa de grafito que protege sus elementos metálicos de las elevadas temperaturas y asegura una buena conducción de la corriente eléctrica.

A diferencia de los hornos eléctricos de arco empleados para la producción de aceros en aquellos usados para la producción

de ferroaleaciones, el electrodo penetra en la masa fundida y la energía eléctrica se consume principalmente para llevar a cabo reacciones químicas.

Sobre el horno de reducción de Fe-Mo se debe colocar una campana y un extractor de tiro forzado que recoja los polvos producidos durante la reducción y se recuperen en un filtro de bolsas.

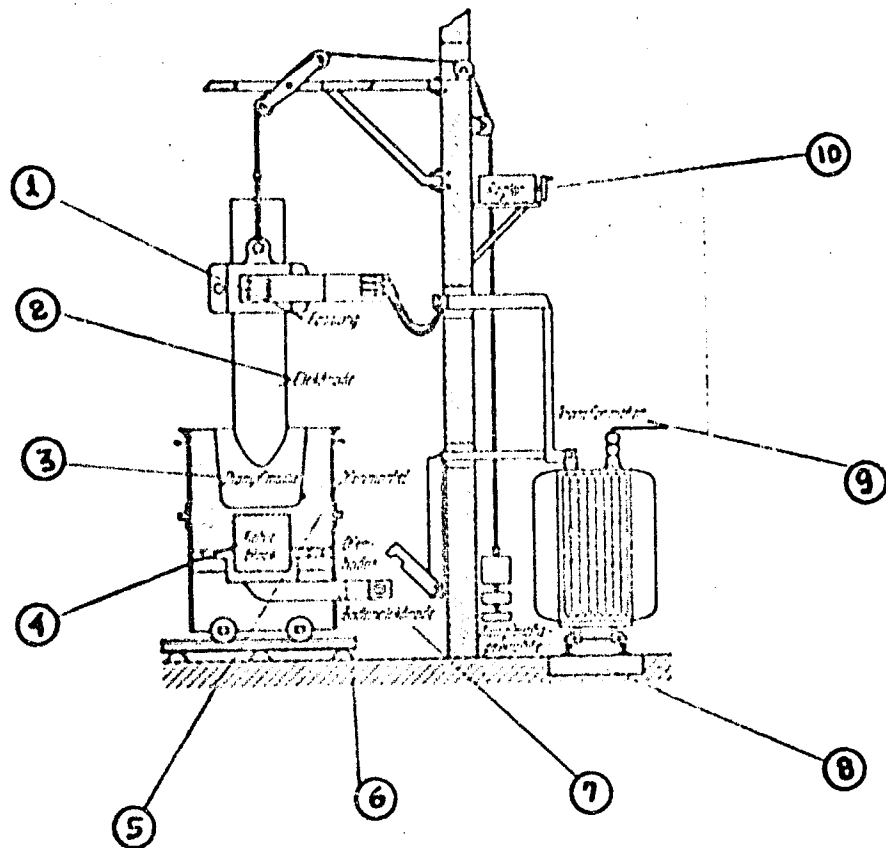
En la Fig.10 se muestra un horno eléctrico de arco monofásico para la producción de Fe-Mo.

Materias primas:

- MoO_3 (obtenido de la calcinación de la molibdenita)
- Merma de Fe-Mo (producto recuperado en la clasificación del Fe-Mo)
- MoO_3 recuperado (de la escoria, de los polvos y de los residuos que quedan en el electrodo de grafito)
- Chatarra de primera o polvo de fierro
- CaO (96 % min.)
- CaF_2 (95 % min.)
- Coque o carbón vegetal
- Fe_3O_4 (magnetita o escama de laminación o de forja)

Preparación de las materias primas:

Para evitar la sublimación del MoO_3 al agregarlo al baño fundido se prefiere producir pastillas (briquets) de MoO_3 con un reductor y un aglutinante que lo protegen. Se producen dos tipos de pastillas:



- ① Soporte
- ② Electrodo
- ③ Revestimiento refractario
- ④ Bloque de carbono
- ⑤ Pared del horno
- ⑥ Piso del horno
- ⑦ Electrodo de piso
- ⑧ Contrapesos
- ⑨ Transformador
- ⑩ Regulador



QUIMICA

Fig.10.- HORNO ELECTRICO DE ARCO PARA LA PRODUCCION DE Fe-Mo

- a) Pastillas ricas en carbono (MoO_3 , CaO , polvo de fierro y coque en exceso humedecidos con agua).
- b) Pastillas pobres en carbono (MoO_3 , CaO , polvo de fierro y solo una pequeña cantidad de coque humedecidos con agua).

Los componentes se pesan, se mezclan y se comprimen en forma de pastillas (12 x 12 x 5 cm aprox.), con objeto de poder agregarlos desde cierta distancia al horno en funcionamiento.

Desarrollo del proceso:

El horno vacío debe ser precalentado con un poco de merma de Fe-Mo y algunos restos de escoria de una fusión anterior (protección contra sublimación). Se agregan pastillas de materia prima ricas en carbono, se cubren con escoria y los óxidos presentes se reducen consumiendo determinada cantidad de energía eléctrica (kWh). Posteriormente se agregan pastillas pobres en carbono para refinar y disminuir la cantidad del reductor (C) en el producto.

Alternando reducción y refinación (adición de pastillas ricas en C y pastillas pobres en C respectivamente) se llena el horno.

Durante todo el proceso el fundidor debe mantener la escoria lo suficientemente básica (agregando CaO) y fluida (agregando CaF_2 o Al_2O_3).

Una vez lleno el horno se deben tomar muestras de la fundición (cuchara de muestreo) para asegurar la uniformidad de la fusión. En la viscosidad del bloque metálico el fundidor puede

reconocer si el contenido de molibdeno es el adecuado. El ajuste se hace agregando pastillas pobres en carbono (aumento) o chatarra, magnetita o polvo de fierro (disminución). Este ajuste requiere mucha experiencia por parte del fundidor.

Terminada la reducción se suspende el suministro de energía eléctrica y se retira el recipiente del horno, se deja enfriar un poco y se saca el bloque metálico que se introduce en agua para facilitar su trituración. El producto se clasifica eliminando la escoria y la merma de ferromolibdeno (producto alto en contenido de carbono, con incrustaciones de escoria o de fusión incompleta). El Fe-Mo escogido se tritura (trituradora de mandíbulas), se analiza su contenido de Mo y C principalmente, se pesa, se selecciona de acuerdo con su tamaño y se empaca.

Resultados:

A continuación se indican las cantidades necesarias para la producción de una tonelada de Fe-Mo (datos aproximados):

MoO ₃	1,160 Kg
Merma Fe-Mo	280 Kg
MoO ₃ recuperado	165 Kg
Chatarra de 1 ^a	172 Kg
CaO	150 Kg
CaF ₂	150 Kg
Coque	255 Kg
Fe ₃ O ₄	290 Kg

Para la reducción se consumen 95 Kg de grafito del electrodo, 4,300 kWh y se necesitan 19 horas para la fusión.

Productos obtenidos:

Fe-Mo	1,000 Kg
Merma Fe-Mo	270 Kg
Polvo	66 Kg

Las cantidades requeridas y el consumo necesario tanto en energía como en tiempo varían mucho con la calidad de las materias primas. Para obtener un producto de calidad uniforme hay que efectuar cargas experimentales para encontrar las condiciones y cantidades óptimas de operación.

Calidad del producto:

Por este proceso de reducción se obtiene un Fe-Mo con 65 - 75 % de Mo y 0.5 - 2.5 % de C (puede obtenerse hasta 0.10 % de C). Las cantidades de S, P, C, Al y Si deben ser mínimas.

Recuperación del molibdeno de los residuos:

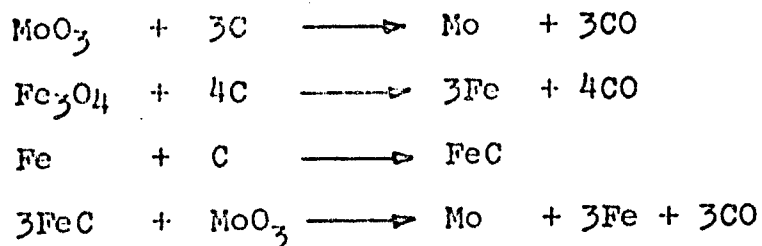
Los polvos recogidos en el colector, que pueden contener hasta 20 % de MoO_3 (resto CaO principalmente), las proyecciones de escoria producidas por la eliminación de gases y la escoria que queda en el cráter del electrodo, que pueden contener de 10 a 12 % de MoO_3 , se muelen, se mezclan, se prensan para formar pastillas junto con coque y agua y se funden junto con las escorias producidas durante la reacción de reducción en el mismo horno eléctrico empleado para la producción de Fe-Mo.

La reducción será completa cuando la escoria presente un color claro y debido al bajo contenido del molibdeno la masa fundida es completamente líquida. Terminada la reacción la mezcla se vacía en un molde de arena, se deja enfriar, se elimina la escoria y el producto se emplea nuevamente como MoO_3 recuperado. Contiene de 35 a 50 % Mo, 1 - 2 % Si y 6 - 8 % C.

Capacidad del horno eléctrico de 300 kW:

1 - 1.5 ton de Fe-Mo/día.

