

249
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO METALURGICO PARA EL
BENEFICIO DE LA MOLIBDENITA
EN EL DISTRITO MINERO DE
NAICA, CHIHUAHUA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A
FERNANDO FRANCO SERRANO

MEXICO, D. F., SEPTIEMBRE, 1981.



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.

	CONTENIDO	PAGINA
	INTRODUCCION	1
	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
CAP. I	GENERALIDADES	4
	1.1 Localización	
	1.2 Vías de Comunicación	
	1.3 Clima y Vegetación	
	1.4 Población, Cultura y Economía	
	1.5 Historia	
	1.6 Yacimientos Minerales	
	1.7 Planta de Beneficio Pb-Zn y Planta de Recuperación de Scheelita	
CAP. II	CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MINE- RALES DE MOLIBDENO	27
	2.1 Yacimientos de los Minerales de Molib- deno en Naica	
	2.2 Propiedades Mineralógicas y Metalúrgi- cas de la Molibdenita	
	2.3 Flotabilidad Natural de la Molibdenita	
	2.4 Comportamiento de los Diferentes Comp- nentes del Mineral	
CAP. III	OBTENCION DE UN CONCENTRADO DE MOLIBDENITA.	40
	3.1 Esbozo General	
	3.2 Grado de Liberación del Mineral de Mo- libdeno.	

CONTENIDO	PAGINA
3.3 Trituración y Molienda del Mineral de Molibdeno	
3.4 Reactivos Empleados	
3.5 Flotación de la Molibdenita	
CAP. IV VIABILIDAD	68
4.1 Generalidades	
4.2 Evaluación de los Recursos	
4.3 Evaluación Económica de Reactivos	
4.4 Conclusiones	
CAP. V USOS DEL MOLIBDENO	74
5.1 Generalidades	
5.2 Propiedades Físicas del Molibdeno	
5.3 Propiedades Químicas del Molibdeno	
5.4 Usos Prácticos del Molibdeno	
CAP. VI COMERCIO DEL MOLIBDENO	87
6.1 Apreciación General	
6.2 Demanda del Molibdeno en el Mundo	
6.3 Comercio del Molibdeno en México	
6.4 Producción Futura de Concentrados de Molibdeno en México	
CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFIA	97

INDICE DE FIGURAS

- 1.1 LOCALIZACION DEL DISTRITO NAICA
- 1.2 SECCION DE LOS CUERPOS DE MINERAL
- 1.3 DIAGRAMA GENERAL DE LA MINA
- 1.4 DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA BENEFICIO
- 1.5 DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA TUNGSTENO
- 2.1 CRISTAL DE MOLIBDENITA
- 2.2 FLOTACION NATURAL DE LA MOLIBDENITA
- 2.3 PORCENTAJE DE LIBERACION CONTRA No. DE MALLA
- 2.4 PORCENTAJE DE RECUPERACION CONTRA No. DE MALLA
- 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE FLOTACION DE LA MOLIBDENITA
- 3.2 BALANCE METALURGICO
- 5.1 TRATAMIENTO TECNOLOGICO DEL MOLIBDENO
- 5.2 FORMAS COMERCIALES Y USOS DEL MOLIBDENO

INTRODUCCION

El distrito minero de Naica, se encuentra ubicado a 110 Km. al Sur de la ciudad de Chihuahua, comprendido dentro del Municipio de Saucillo.

Los depositos minerales en la mina subterranea de Naica, se componen principalmente de cuerpos de reemplazamiento de sulfuros de plomo y zinc, los cuales se encuentran encajonados en caliza marmorizada.

Actualmente en la planta de beneficio de la -- Compañía, los sulfuros de plomo y zinc son concentrados por el método de flotación selectiva. Además en la Unidad Naica tambien se recuperan valores de oro, plata, cobre y tungsteno de su mina subterranea que produce 2,500 toneladas métricas por día. En 1983, cuando los programas de modificación del Tiro Naica y del molino Marcy sean terminados, la producción esperada será de 3,000 toneladas métricas por día.

En 1979, se molió en Naica 632,729 toneladas - métricas de mineral, el cual dio un ensaye de cabeza de 162 grs. de Ag por t.m., 0.34 grs. de Au por t.m., 4.89% Pb, --- 4.01% Zn, 0.36% Cu, y 5.95% Fe por tonelada métrica. Los -- concentrados producidos contenían 91,000 Kgs. de Ag, 52 Kgs. de Au, 28,800 t.m., de Pb, 20,400 t.m., de Zn, y 2,300 t.m., de Cu.