Reacciones químicas que se efectúan:



Rendimiento:

Operando el horno en condiciones óptimas, incluyendo el MoO_3 recuperado se puede obtener un rendimiento de 96 a 98 % con respecto al molibdeno transformado a Fe-Mo.

En la Fig.11 se muestra el diagrama de flujo de la reducción de MoO_3 a Fe-Mo en el horno eléctrico de arco.

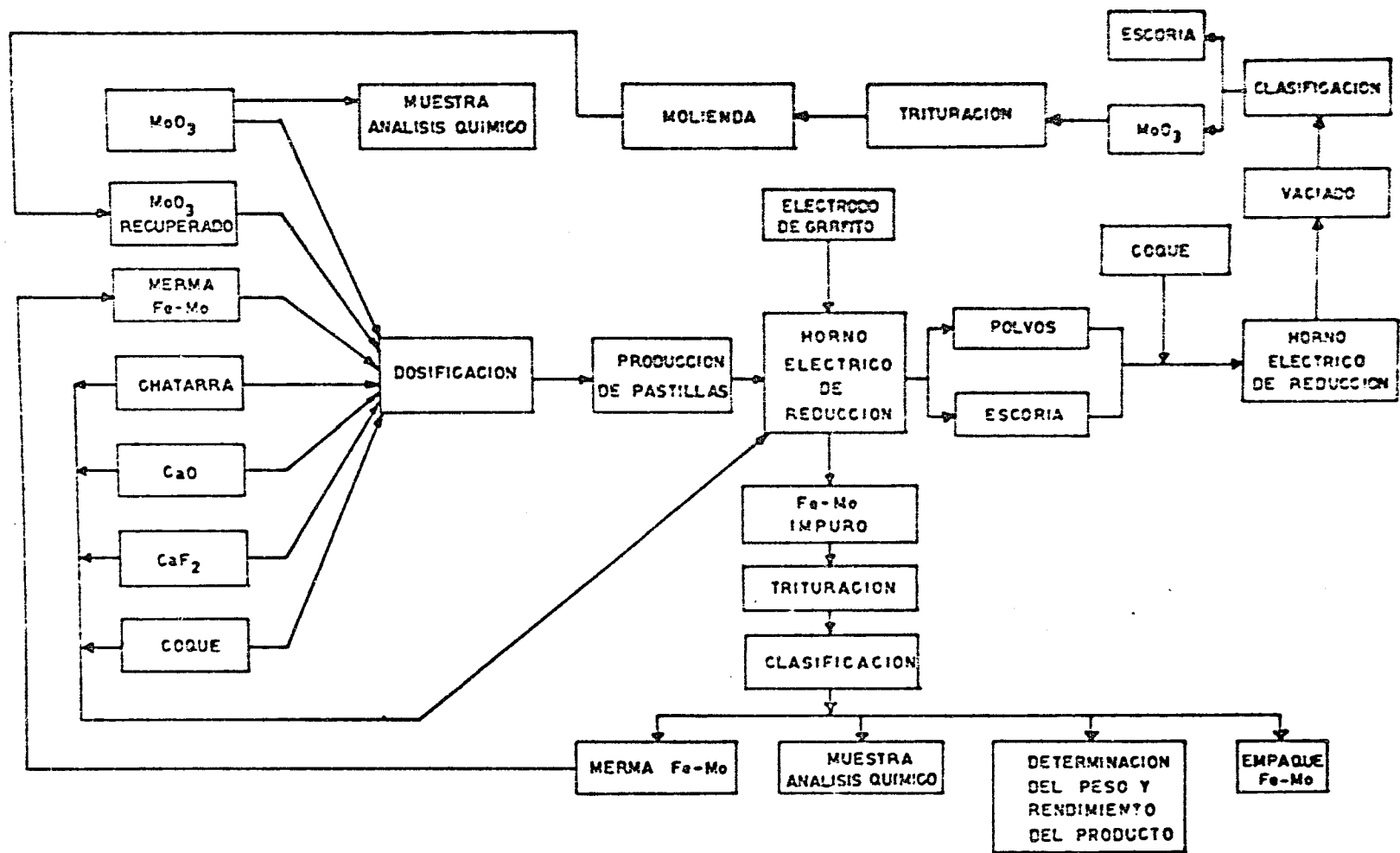


FIG. 11.- DIAGRAMA DE FLUJO DE LA REDUCCION DE MoO₃ A Fe-Mo EN EL HORNO ELECTRICO DE ARCO.

REDUCCION SILICOTERMICA DE MoO_3 a Fe-Mo.

Bases metalúrgicas:

Empleando aluminio como reductor se producía una reacción tan violenta que tenía como consecuencia grandes pérdidas de MoO_3 por sublimación y arrastre. Desde 1900 se prefirió sustituir al aluminio por silicio (en forma de aleaciones), pero debido al menor calor de combustión del último la mezcla estequiométrica de MoO_3 con Si no reaccionaba sin una fuente de energía externa, pero se vió que agregando cierta cantidad de aluminio se lograba un desarrollo espontáneo de la reacción de reducción.

Debido a razones económicas se prefiere usar Fe-Si (75 %) y como acelerador de la reacción polvo de aluminio o calcio en forma de Ca-Si (30/60 resto Fe y Al). Como se desea obtener un Fe-Mo de aproximadamente 70 % de molibdeno se debe agregar fierro en forma de chatarra, polvo de fierro o magnetita.

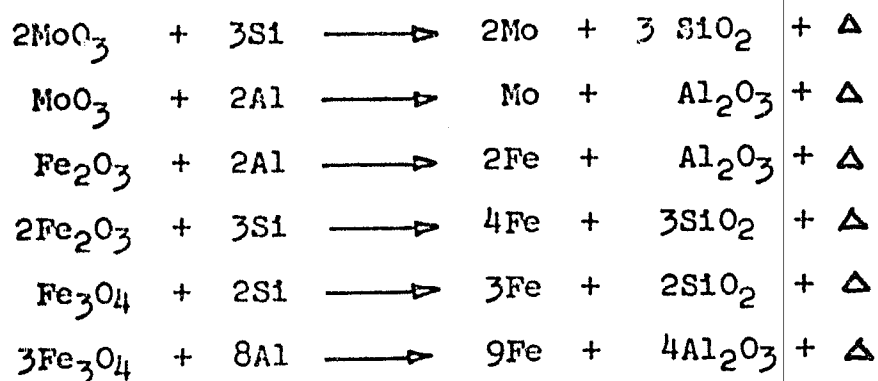
Como debe recuperarse el MoO_3 de la escoria, se prefieren obtener escorias de baja viscosidad y de fácil manejo, lo cual se obtiene mejor en el proceso silicotérmico acelerado con Ca-Si. Las escorias del proceso aluminotérmico son muy duras y tenaces. Agregando un exceso de óxido de fierro que en la escoria a base de SiO_2 aparecerá como FeO se disminuye su viscosidad y punto de fusión, lo cual es un efecto favorable.

También así se logra una recuperación del 99 % de Mo en el

producto sin que pase una cantidad demasiado elevada de Si o Al a él. El FeO en la escoria actúa como regulador en este aspecto.

Como punto de partida para establecer una mezcla adecuada para producir Fe-Mo por el proceso silicotérmico solo sirven las cantidades de calor liberadas en las reacciones de reducción.

Las reacciones que se efectúan son las siguientes:



Calores de formación:

SiO_2 : 205.0 Kcal/g mol de óxido

Al_2O_3 : 393.3 Kcal/g mol de óxido

Una mezcla de reacción satisfactoria solo se puede establecer después de efectuar cargas experimentales minimizando la pérdida de MoO_3 y logrando máximo Mo y mínimo C, S, Si, P y Al en el producto.

De datos experimentales de varias plantas en el mundo se han establecido las siguientes mezclas para el proceso silico y silico-aluminotérmico empleando MoO_3 (90 %) en polvo:

Empleando aluminio como acelerador:

MoO ₃	100 Kg
Fe-Si (75 %)	35 Kg
Polvo de aluminio	10 Kg
Limadura de fierro	6-7 Kg
Escama de forja	37 Kg

Empleando calcio como acelerador:

MoO ₃	100 Kg
Fe-Si (75 %)	24-25 Kg
Ca-Si (30/60)	19-20 Kg
Escama de laminación	18-20 Kg
Limadura de fierro	20 Kg

Como en el caso de los procesos anteriores estas cantidades deben ajustarse a la materia prima disponible pues entre mayor sea la ganga del MoO₃ (SiO₂ principalmente), mayor será la cantidad de energía necesaria para la reducción.

Se ha determinado experimentalmente que con cargas de 300 a 500 Kg de MoO₃ las pérdidas por sublimación son mínimas, pues su contenido en la escoria es de solo 0.3 - 0.5 % Mo. El molibdeno en la escoria generalmente se presenta como inclusiones de Fe-Mo o en forma de óxidos de bajo grado, muy raras veces en forma de molibdeno metálico.

La reacción tarda de 20 - 30 minutos para completarse.

Desarrollo del proceso:

Todas las materias necesarias para la mezcla térmica deberán estar perfectamente secas y pulverizadas. Las materias

primas se pesan, se mezclan (mezcladora de rodillos) y se adicionan al horno.

El horno consiste de una coraza de fierro fundido o de acero soldado en forma de pirámide truncada que se coloca sobre una base metálica del mismo material que se encuentra sobre ruedas metálicas y tiene una capacidad de 0.5 - 1.0 metros cúbicos. El interior del horno es revestido con tabiques refractarios para evitar pérdidas de calor y con tabiques Klinker recocidos que protegen al refractario del metal fundido. Los tabiques recocidos se colocan con mortero refractario y deben renovarse en cada fusión. Los ladrillos refractarios bien protegidos resisten varias fusiones. (Ver Fig.12).

Cargado el horno se enciende la mezcla para llevarla a su temperatura de activación con 10 g de una mezcla de ignición (peróxido de sodio o KMnO_4 y polvo de aluminio en relación 5 : 2) y con una flama o una tira de magnesio metálico encendida. El horno de reducción encendido se lleva a una cámara de reacción provista de una campana, un extractor de tiro forzado y un colector de polvos (filtro de bolsas). Aunque la mezcla de reacción está compuesta de tal forma que el calor liberado se distribuya a un lapso de tiempo de 20 a 30 minutos, no se puede evitar una pequeña sublimación de MoO_3 (si la reacción fuera más violenta, de 3 a 4 minutos, existirían pérdidas de 15 - 20 % del MoO_3 alimentado).

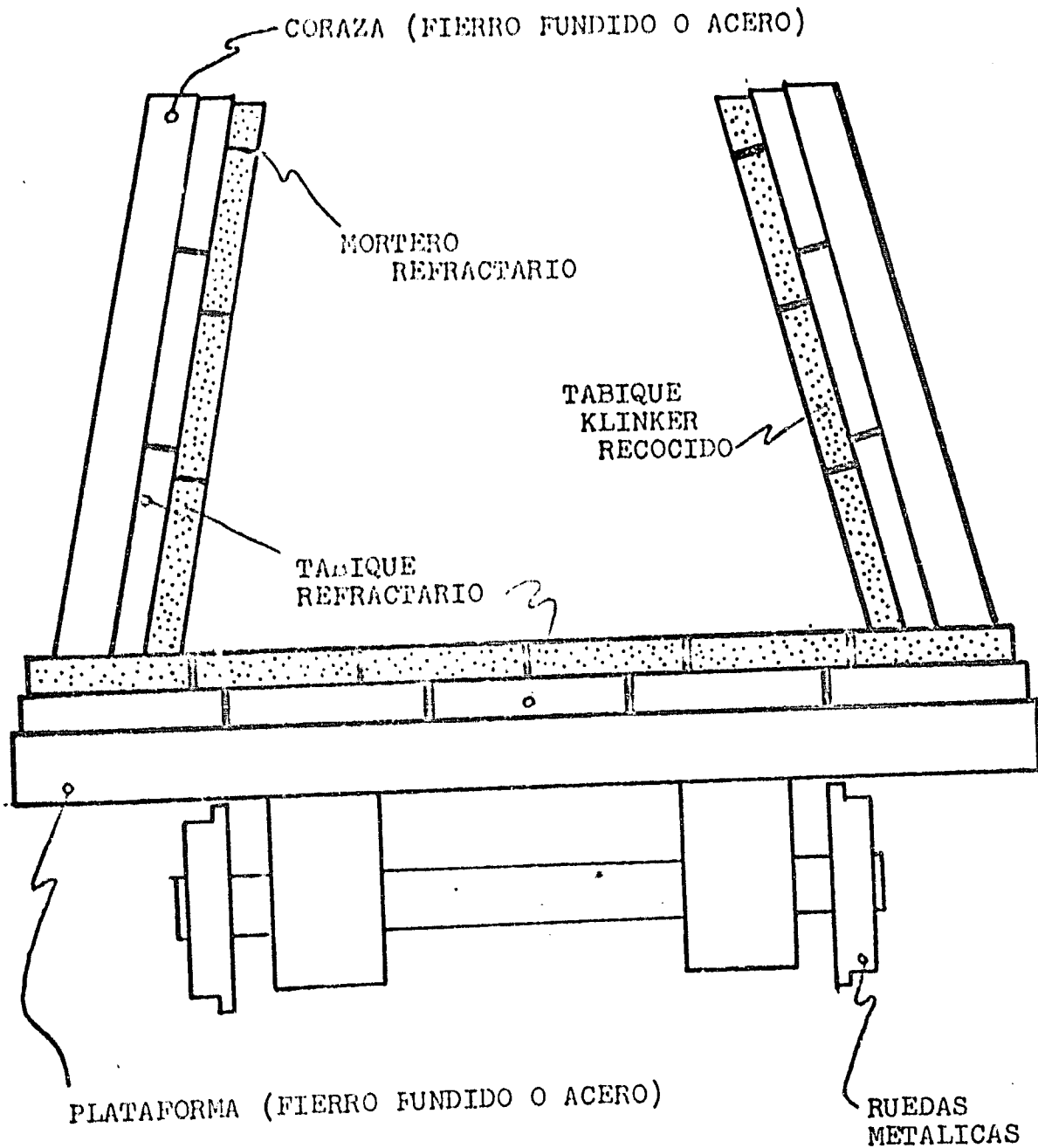


Fig.12.- HORNO DE REDUCCION PARA LA PRODUCCION DE Fe-Mo POR EL PROCESO SILICOPERMICO

Terminada la reacción la escoria de polisilicatos sigue líquida de 2 - 3 horas, por lo que solo se espera a que solidifique el bloque metálico (30 - 60 min) y pasándose el horno a una cama de arena se levanta la coraza del horno con una garrucha y se elimina la escoria líquida. El resto de la escoria se separa fácilmente una vez frío el bloque metálico. La coraza del horno aún caliente puede colocarse sobre una nueva base, revistiendo el interior con tabiques y mortero refractario y secándolo con un quemador diesel, puede emplearse para una nueva fusión.

Resultados:

El análisis del bloque de Fe-Mo fluctúa entre los siguientes límites:

Mo	:	68 - 72 %
C	:	0.05 - 0.10 %
Si	:	0.5 - 1.5 %
S	:	0.03 - 0.06 %
P	:	Trazas
Al	:	Trazas
Cu	:	Trazas
Fe	:	Resto

La pureza del Fe-Mo es función de la pureza de las materias primas (principalmente MoO_3).

El bloque de Fe-Mo libre de escoria se tritura (quebradora de impacto) y el producto se selecciona, donde todavía se pierden de 8 - 9 % de Fe-Mo debido a las incrustaciones de escoria y a la fusión incompleta. El Fe-Mo se clasifica de

acuerdo con su tamaño, se analiza químicamente y se empa-
ca en sacos de yute reforzados.

Rendimiento:

Se obtiene un rendimiento del 97 al 98 % con respecto al
Mo alimentado, tomando en cuenta que se recuperan 1.5 -
2.0 % del MoO_3 agregado en la mezcla térmica en el colec-
tor (contiene de 15 - 20 % de MoO_3) y los 8 - 9 % de Fe-Mo
considerado como merma en la selección. La merma se muele
(molino de martillos) y junto con el polvo recuperado se
añade directamente al horno de reducción.

Agregando el equivalente a 300 Kg de molibdeno en la carga
se obtienen bloques de fusión de 400 a 450 Kg.

Mano de obra necesaria: 2 obreros

Otra mezcla para la reducción silico-aluminotérmica de MoO_3
a Fe-Mo es la siguiente:

MoO_3	1300 Kg
Al (93 %)	116 Kg
Fe-Si (50 %)	1122 Kg
Fe_2O_3 (69 % Fe)	618 Kg
CaO	160 Kg
CaF_2 (95 %)	50 Kg

En general dependiendo de la concentración del MoO_3 se tra-
baja con mezclas para la reacción térmica que varían en la
siguiente forma:

Relación Si : Al desde 90 : 10 hasta 70 : 30

Relación Fe_3O_4 : Fe desde 30 : 40 hasta 80 : 20

CaO de 0 - 12 % con respecto al MoO_3

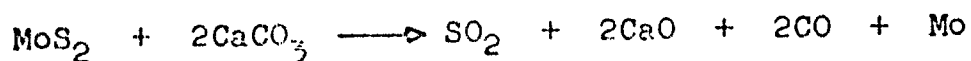
Para obtener un producto bajo en azufre se puede sustituir CaO por $CaCO_3$.

En la Fig.13 se muestra el diagrama de flujo de la reducción silicotérmica de MoO_3 a Fe-Mo.

OTROS METODOS DE REDUCCION (sin importancia industrial).

Materia prima: molibdenita

a) Reducción directa con C y $CaCO_3$ en horno eléctrico.



b) Reducción directa con Fe-Si y CaO en horno eléctrico.



Desventaja de estos métodos: hay que hacer varias fusiones para obtener un Fe-Mo bajo en azufre, lo cual provoca pérdidas de molibdeno.

Rendimiento: 80-90 % max.

Para recuperar el molibdeno de la escoria y de los polvos se han empleado métodos de intercambio iónico (muy costoso) y de lixiviación con Na_2S principalmente (muy lento).