La exploración en el interior de la mina en -- busca de mayores reservas de minerales de plomo y zinc, ha - permitido descubrir cuerpos adicionales de minerales con sig nificancia económica, como lo son los minerales de molibdeni ta y scheelita.

La molibdenita fué detectada con anterioridad a 1957, pero debido a las bajas reservas no era factible la idea de beneficiarla a escala industrial. Hoy en día los -- cuerpos encontrados hacen factible la rentabilidad del proceso de extracción y beneficio; las reservas probables para -- éste mineral de molibdeno, son de aproximadamente 1'500,000 toneladas métricas que ensayan una ley promedio de 0.15% como molibdeno.

El mineral de molibdeno, molibdenita, ocurre -- como mineral accesorio, disgregado entre los silicatos. Se le encuentra comunmente asociado con cantidades apreciables de galena, esfalerita, calcopirita, scheelita y piritita; además se hallan variedades del granate: grosulorita y andradita; así como también se encuentra la vesuvianita, y en ocasiones la calcita y fluorita.

Debido a la asociación mineralógica que presenta la molibdenita con los diferentes minerales, además que -- con el proceso de minado la separación de éstos minerales se dificulta, las pruebas realizadas fueron enfocadas a éste -- problema, con muestras de mineral con un contenido relativamente alto de los minerales asociados, con la finalidad de -- eliminar las impurezas críticas a su valor más bajo posible en el concentrado final de MoS_2 , y obtener así un concentrado de molibdeno aceptable en el mercado.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO:

El objetivo principal del presente trabajo, es determinar un tratamiento Metalúrgico de flotación para beneficiar el mineral de molibdeno, además de estudiar las posibilidades económicas de llegar a beneficiarlo a escala indus

trial y de acuerdo a las normas de calidad existentes del -- mercado internacional, las cuales estipulan un grado mínimo económico de 57.0% como molibdeno en concentrados de molibdenita.

Dado que hoy en día el auge de los concentrados de los metales no ferrosos (tungsteno, molibdeno, cobre entre otros) va en aumento, así pues, debido a esa creciente demanda de los concentrados mencionados, en el mercado nacional, así como el internacional, se vislumbra un mercado bastante satisfactorio para los concentrados de molibdeno, debido también a su alto precio de cotización y a la determinante importancia que tienen los elementos de aleación, tales como: molibdeno, tungsteno, cromo, níquel, etc., los cuales día con día van ganando en la industria siderúrgica un lugar preponderante, ya que el uso adecuado de éstos elementos aleantes dependen fundamentalmente las propiedades mecánicas de los aceros y fundiciones.

CAPITULO I

GENERALIDADES.

1.1 Localización.- El área en estudio se encuentra localizada en la porción Sur-Central del Estado de Chihuahua, aproximadamente a 110 Kms., en línea recta al SE de la Capital - del Estado y entre las Ciudades de Delicias y Camargo. Las coordenadas geográficas donde está ubicada el área de estudio, son las siguientes:

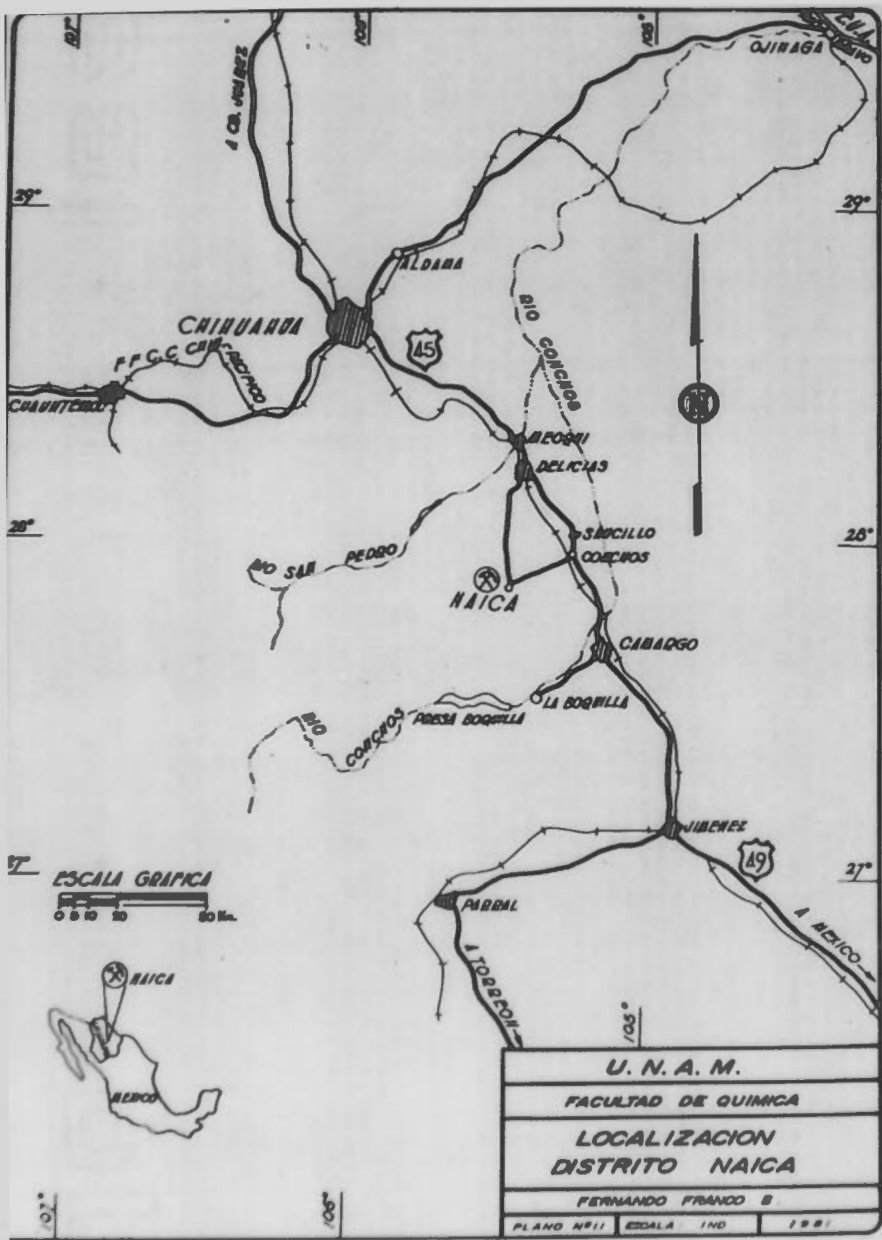
Latitud Norte: 27° 51' 15"

Longitud Oeste: 105° 29' 30"

del Meridiano de Greenwich. El área en cuestión tiene una elevación de 1,386 metros sobre el nivel del mar, y ocupa -- una superficie de 2.0 Km². donde se encuentran las principales obras mineras.

1.2 Vías de Comunicación.- Las vías de acceso son: El Ferrocarril Central Mexicano y dos carreteras asfaltadas; de las cuales una es un desvío de la Carretera Panamericana, a la altura del Kilometro 1,545 en la estación de ferrocarril Concho y con una longitud de 24 Kms., la segunda de reciente construcción que comunica a Naica con la Cd. de Delicias, es la carretera estatal No. 5, que tiene una longitud de 43 Kms también se cuenta con una pista de aterrizaje localizada aproximadamente a 10 Kms., de la población, que es propiedad de la Compañía Fresnillo, S.A de C.V.

Otros medios de comunicación con que cuenta la población son líneas telefónicas, servicio telegráfico y postal, que comunica a la Unidad y al poblado con el resto del País.



1.3 Clima y Vegetación.- El clima predominante en la región es de tipo seco estepario con variante fría. Presentándose - veranos calurosos con temperaturas máximas de 40°C, e inviernos de hasta -8°C bajo cero; ocasionalmente se presentan lluvias aisladas en otoño, registrando un promedio de precipitación pluvial de 320 mm. por año.

La vegetación es escasa, de tipo xerófila, reduciéndose a palmas, mezquites, gobernadora, lechuguilla, ocotillo y otras plantas características de los climas semidesérticos que existen en el norte del país.

El agua potable es escasa en la región y se obtiene de pozos poco profundos ubicados en Tortuguillas, poblado localizado entre Naica y la Estación Concho. Otro pozo de reciente perforación se encuentra ubicado en la remota, a 14 km. de Naica por la carretera a Cd. Delicias; con éste nuevo pozo se estima que las necesidades de éste poblado quedarán cubiertas.

1.4 Población, Cultura y Economía.- El Mineral de Naica actualmente cuenta con poco más de 13,000 habitantes, de los cuales aproximadamente 706 jefes de familia trabajan en la Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. La gran mayoría de la población depende de la industria minera y el resto de la agricultura, comercio y ganadería. El 60% de la población está en edad escolar, para ello se cuenta con tres escuelas por cooperación para niños en edad preescolar, tres escuelas primarias federales, una escuela secundaria federal y una escuela preparatoria por cooperación incorporada a la UACH. Los jóvenes que desean seguir estudiando se trasladan a las ciudades cercanas a proseguir sus estudios de nivel medio ó profesional.