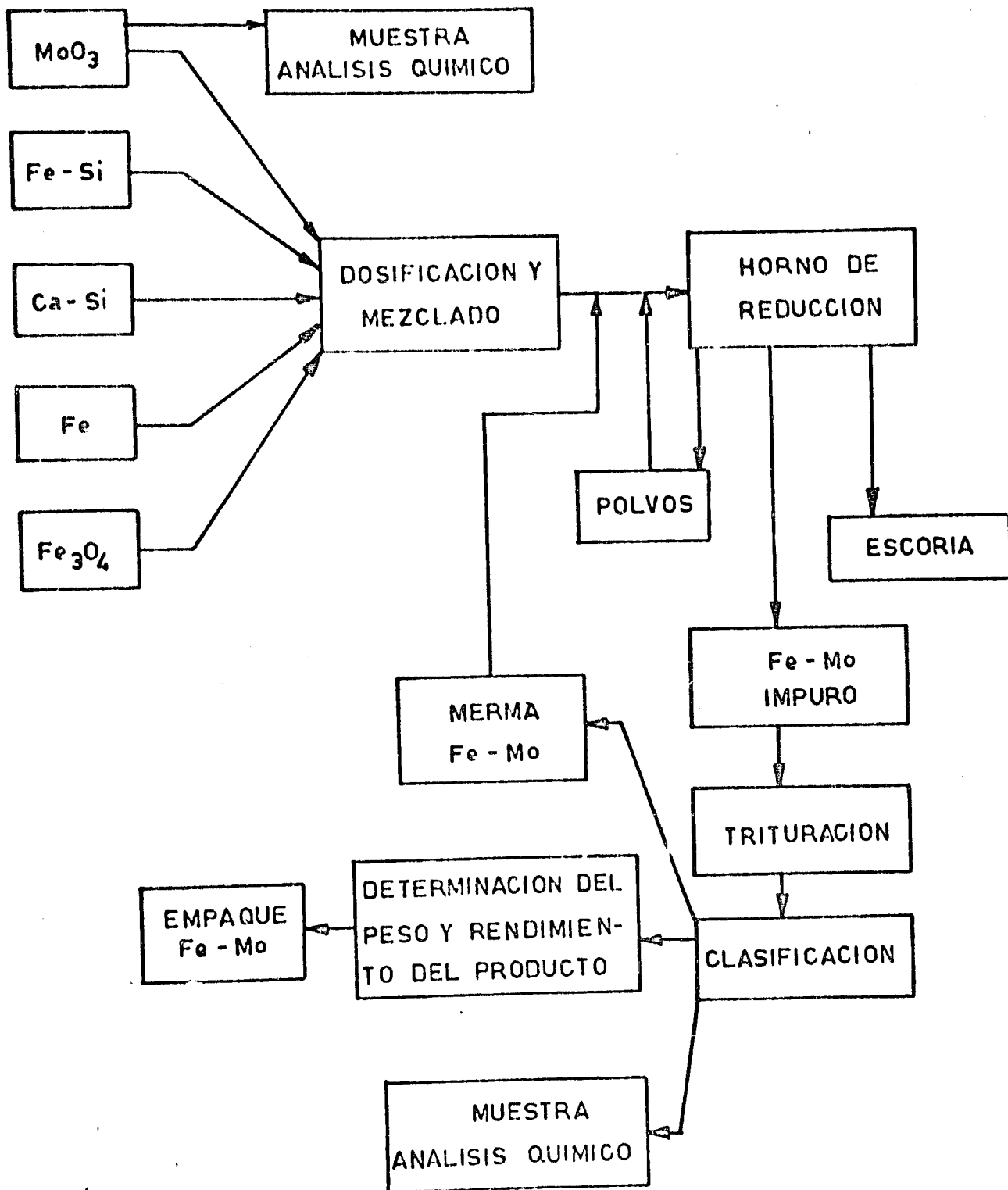


FIG.13.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO SILICO-TERMICO PARA LA PRODUCCION DE Fe-Mo

COMPARACION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION

- CALIDAD DEL PRODUCTO

En el proceso silicotérmico es más fácil obtener Fe-Mo bajo en su contenido de carbono y azufre.

- RENDIMIENTO

El proceso silicotérmico permite obtener mayores rendimientos y la recuperación del molibdeno tanto de la escoria como de los polvos recogidos es más fácil.

- MATERIA PRIMA

Es más económica la producción de Fe-Mo en horno eléctrico de arco pues no emplea materias primas de alto valor agregado (Fe-Si, Ca-Si, etc.)

- MANEJO Y PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA

Es más sencillo el manejo y la preparación en el proceso silicotérmico.

- CONTROL DEL PROCESO

Más fácil en el proceso silicotérmico.

- COMBUSTIBLES Y FUERZA

Más económico el proceso silicotérmico, pues no requiere de energía externa para efectuar la reducción.

- MANO DE OBRA

El proceso silicotérmico no requiere un personal tan capacitado como el necesario para el manejo del horno eléctrico.

- TIEMPO DE PRODUCCION

Es mucho menor en el proceso silicotérmico.

- INVERSION

Es mucho mayor en el proceso de reducción en horno eléctrico de arco.

- SUBPRODUCTOS

En ambos procesos se obtienen los mismos subproductos

- SEGURIDAD

En el proceso silicotérmico se evitan los riesgos del manejo de corrientes eléctricas elevadas, pero en ambos procesos existen los riesgos del manejo de materiales que se encuentran a temperaturas muy elevadas.

- MONTAJE DEL EQUIPO

Más rápido y sencillo en el proceso silicotérmico.

- VERSATILIDAD DEL EQUIPO

Con el equipo de reducción en horno eléctrico de arco se puede producir una mayor cantidad de otros tipos de aleaciones.

S E L E C C I O N D E L P R O C E S O M A S
A D E C U A D O

De acuerdo con las comparaciones establecidas anteriormente se concluye que el proceso de reducción silicotérmico resulta el más apropiado para la producción de Fe-Mo, principalmente tomando en cuenta la calidad del producto por obtener, la inversión en el equipo y el rendimiento alcanzado. Al seleccionar el proceso de reducción silicotérmico se tiene además la ventaja de poder aumentar la producción aumentando simplemente la mano de obra, pues no se encuentra sujeto a la capacidad del equipo como en el caso del transformador en el proceso de reducción por horno eléctrico de arco.

Aunque con respecto a las materias primas la producción de Fe-Mo por el proceso silicotérmico es 10 % más caro que en el proceso de reducción en horno eléctrico, este aumento se compensa con la menor inversión en el equipo y con el ahorro de energía en la reducción.

P O S I B L E L O C A L I Z A C I O N D E L A
P L A N T A

La posible ubicación de la planta productora de Fe-Mo será en alguna de las zonas industriales del Valle de México. Los factores que determinaron la localización en esta zona fueron:

- Proximidad a los principales centros de consumo.
- Disponibilidad de materia prima y refacciones.
- Buenos canales de distribución y medios de transporte para el abastecimiento de minerales de molibdeno y la distribución del producto (inclusive exportación).
- Disponibilidad de agua, energía y combustibles.
- Disponibilidad de mano de obra capacitada.
- Facilidades para la adquisición de terrenos.
- Existencia de buenas condiciones de vida.
- Condiciones climatológicas adecuadas.

ESTUDIO , SELECCION Y COSTO DEL EQUIPO DE PROCESO

Determinación de la capacidad de la planta:

La planta productora de Fe-Mo tratará de producir un producto con 0.10 % max. de carbono y en cantidad suficiente para cubrir la demanda en México para los siguientes 5 años (1973).

La planta arrancará produciendo 20 ton Fe-Mo / mes y su capacidad máxima de producción será de 31 ton Fe-Mo / mes (calculado de la gráfica de la tendencia del consumo).

Para esta capacidad máxima deberán producirse 1,560 Kg Fe-Mo / día (20 días hábiles / mes y 2 a 3 días de mantenimiento y limpieza). (Solo se trabajará un turno de 8 horas diariamente).

Para esta producción debe disponerse de 1,660 Kg de MoO_3 (90 %) y deberá partirse de 1,800 Kg MoS_2 (90 %) / mes.

Equipo para el proceso de calcinación:

- Horno de calcinación de 7 pisos; diámetro interior: 1 m; capacidad máxima de producción: 1,660 Kg MoO_3 / día. Este equipo incluye: agitador vertical con 3 aspas de arrastre en cada piso, c/motor y variador de velocidad; compuertas para admisión de aire en cada piso; alimentador de gusano c/motor; 2 quemadores automáticos para diesel en cada uno de los pisos 3, 4 y 5; colector electrostático de polvos; filtro de bolsas; abertura individual en c/piso para la extracción de gases; chimenea de lámina para producir el tiro natural en el horno; un termopar en c/piso y un multipotenciómetro para la lectura de

la temperatura en c/piso.

Costo: \$ 200,000.- (puesto en planta, México)

- Molino de martillos con capacidad para moler 1,660 Kg MoO_3 / día c/motor (5 PS) y martillos.

Costo: \$ 12,000.-

- Báscula de plataforma, capacidad: 500 Kg.

Costo: \$ 25,000.-

- Gato hidráulico manual c/ruedas, capacidad: 2,000 Kg.

Costo: \$ 8,000.-

Equipo para el proceso de reducción:

Para lograr una producción de 1,560 Kg Fe-Mo / día se harán 2 fusiones diarias con objeto de disminuir el tamaño del equipo. (2 fusiones por turno).