1.5 Historia Minera del Area.- Los Yacimientos de Naica fueron descubiertos por gambusinos, quienes trabajaron en pequeña escala entre los años de 1828 y 1830.

Debido a la escasez de agua, la explotación del yacimiento solamente se efectuaba en tiempos de lluvia, cuando el agua podía ser recolectada en cisternas pequeñas.

No fue sino hasta fines del siglo pasado cuando se inició en forma la explotación del yacimiento, construyéndose un ferrocarril (vía ferrea) entre el poblado de Concho y Naica; y en el año de 1910 un total de 10 empresas mineras trabajaron en el Distrito, siendo la principal de ellas la Compañía Minera de Naica.

Hacia el año de 1911 se suspendieron las actividades, debido en parte a la inestabilidad política del país, así como también a que las labores de minado llegaron al nivel freático.

En 1924 la Compañía Minera de Peñoles, S.A. reinició la explotación hasta 1928; posteriormente fue la Compañía The Naica Mines of México, quien siguió operando hasta 1951, año en que traspasó la mina a The Fresnillo Company, S.A.; por otro lado, la compañía Eagle Picher trabajó la mina Gibraltar desde 1948 hasta 1956, siendo vendida ésta a The Fresnillo Company, S.A., empresa que hasta la fecha explota los yacimientos, aunque por causas legales vendió el 51% de sus acciones a la Compañía Minera de Peñoles, S.A.

1.6 Yacimientos Minerales:-

Formación de los Cuerpos.- Los depósitos minerales de Naica, son cuerpos de reemplazamiento de sulfuros de plomo y zinc y de cantidades menores de oro, plata y cobre, encajonados en caliza marmorizada. Dos tipos principales de cuerpos minerales pueden ser distinguidos: Chimeneas y Mantos.

Chimeneas:

Las chimeneas son cuerpos tubulares que cortan la estratificación y que adquieren formas elípticas, circulares e irregulares y que en algunos casos llegan a medir hasta 4,000 mts. cuadrados de sección. Son los cuerpos de mayor importancia; el mayor número de cuerpos minerales en Naica, son chimeneas de gran inclinación, que contienen sulfuros macizos y en ocasiones con la presencia de silicatos. La más grande e importante chimenea es la Torino Tehuacán, tiene 80 x 50 metros de sección horizontal, la cual a profundidad se deduce que disminuye su volumen de acuerdo a la interpretación de barrenos verticales que traspasan el nivel 530. Hay otras chimeneas que no cortan más allá de dos niveles: - Se conocen más de 60 chimeneas; la fractura Torino corta el Manto Gibraltar y bloques fallados del manto ocurren dentro de las zonas de fallas de la Torino-Tehuacán, demostrándose que la chimenea es más joven que los mantos.

Chimeneas de sulfuros macizos.- Este tipo de chimeneas, presenta sulfuros macivos de plomo y zinc que se encuentran encajonados principalmente en marmol blanco. Los únicos minerales que no son sulfuros y que están presentes son de cristalización burda, como calcita, fluorita y un poco de anhidrita.

Chimeneas de sulfuros y silicatos.- Están com
 puestas por sulfuros masivos de plomo y zinc (galena, esfaleri
 ta) con bloques irregulares de silicatos cálcicos, los cual
 les incluyen: Andradita (silicato ferro-cálcico) ---
 $(\text{SiO}_4)_3 \text{Fe}_2 \text{Ca}_3$; tremolita (se constituye de un anfibol esencial
 y muy extendido, de constitución complicada) ---
 $\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 (\text{OH})_2 (\text{Si}_4 \text{O}_{11})_2$; cuarzo SiO_2 ; wollastonita CaSiO_3 .
 Con cantidades menores de pirita, calcopirita, arsenopirita
 y pirrotita; la fluorita y los granos de calcita son abundantes.

Mantos:

Los mantos son los cuerpos minerales más im--
 portantes después de las chimeneas; se conocen alrededor de
 once mantos; entre los más importantes por su tonelaje, es--
 tán el Segundo Manto y el Manto Torino-Tehuacán. Están cons--
 tituidos por silicatos cálcicos, en los que los minerales --
 principales son: Andradita, grosularita, vesuvianita y wol--
 lastonita. Los mantos son cuerpos interestratificados y, por
 lo tanto, concordantes pero en ocasiones adquieren cambios -
 en su desarrollo estructural y se flexionan sobre ellos mis--
 mos para adoptar formas discordantes. Estos cuerpos en oca--
 siones alcanzan hasta 600 mts. de longitud, con espesores --
 que van de unos cuantos centímetros hasta 15 metros.

Los sulfuros en los mantos se encuentran dise--
 minados, predominando entre éstos la galena, esfalerita y pi--
 rita; en cantidades más pequeñas la calcopirita, arsenopiri--
 ta, pirrotita y molibdenita. La fluorita, cuarzo y calcita -
 se presentan en cavidades entre los sulfuros.

Manto de Cobre.- Este es un manto de gesso, -- compuesto esencialmente de calcita y sulfuros diseminados, -- calcopirita y covelita principalmente. Están generalmente asociados con mantos de silicatos-sulfuros y muestran áreas -- representativas, en las cuales los fluidos mineralizantes es caparon lejos de los mantos principales a lo largo de estratos compuestos por mármol. Este manto es apreciablemente alto en cobre; algunas partes del manto de cobre contienen gra nate y vesuvianita alterados, asociados con calcita fluorescente y recristalizada.

Oxidación.- Los principales minerales formados durante la oxidación de los minerales primarios, son óxidos de fierro hidratado de varios tipos; óxido de manganeso, etc. Los silicatos han sido destruidos, pero algo de calcedo nia variedad del cuarzo de diversos colores; crisocola; cobre silíceo $CuSiO_3 \cdot nH_2O$ y trazas de hemimorfita ó calamina, mineral de zinc $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$ están presentes en el mineral de silicatos oxidados. Cantidades pequeñas de malaquita $Cu_2(OH)_2CO_3$; azurita $Cu_3(OH.CO_3)_2$; smithsonita -- $ZnCO_3$ y cobre nativo existen en toda la zona oxidada, y ha sido encontrada plata nativa, wulfenita $PbMoO_4$; cerargirita $AgCl$; y sulfoantimoniuros de plata: $5Ag_2S.Sb_2S_3$.

Métodos de exploración.

La exploración en la mina de Naica, ha ido en aumento y con la firme finalidad de localizar nuevos cuerpos de mineral, además para conocer a profundidad la continuidad y rumbo de los cuerpos existentes. La exploración se realiza por métodos indirectos: Estudios geoquímicos y métodos -- geofísicos de magnetometría terrestre. La exploración directa empleada en Naica, se puede dividir en dos: Levantamiento geológico a detalle, realizado en la superficie y la exploración directa en interior mina. Los métodos utilizados en el subsuelo se subdividen en dos grupos: Exploración por medio de frentes y cruceros y exploración mediante el uso de máquinas de barrenación a diamante.

Métodos de explotación.

Los métodos de explotación son varios, principalmente se emplea el sistema de corte y relleno hidráulico. Ahora bien, cuando la estructura del cuerpo presenta un echa do casi horizontal, se utiliza el de cuartos y pilares.

Presencia de agua en la mina.

Entre los problemas más serios que se tienen en éste distrito, está la presencia de gran cantidad de agua que a alta temperatura dificulta el desarrollo y preparativos para la extracción del mineral, causando problemas en la ventilación, además de graves amenazas de inundación en el interior de la mina.