- Horno de reducción que incluye plataforma y coraza de fierro fundido o acero soldado con ruedas metálicas, rieles, campana, ducto c/ventilador y filtro de bolsas; capacidad: 0.5 m³.

Costo: \$ 40,000.-

- Mezcladora de rodillos, capacidad: 500 Kg

Costo: \$ 100,000.-

- Garrucha eléctrica con estructura, capacidad 1,500 Kg.

Costo: \$ 12,000.-

- Quemador diesel para el secado del revestimiento del horno, sin controles.

Costo: \$ 1,000.-

- Quebradora de impacto de acero al manganeso, superficie: 1 m^2
Costo: \$ 7,500.-
- Báscula de plataforma, capacidad: 150 Kg (empaque).
Costo: \$ 8,500.-

Personal necesario para la operación de la planta:

DIRECTOR TECNICO (1)

será la persona responsable del departamento de producción, compras, control de calidad, mantenimiento y almacenes.

OBREROS (4)

2 para el proceso de calcinación y 2 para el proceso de reducción.

AYUDANTE (1)

DIRECTOR ADMINISTRATIVO (1)

será la persona responsable del departamento de ventas, contabilidad, costos, crédito, cobranzas, distribución, relaciones y publicidad.

EMPLEADOS (2)

1 en contabilidad y costos y 1 en ventas y facturación.

CHOFER (1)

encargado de la distribución y las compras.

SECRETARIA (1)

En la Fig.14 se indica el organigrama de la empresa.

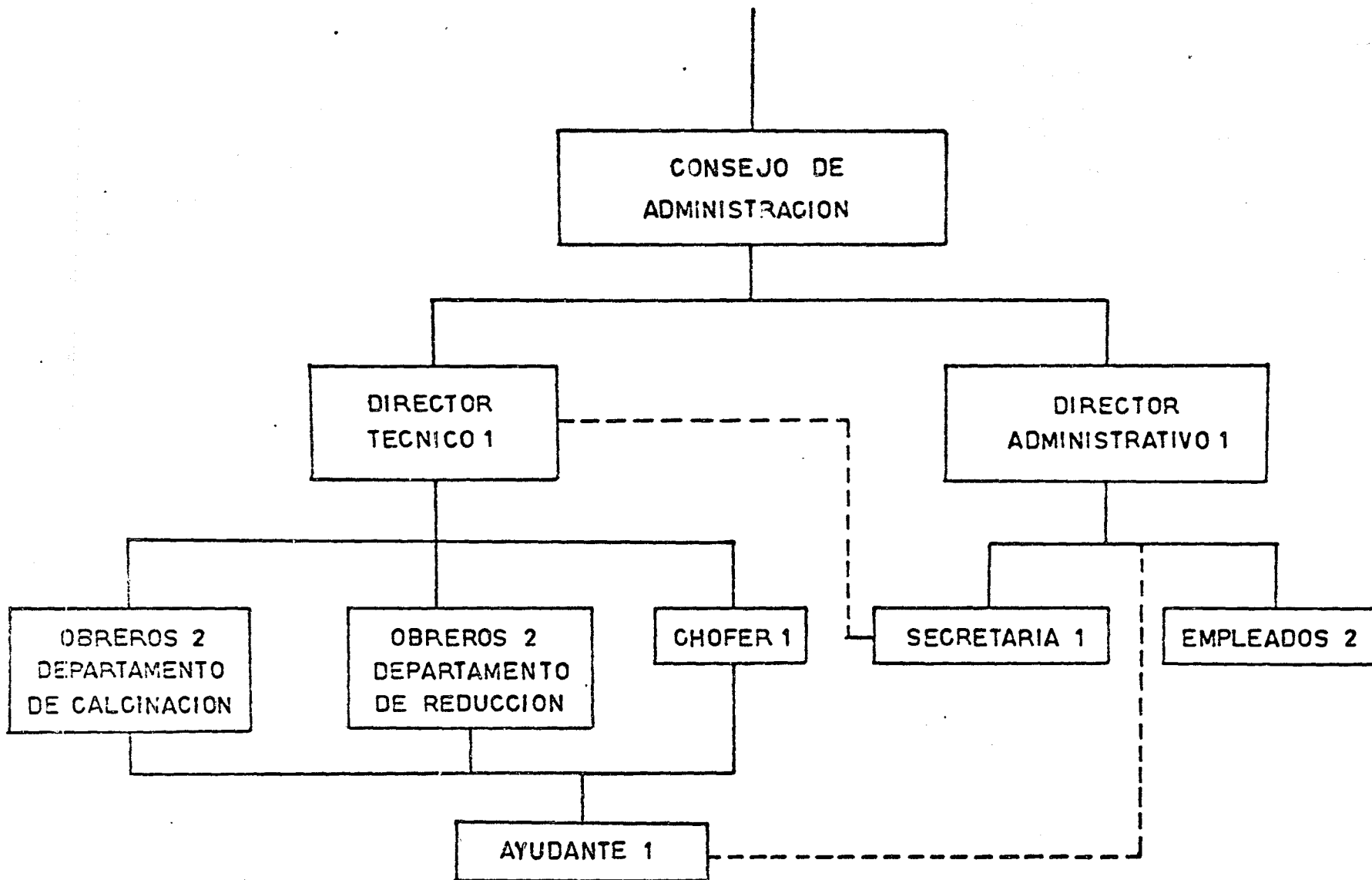


FIG.14.- ORGANIGRAMA

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

PRODUCCION:

20.0 ton Fe-Mo / mes

COSTO DE MATERIA PRIMA: (incluye transportes, gastos de embarque y manejo; en el caso de materias primas importadas además incluye derechos de importación y gastos aduanales).

- Molibdenita molida (90 % MoS_2) :	\$ 31,000.- /ton
- Fe-Si molido (75 %) :	\$ 4,050.- /ton
- Ca-Si molido (30/60) :	\$ 9,300.- /ton
- Magnetita (Escama de laminación o de forja):	\$ 60.- /ton
- Rebabas o limadura de fierro de 1 ^a :	\$ 500.- /ton
- Polvo de fierro :	\$ 6,000.- /ton
- Permanganato de potasio (técnico) :	\$ 50.- /Kg
- Aluminio metálico (malla 325) :	\$ 30.- /Kg

COSTO MATERIALES REFRACTARIOS:

- Tabique refractario (26 x 6 x 11 cm) :	\$ 2,600.- /millar
- Tabique Klinker recocido (25 x 6 x 12 cm) :	\$ 500.- /millar
- Mortero refractario :	\$ 120.- /bote (37 Kg)
- Arena gris :	\$ 40.- /m ³

COSTO DE EMPAQUE:

- Sacos de yute reforzados (50 Kg Fe-Mo) :	\$ 4.- /pieza
--	---------------

CREDITO DE PROVEEDORES:

- Materias primas de importación: Se realizó por medio de cartas de crédito bancario pagaderas a 30 días. Estas no devengarán intereses.
- Materias primas nacionales: Se pagará a 30 días sin intereses.

VENTAS:

20.0 ton de Fe-Mo / mes. Se efectúan directamente por medio del departamento de ventas de la planta.

CREDITO AL CONSUMIDOR:

Las ventas se realizan al contado (pagando a máximo 30 días de entregada la mercancía, sin intereses).

PRECIO DE VENTA:

Como el costo del producto puesto en México varía entre \$ 70.- y \$ 120.-/Kg Fe-Mo (60 %) se fijará el mínimo: \$ 70.-/Kg Fe-Mo (60 %) y se tratará de llegar a competir con el precio fijado internacionalmente que en la actualidad es de \$ 41.20/Kg Fe-Mo (60 %) (2.50 U.S.\$/lb de Mo contenido).

TECNOLOGIA:

Los datos necesarios para el arranque de la planta de Fe-Mo, así como las fórmulas más adecuadas para las mezclas térmicas que optimicen el rendimiento empleando minerales concentrados del país se adquieren en el extranjero con un pago único de \$ 200,000.- (Incluye impuesto).
Amortización anual (5 %).

INVERSION FIJA

El terreno y el local donde se instalará la planta serán rentados.