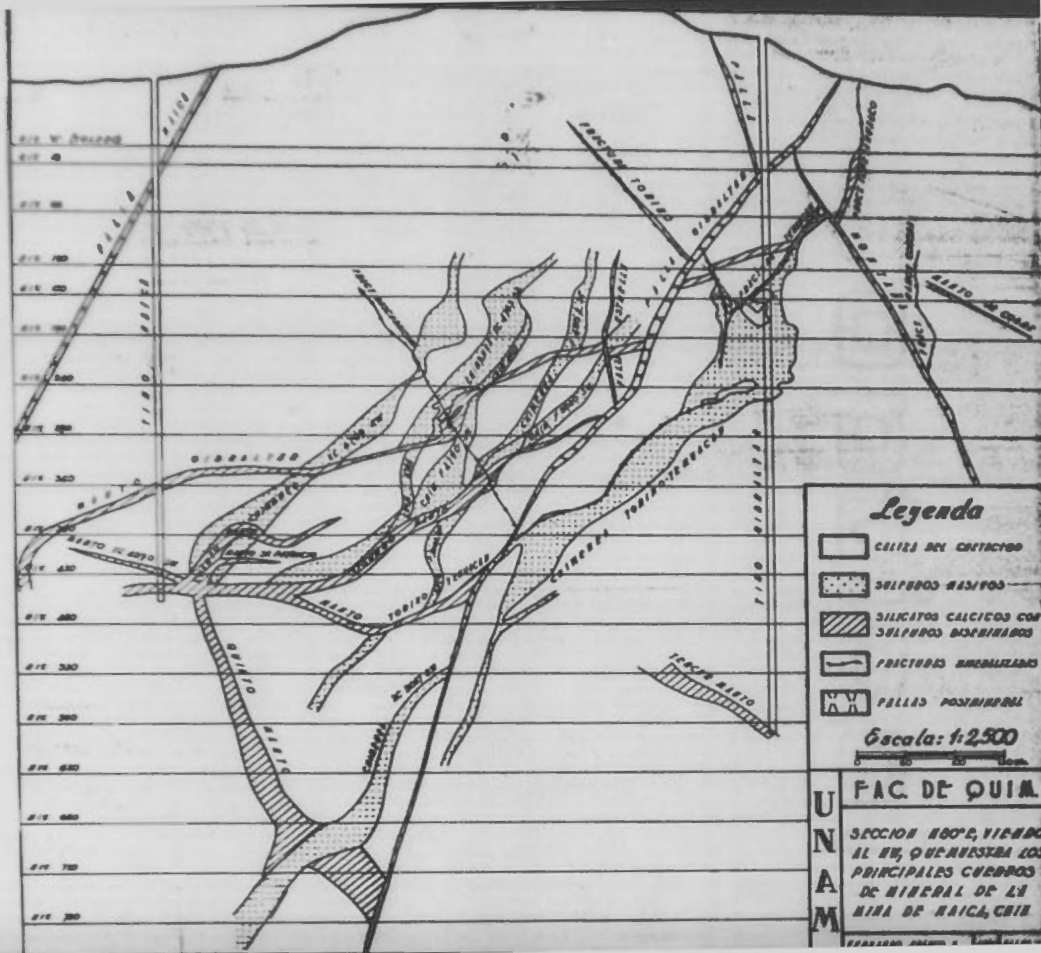
El agua que sale de la mina tiene un caudal - promedio de 12,000 galones por minuto, de los cuales la Unidad utiliza aproximadamente la tercera parte en el beneficio del mineral, riego de jardines, sanitarios, etc.

La calidad del agua se muestra en la siguiente tabla:

Temperatura	52 - 56°C
Dureza	1750 ppm.
pH	7.6
Sólidos	340 ppm.
Material volatiorgánica	49 "
Minerales sólidos	291 "
SiO ₂	25 "
CaO	75.7 "
SO ₃	166.9 "
Cl	2.6 "
MgO	6.3 "
Na ₂ O	37.8 "
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	1.0 "

Debido a que ésta agua no es potable, su uso después de cubrir las necesidades de la Unidad, sirve para regar 700 has. de sembradfo, localizadas en los alrededores del pueblo, el resto se descarga en una laguna situada aproximadamente a 8 km. de Naica.

Su extracción desde las frentes y cruceros en desarrollo en el interior de la mina, es por medio de acequias, que la conducen a las piletas de las diferentes estaciones de bombeo, las cuales se encuentran en los niveles -- 541, 441, 302 y 120. En conjunto éstas estaciones de bombeo tienen una capacidad de hasta 18,000 gpm., contando cada una con cinco bombas centrífugas. La técnica empleada en el desagüe de la mina, usualmente requiere de acequias, tuberías y bombas para controlar el agua desde los lugares de trabajo.



1.7 Planta de Beneficio Pb - Zn.

Introducción:

Actualmente en la planta de beneficio de la -
Compañía Fresnillo, S.A. de C.V., Unidad Naica, se beneficia
por el método de flotación selectiva 55,000 toneladas métri-
cas de mineral por mes, proveniente exclusivamente de la mi-
na subterránea de Naica, propiedad de la compañía.

El mineral tratado está compuesto de sulfuros
masivos y de mineral semioxidado, diseminados en silicatos y
piedra caliza.

Los principales minerales de rendimiento eco-
nómico son: Sulfuro de plomo, galena; sulfuro de zinc, esfe-
lerita (y la variedad marmatita); sulfuro de cobre y fierro,
calcopirita. Considerándose como ganga la pirita, arsenopiri-
ta, los silicatos de calcio y los carbonatos.