- EQUIPO Y MAQUINARIA:

Horno de calcinación completo	\$ 200,000.-
Molino de martillos	\$ 12,000.-
Báscula de plataforma (500 Kg)	\$ 25,000.-
Gato hidráulico con ruedas	\$ 8,000.-
Horno de reducción completo	\$ 40,000.-
Mezcladora de rodillos	\$ 100,000.-
Garrucha eléctrica con estructura	\$ 12,000.-
Quemador diesel	\$ 1,000.-
Quebradora de impacto	\$ 7,500.-
Báscula de plataforma (150 Kg)	\$ 8,500.-
	<hr/>
Total	\$ 414,000.-

- EQUIPO AUXILIAR:

Subestación eléctrica	\$ 50,000.-
Laboratorio químico	\$ 30,000.-
Compresora de aire	\$ 15,000.-
Equipo protección contra incendio	\$ 5,000.-
Cajas y botes para transporte de material	\$ 5,000.-
Equipo de trabajo (mesas, etc.)	\$ 5,000.-
Varios (gas, agua, electricidad, etc.)	\$ 15,000.-
	<hr/>
Total	\$ 125,000.-

- INSTALACION:

Instalación del equipo	\$ 100,000.-
Instalación de servicios (gas, luz, electricidad, agua, etc.)	\$ 50,000.-
Arreglo y acondicionamiento del local	\$ 50,000.-
	<hr/>
Total	\$ 200,000.-

- EQUIPO DE OFICINA	\$ 50,000.-
- EQUIPO DE TRANSPORTE	\$ 45,000.-
- IMPREVISTOS	\$ 50,000.-

TOTAL DE LA INVERSION FIJA

Equipo y maquinaria	\$ 414,000.-
Equipo auxiliar	\$ 125,000.-
Instalación	\$ 200,000.-
Equipo de oficina	\$ 50,000.-
Equipo de transporte	\$ 45,000.-
Imprevistos	\$ 50,000.-
	<hr/>
T O T A L	\$ 884,000.-

GASTOS DE LEGALIZACION:

Notario	\$ 30,000.-
Amortización anual (10 %)	

COSTOS (Datos mensuales)

a) Producción

- MATERIA PREMA (para 20.0 ton Fe-Mo (60 %) / mes, rendimiento 98 %)

MoS₂ (90 %) como MoO₃ (90 %)

(MoS ₂)	24,500 Kg/mes	\$ 759,500.-
Fe-Si (75 %)	5,500 Kg/mes	\$ 22,275.-
Ca-Si (30/60)	4,400 Kg/mes	\$ 40,920.-
Escama de laminación	4,180 Kg/mes	\$ 250.-
Polvo de fierro	4,400 Kg/mes	\$ 26,400.-
	Total	\$ 849,345.-
- MEZCLA DE IGNICION (2 fusiones diarias)		
KMnO ₄	300 g/mes	\$ 15.-
Aluminio metálico	120 g/mes	\$ 3.60
	Total	\$ 18.60
- MATERIALES REFRACTARIOS (2 fusiones diarias)		
Tabique refractario	1,000 pzas./mes	\$ 2,600.-
Tabique Klinker recocido	4,400 pzas./mes	\$ 2,200.-
Mortero refractario	50 botes/mes	\$ 6,000.-
Arena gris	4 m ³ /mes	\$ 160.-
	Total	\$ 10,960.-
- EMPAQUE		
Sacos de yute	400 pzas./mes	\$ 1,600.-
- MANO DE OBRA		
Sueldos (1)		\$ 10,000.-
Rayas (5)		\$ 9,000.-
	Total	\$ 19,000.-
- MANTENIMIENTO (filtros, molino, etc.)		\$ 2,500.-
- SERVICIOS		
Electricidad		\$ 600.-
Gas		\$ 150.-

Agua	\$	100.-
Diesel (3000 lts) (\$ 0.25/lt)	\$	750.-
		<hr/>
TOTAL	\$	1,600.-
- RENTA	\$	6,000.-
- LABORATORIO	\$	400.-
- SEGUROS	\$	1,200.-
- GASTOS FABRICA (gratificaciones, Seguro Social, papelería, beneficios sociales y varios)	\$	5,000.-
- DEPRECIACION ANUAL (activo fijo) 10 %	\$	6,575.-
- AMORTIZACION ANUAL (tecnología) 5 %	\$	833.-
- DIVERSOS	\$	2,000.-
b) <u>Gastos generales</u> (administración y de ventas)		
Sueldos (5)	\$	18,000.-
Amortización anual equipo de oficina (10 %)	\$	416.-
Amortización anual equipo de transporte (20%)	\$	750.-
Amortización anual (notario) 10 %	\$	250.-
Impuesto sobre ingresos mercantiles (3 %)	\$	42,000.-
Varios	\$	5,000.-
		<hr/>
Total gastos generales	\$	66,416.-
		<hr/> <hr/>

INGRESOS

20.0 ton Fe-Mo / mes (a \$ 70.-/Kg) \$ 1,400,000.-

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS (para el 1er. año de operación)

VENTAS BRUTAS	\$ 16,800,000
Descuentos y devoluciones	\$ no hay
VENTAS NETAS	\$ 16,800,000
Materia prima	\$ 10,192,140
Mezcla de ignición	\$ 223
Materiales refractarios	\$ 121,152
Empaque	\$ 19,200
Mano de obra	\$ 228,000
Mantenimiento	\$ 30,000
Servicios	\$ 19,200
Renta	\$ 72,000
Laboratorio	\$ 4,800
Seguros	\$ 14,400
Gastos fábrica	\$ 60,000
Depreciación (activo fijo)	\$ 78,900
Amortización (tecnología)	\$ 10,000
Diversos	\$ 24,000
COSTO DE PRODUCCION	\$ 10,874,015
GANANCIA O UTILIDAD BRUTA	\$ 5,925,985
Gastos Generales	\$ 796,992
GANANCIA O UTILIDAD NETA (antes de impuestos)	\$ 5,128,993
Impuesto sobre la renta	\$ 2,059,177
Reparto de utilidades (10 %)	\$ 512,899

GANANCIA LIQUIDA (después de impuestos)	\$ 2,556,917
Reserva Legal (5 %)	\$ 127,845
GANANCIA REPARTIBLE	\$ 2,429,072

CAPITAL DE TRABAJO

- Materia prima:		
de importación (lo necesario para 3 meses de producción)	\$	201,960
nacional (lo necesario para 1 mes de producción) (incluye materiales y empaque)	\$	794,603
- Producto terminado:		
(1 mes a costo de producción)	\$	907,001
- Material en proceso:		no hay
- Refacciones: se atenderá en existencia	\$	10,000
- Dinero en efectivo:		
(1 mes del costo de producción y gastos generales)	\$	973,417
- Cuentas por pagar:		
(1 mes costo de materia prima) (incluye materiales y empaque)	NEGATIVO	\$ 861,923
		<hr/>
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	\$	<u>2,025,058</u>

INVERSION TOTAL

Es igual a la suma de la inversión fija y el capital de trabajo.

INVERSION TOTAL = \$ 2,909,058
=====

GRAFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO (Ver gráfica No.7)

- Costos fijos: Renta, seguros, depreciación (activo fijo), amortización (tecnología), sueldos (producción) y gastos generales.
- Costos variables: Materia prima, materiales, empaque, mano de obra (rayas), mantenimiento, servicios, laboratorio, gastos de fábrica y diversos.

RENTABILIDAD

El % de rentabilidad es igual a la ganancia líquida después de impuestos dividida entre la inversión total (x 100)

$$\text{RENTABILIDAD} = 87.9 \%$$

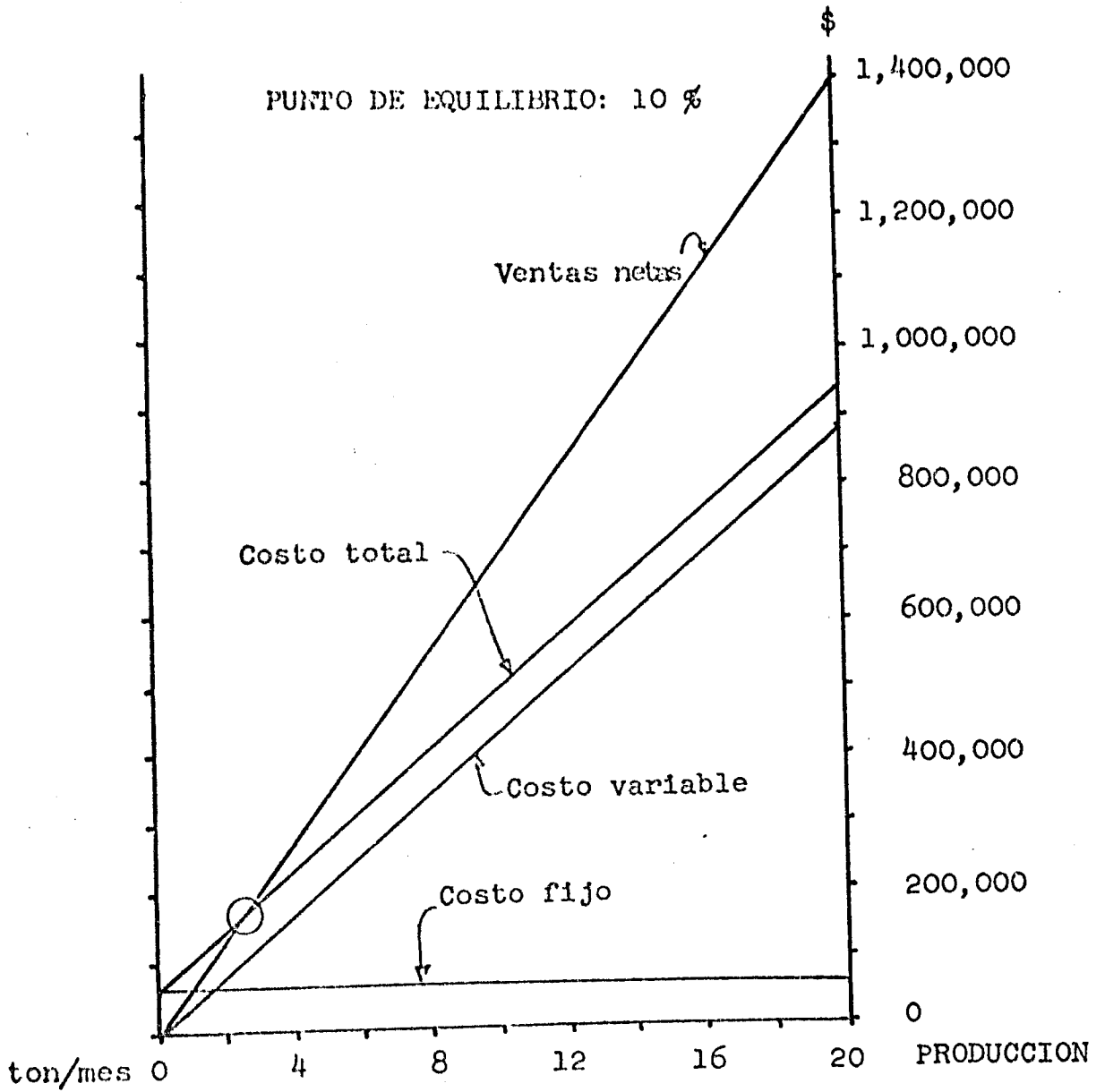
TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION

Es igual a la inversión total dividida entre la ganancia líquida después de impuestos + la depreciación y amortización anual.

El tiempo de recuperación de la inversión es de 399 días.

En caso de venderse el Fe-Mo al precio internacional de \$ 41.20/Kg Fe-Mo (60 %) habrá pérdidas (ingresos anuales: \$ 9,888,000.-; costo de producción: \$ 10,874,015.-).

El mínimo precio de venta para que la ganancia líquida sea nula es de \$ 47.97/Kg Fe-Mo (60 %). (No se incluye impuesto sobre la renta ni reparto de utilidades).



Gráfica No.7.- GRAFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

A N E X O 1

LISTA DE PRODUCTORES Y PROVEEDORES DE FERROMOLIBDENO Y DE MINERALES DE MOLIBDENO EN EL MUNDO.

- Aktiebolaget Ferroleggeringar, Suecia, (Fe-Mo)
- Société Anonyme des Minerais, Luxemburgo, (Fe-Mo)
- Associated Metals & Minerals Corp., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Ayrton & Partners Ltd., Inglaterra, (Mineral y Fe-Mo)
- Badische Wolframergesellschaft, Alemania Occ., (Fe-Mo)
- Herman C. Starck Berlin, Alemania Occ., (Fe-Mo)
- Edward Boustead & Co. Ltd., Inglaterra, (Fe-Mo)
- Braue Metallurgical-Chemical Co., Estados Unidos, (Fe-Mo)
- Société Anonyme Cheminetal, Bélgica, (Fe-Mo)
- Climax Molybdenum Co., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Continental Ore Co. Ltd., Inglaterra, (Mineral y Fe-Mo)
- Continental Ore Corp., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Cosmo Metals Alloys Corp., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Daniel Doncaster & Sons Ltd., Inglaterra, (Fe-Mo)
- Duval Corp., Estados Unidos, (Mineral)
- Etablissements Charles Bertolus, Francia, (Fe-Mo)
- "Exsud" South American Mineral & Products Co. Ltd., Inglaterra, (Mineral y Fe-Mo)
- Frankel Company, Inc., Estados Unidos, (Fe-Mo)
- Frank & Schulte, Handelsgesellschaft mbH., Alemania Occ., (Mineral y Fe-Mo)

- Gesellschaft Elektrometallurgie mbH., Alemania Occ.,
(Fe-Mo)
- Groma Metal Corp., Estados Unidos, (Fe-Mo)
- R. Hostombe Ltd., Inglaterra, (Mineral y Fe-Mo)
- Compagnie Industrielle des Metaux Electroniques, Francia,
(Mineral)
- Inter alloys Ltd., Inglaterra, (Fe-Mo)
- Intercontinental Metal Corp., Estados Unidos, (Fe-Mo)
- International Minerals & Metals Corp, Estados Unidos,
(Mineral)
- Charles W. Ireland Ltd., Escocia, (Fe-Mo)
- Jovane & Co., Italia, (Mineral)
- Kennecott Sales Corp., Estados Unidos, (Mineral)
- A/S Knaben Molybdaengruber, Noruega, (Mineral)
- Korea Tungsten Mining Ltd., Corea, (Mineral)
- Etablissements Kuhlmann Service Metallurgie, Francia,
(Fe-Mo)
- Fred H. Lenway & Co., Inc., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Erik Lindblom & Co., Suecia, (Fe-Mo)
- A. D. Mackay, Inc., Estados Unidos, (Mineral)
- Mercer Alloys Corporation, Estados Unidos, (Fe-Mo)
- Metal and Ore Co. Ltd., Canadá, (Mineral y Fe-Mo)
- Metalpulverl, Italia, (Fe-Mo)
- Metal Traders, Inc., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Metal Traders, Ltd., Inglaterra, (Mineral y Fe-Mo)
- N.V. Midden Nederlandsche Handelmaatschappij, Paises Bajos,
(Mineral y Fe-Mo)

- Miles Metal Corp., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Commerciale Mineraria Continentale, Italia, (Fe-Mo)
- Minerals Metaux, Francia, (Mineral y Fe-Mo)
- S.A. Société Commerciale des Mines, Minerals y Metaux, Bélgica, (Fe-Mo)
- Compagnie des Mines et Metaux, S.A. Anct. N. Zimmer-Maroldt, Luxemburgo, (Fe-Mo)
- Molybdenum Corporation of America, Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Produits Industriels Charles Monseur Sprl., Bélgica, (Mineral y Fe-Mo)
- Murex Ltd., Inglaterra, (Fe-Mo)
- Murphores Ltd., Inglaterra, (Mineral)
- C.V. Non-Ferro Alliages, Países Bajos, (Fe-Mo)
- Noranda Sales Corporation Ltd., Canadá, (Mineral)
- Pechiney, Compagnie de Produits Chimiques e Electrometallurgiques, Francia, (Fe-Mo)
- Phelps Dodge Sales Co., Inc., Estados Unidos, (Mineral)
- Philipp Brothers Division of Minerals & Chemical Philipp Corp., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- H.F. Pollack & Co., (UK) Ltd., Inglaterra, (Fe-Mo)
- Industrias Polo Congregado, España, (Fe-Mo)
- Scandinavian Steel AB., Suecia, (Fe-Mo)
- Sedin & Schmidt, Suecia, (Mineral)
- South American Minerals & Merchandise Corp., Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)
- Southern California Chemical Co. Inc., Estados Unidos, (Mineral)

- Cie. Sud.-Americaine des Minerals et Metaux "Sudamin"
Bélgica, (Mineral)
- Sumitomo Shoji Kaisha Ltd., Japón, (Mineral)
- C. Tennant, Sons & Co. of N.Y., Estados Unidos,
(Mineral y Fe-Mo)
- Transamine, Francia, (Mineral)
- N.V. International Ertshandel "Wambersie", Países
Bajos, (Fe-Mo)
- Société René Weil, Francia, (Mineral y Fe-Mo)
- Wolframwerke A.G., Suiza, (Fe-Mo)
- Max Zuckerman & Sons, Estados Unidos, (Mineral y Fe-Mo)