La planta de beneficio tiene una capacidad --
instalada de 2,300 toneladas métricas por día, ensayando una
ley de cabezas promedio de:

<u>gms./ton.</u>		<u>p o r c i e n t o</u>					
<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>	<u>PbO</u>	<u>ZnO</u>
0.35	170	4.74	3.86	0.35	5.94	0.30	0.20

El mineral que previamente se ha quebrado a -
menos de 6 pulgadas en las quebradoras de quijada del inte-
rior de la mina, es entregado a la tolva principal de mina, -
colocada ésta en el exterior y con capacidad de 1,500 tons. -
Esta tolva descarga por medio de unos chutes accionados por
aire comprimido a un carro alimentador de banda, el cual a -
su vez descarga sobre una banda transportadora, que lleva el

mineral grueso hasta una parrilla de rodillos Roger Joplin - 4 x 8 pies, tal parrilla tiene una separación entre rodillos de 2 pulgadas. El mineral mayor a 2 pulgadas pasa a una quebradora de quijada Rogers de 15 x 36 pulgadas, con una abertura de descarga de $1\frac{1}{2}$ a 2 pulgadas, y una capacidad de quebrado de 58.0 tons. por hora.

Los finos de la parrilla de rodillos y la de carga de la quebradora de quijada Rogers, caen a una banda - para ser transportados a una criba vibratoria Allis-Chalmers de 4 x 8 pies, con una abertura de $\frac{3}{8}$ de pulgada y una inclinación de 25°.

El mineral grueso o mayor de $\frac{3}{8}$ de pulgada, - cae a una banda transportadora que lo conduce a un repartidor que los distribuye a dos quebradoras de cono Symons de - 3 pies cabeza corta, cuya capacidad de quebrado es de 45.0 - toneladas por hora.

La quebradora lado Este, descarga a la banda No. 3 para ser llevado el mineral quebrado a las tolvas de - finos. La quebradora Symons lado Oeste, descarga a la banda No. 4, que transporta el mineral a una criba vibratoria marca Tyler Niagara de 4 x 10 pies, con una abertura de descarga a $\frac{3}{8}$ de pulgada. Los gruesos de ésta criba, retornan a - la quebradora de cono por la banda que lleva los gruesos de la criba Allis-Chalmers, cerrándose así el circuito.

Sección de Molinos:

El circuito de molienda que actualmente se tiene instalado, se compone de tres molinos de bolas, dos de los cuales son Traylor de 6 x 14 pies, que operan en circuito cerrado con hidrociclones Krebs de 15 pulgadas de diámetro: Las unidades Traylor tienen una capacidad de molienda promedio de 450 tons. métricas por día, utilizando para su molienda bola fundida de 4 pulgadas de diámetro; están revestidos por laminas de acero al manganeso de doble onda. Cada molino se alimenta con su tolva por medio de alimentadores que descargan sobre bandas de 20 pulgadas, las que a su vez descargan en los alimentadores de los molinos.

El tercer molino en operación es del tipo Marcy de 10 pies 8 pulgadas por 11 pies, operando en circuito cerrado con hidrociclones Krebs de 20 pulgadas de diámetro; dicho molino muele 500 tons. métricas por turno de ocho horas. Consume bola de 3 pulgadas de diámetro, forjada y de acero al manganeso; está revestido interiormente con lanas de doble onda de acero manganeso.

Los molinos de bolas reciben la carga del circuito de quebradoras, la cual previamente se ha almacenado en tolvas que corresponden a cada molino; dicho mineral está uniformemente distribuido en las siguientes mallas:

$+ \frac{1}{2}''$	$+ \frac{3}{8}''$	$- \frac{3}{8}''$
0.8%	13.0%	86.2%

Tales tamaños, son las cabezas del mineral que brado que ingresa a la sección de molienda. Ahora bien, después de que el mineral es molido y clasificado fluye por gravedad a un depósito colector, donde es bombeado hasta la cabe

za de flotación de plomo. La distribución de tamaños resultantes de la molienda y que viene a ser el tamaño del mineral en la flotación tanto del plomo y zinc, queda comprendido en los siguientes tamices:

$\frac{+ 65}{20.2\%}$	$\frac{+ 200}{30.0\%}$	$\frac{- 200}{49.8\%}$
-----------------------	------------------------	------------------------

En la sección de flotación se tienen instaladas celdas Agitair 120-A para todas las etapas de flotación, excepto para limpia final de los concentrados de plomo y zinc. El circuito de plomo tiene dos celdas primarias (roughers), dos celdas agotativas (scavengers) y una celda de primera limpia, al frente de tres celdas de limpia final Agitair No. 48. El circuito de zinc tiene dos celdas primarias tres agotativas, una primera y una segunda limpiadora; seguida a ésta se encuentran tres celdas de limpia final Agitair No. 48.