METALLURG, INC.
 80 PARK AVENUE
 NEW YORK, N. Y. 10016

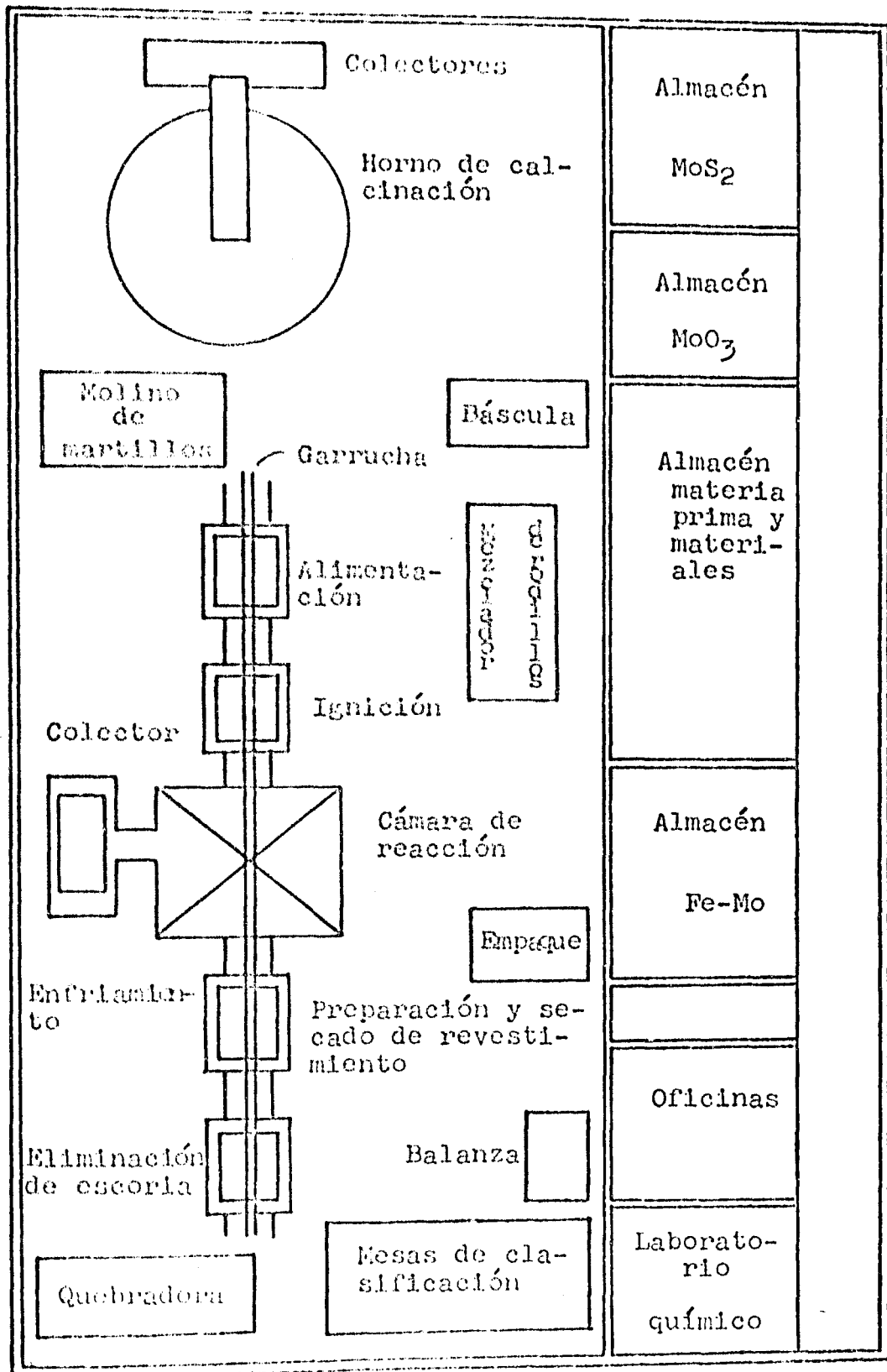
December 29, 1954

Recibido de Entregada: Para CTR
 SHIPMENT MARKS

Masimo total de buites: 11

OUR REF.	DATE	MARKS	OUR REF.	DATE	MARKS	OUR REF.	DATE	MARKS
5-3000/103	3/25/55	500 lbs. Polyurethane/500 lbs. March on Plant	5-3000/103	3/25/55	500 lbs. Polyurethane/500 lbs. March on Plant	5-3000/103	3/25/55	500 lbs. Polyurethane/500 lbs. March on Plant
QUANTITY ORDERED 500 lbs. Polyurethane/500 lbs. March on Plant			DESCRIPTION - SPECIFICATIONS 500 lbs. Polyurethane/500 lbs. March on Plant			PRICE AND UNIT \$15.00 per lb. No. 60-60-60 Unfinished 500 lbs.		
QUANTITY - CONTAINERS 10 Bultos con el peso de: Bultos: 50.00 kilos Tardes: 10.00 kilos Notas: 150.00 kilos Mas: 250.00 kilos			AMOUNT \$ 7,500.00			ANALISIS: No 58.26 %		
DECLARACION DE LOS PESOS Y DEMAS DATOS COMPROBADOS EN ESTA FACTURA POR PESOS Y VERIFICADOS.			THESE COMMODITIES LICENSED BY U.S. FOR ULTIMATE DESTINATION MEXICO. DIVERSION CONTRARY TO U. S. LAW PROHIBITED.			PAGO EN CHEQUES DE CLIENTE DENTRO DE 30, 60, O 90 DIAS DESPUES DE LA EMISION DE ESTE FACTURA A LA TASA DE 6% POR ANUAL.		
PAGOS DE INTERES: \$ 4,172.87 PAGOS DE COMISION: 21.16 PAGOS DE FLETE: 40.00 PAGOS DE EMPAQUE: 10.00			PAGOS DE INTERES: \$ 4,172.87 PAGOS DE COMISION: 21.16 PAGOS DE FLETE: 40.00 PAGOS DE EMPAQUE: 10.00			PAGOS DE INTERES: \$ 4,172.87 PAGOS DE COMISION: 21.16 PAGOS DE FLETE: 40.00 PAGOS DE EMPAQUE: 10.00		

ANEXO 2



ANEXO 3.- DISTRIBUCION GENERAL DE LA PLANTA

B I B L I O G R A F I A

- Agte, C., Vacek, J.
"Wolfram und Molybdän"
Akademie Verlag, Berlin (1959)
- Arice, R.S., Newton, R.D.
"Chemical Engineering Cost Estimation"
Mc. Graw Hill Book Co., N.Y. (1955)
- Bray, J.L.
"Non-ferrous production metallurgy"
John Wiley & Sons, Inc., New York (1953)
- Bray, J.L.
"Ferrous process metallurgy"
John Wiley & Sons, Inc., New York (1954)
- Durrer, R., Volkert, G.
"Die Metallurgie der Ferrolegierungen"
Springer Verlag, Berlin (1953)
- González Reyna, J.
"Riqueza minera y yacimientos minerales de México"
Banco de México, S.A., Departamento de investigaciones industriales. (1956)
- Harwood, J.J.
"The metal molybdenum"
American Society for Metals, Cleveland, U.S.A. (1958)
- Hayward, C.R.
"An outline of metallurgical practice"
D. van Nostrand (1952)
- Heyer, R.H.
"Engineering physical metallurgy"
D. van Nostrand Co. Inc., New York (1939)
- Kraus, E., Hunt, W., Ramsdell, L.
"Mineralogy"
Mc. Graw Hill Book Co. Inc. (1959)
- Smith, M.C.
"Alloy series in physical metallurgy"
Harper & Brothers, publishers, New York (1956)
- Northeott, L.
"Molybdenum"
Butterworths Scientific Publications, London (1956)

Palache, C., Berman, H., Frondel, C.
"Dana's System of Mineralogy"
John Wiley & Sons, Inc., Vol.1 (1944)

Quarrell, A.G.
"Niobium, Tantalum, Molybdenum & Tungsten"
Elsevier Pub. Co. (1961)

Rapatz, F.
"Die Edelmetalle" 5. Auflage
Springer Verlag, Berlin (1962)

Rechenberg, H.
"Molybdän" Die metallischen Rohstoffe" Band 12
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1960)

Schwarz, J.B.
"Industrial Planning"
Paper 19-d. II Joint Convention
IMIQ - AIChE, México, (1967)

Schweyer, H.
"Process Engineering Economics"
Mc. Graw Hill Book, Co. Inc. (1955)

Torón Villegas, L.
"La industria siderúrgica pesada del norte de México y su
abastecimiento de materias primas"
Banco de México, S.A. Depto. de investigaciones industri-
ales. (1963)

Torón Villegas, L., Salinas Alemán, A.
"La industria siderúrgica no integrada de México" Descrip-
ción y Examen en Conjunto.
Banco de México, S.A. Depto. de investigaciones industria-
les, (1965)

"Einfluss und praktische Anwendung der Legierungselemente
bei Stahl und Gusseisen"
Gesellschaft fuer Elektrometallurgie m.b.H., Duesseldorf

"Fabrication of Molybdenum"
Published by the AMERICAN SOCIETY FOR METALS,
Cleveland, U.S.A. (1959)

"Five Minutes with Molybdenum"
Climax Molybdenum Company

"Molybdenum Metal"
Climax Molybdenum Company" (1960)

"The Future of Molybdenum"
Climax Molybdenum Company

"The integrated producer of Molybdenum Metal"
Climax Molybdenum Company

"This is Climax Molybdenum"
American Metal Climax, Incorporated

ASTM Standards

Chemical Abstracts

Handbook of Chemistry & Physics. 39th Ed.
Chemical Rubber Pub. Co., Cleveland, U.S.A. (1957-58)

Kirk, R., Othmer, D.
"Encyclopedia of Chemical Technology"
The Interscience encyclopedia, Inc., Easton, Pa., U.S.A.
2nd. & 3rd. Ed.

Anuario Estadístico de Comercio Exterior
Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General
de Estadística

Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos
Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General
de Estadística

Boletín estadístico de América Latina
CEPAL (1966)

Diario Oficial de la Nación

Minerals Yearbook
U.S. Bureau of Mines (1948-1966)

ONU. Statistical Yearbook (1966)

U.S. Import-Export Statistics
U.S. Department of Commerce

Yearbook of the American Bureau of Metal Statistics
New York, U.S.A. (1934-1966)

Comisión de Fomento Minero. (Comunicación personal)

Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de
Normas. (Comunicación personal)

Secretaría del Patrimonio Nacional, Dirección General de
Minas y Petróleo. (Comunicación personal)

Secretaría del Patrimonio Nacional, Consejo de Recursos no
Renovables. (Comunicación personal)

Chemical Engineering. 74, Jan. 16, 1967
"First Chemical Route for Molybdenum Processing; process flow sheet."

Chemical Engineering, Mar. 16, 1964
"Cost of process equipments"

Engineering & Mining Journal. Metal & Mineral Markets, March 29, 1965
"Molybdenum", Market Guide

Engineering & Mining Journal
"Molybdenum 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965 y 1966"

Journal of Metals

Materials & Methods. 32, 45-48 (1950)
CHELIUS, J.
"How to fabricate Molybdenum".

Materials & Methods
GELOK "Properties & applications of Molybdenum"

Metals Week, (1967-68)