La adición de los reactivos se ha venido haciendo de acuerdo al orden siguiente: En los molinos se agrega Aerofloet 25, Sulfato de Zinc, Cianuro de Sodio y Xantato Isopropílico de Sodio. En la cabeza de plomo, mezcla de $(3ZnSO_4 \cdot 1CNNa)$ Sulfato de Zinc, Xantato Isopropílico de Sodio y Metil Isobutil Carbinol. En las etapas de primera limpia y limpia final se adiciona únicamente Sulfato de Zinc y Cianuro de Sodio.

En el circuito de Zinc, en los tanques acondicionadores se pone Sulfato de Cobre, Xantato Isopropílico de Sodio, Cianuro de Sodio y Cal; en las celdas primarias se agrega Metil Isobutil Carbinol y Xantato Isopropílico de So-

dio. En las tres celdas Agotativas se adiciona Xantato Amflico de Potasio, en las celdas de primera limpia y de limpia final, se agrega Cal.

Los concentrados flotados, son espesados por medio de un tanque espesador de 40 pies de diámetro para el plomo, y un tanque espesador de 34 pies de diámetro para el zinc. El exceso de agua en los concentrados finales de plomo y zinc, es desalojada por dos filtros de tambor Eimco de -- 10 x 8 pies; los filtros reducen la humedad en el concentrado de plomo a 6.5 - 7.0% y en el concentrado de zinc a 7.5%.

Reactivos:

El suministro de reactivos se ha venido efectuando por medio de alimentadores electrónicos, adaptada a las necesidades de la planta. El consumo actual de reactivos en gramos por tonelada de mineral beneficiado, es el siguiente:

<u>R e a c t i v o</u>	<u>gms./ton.</u>
Cal hidratada.	233.90
Sulfato de zinc.	153.70
Sulfato de Cobre.	176.60
Cianuro de sodio.	21.90
Xantato 350	18.05
Xantato 343	17.15
Metil isobutil carbinol.	30.75
Aerofloat 25	25.05

G A S T O S D E O P E R A C I O N

	MANO DE OBRA		MATERIALES		FZA. ELECT.	T O T A L E	
	COSTO	COSTO POR	COSTO	COSTO POR	COSTO	COSTO	COSTO POR
	TOTAL	TON. MIN.	TOTAL	TON. MIN.	TOTAL	TOTAL	TON. MIN.
QUEBRADORAS	38.551	0.06	110.839	0.20	15.243	164.633	0.26
MOLIENDA	39.152	0.06	240.031	0.53	91.518	370.701	0.59
CONCENTRACION	74.279	0.12	280.015	0.52	52.640	406.934	0.64
OTROS GASTOS	139.334	0.22	15.679	0.06	23.918	178.931	0.28
T O T A L E S	291.316	0.46	646.564	1.31	183.319	1121.199	1.77

Concentrados:

Mensualmente se obtiene un total aproximado de 3,500 toneladas de concentrados de plomo; con un promedio diario de 140 toneladas de concentrado de plomo con las siguientes leyes:

<u>Gr./Ton.</u>		<u>P o r c i e n t o</u>			
<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>
1.18	1985	62.70	5.20	3.30	6.32

Los concentrados Zinc que mensualmente salen de planta suman un total de 2926 toneladas, con un promedio diario de 118 toneladas de concentrado de Zinc con los siguientes valores:

<u>Gr./Ton.</u>		<u>P o r c i e n t o</u>			
<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>
0.25	74.	1.20	53.2	0.80	8.5

Las colas finales rinden aproximadamente los siguientes ensayos:

<u>Gr./Ton.</u>		<u>P o r c i e n t o</u>			
<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>
0.25	16	0.35	0.44	0.07	6.30

Las recuperaciones basadas en los ensayos de las cabezas, durante los últimos cinco años, fueron los siguientes:

<u>Producto</u>	<u>Porcentaje de recuperación</u>				
	<u>Au</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>
Concentrado de plomo	25.0	89.0	93.0	8.9	67.44
Concentrado de zinc	4.6	2.3	1.2	82.0	10.0

1.7a Planta de Tungsteno:

Las colas finales provenientes de la planta de sulfuros plomo-zinc llegan por gravedad hasta la planta de tungsteno.

Aquí la concentración gravimétrica húmeda del mineral de tungsteno, scheelita, se realiza a base de conos Reichert 4DSV y 3DSVSV, complementados con un paso de flotación de sulfuros, un circuito de tres mesas concentradoras - triplex y una mesa concentradora final.

Las colas finales de la flotación de sulfuros de Pb-Zn se bombea a dos ciclones krebs D15, a una presión - de 0.6 kilos por centímetro cuadrado a través de una bomba - horizontal de 8" X 6" marca Denver. La separación en el ciclón se hace aproximadamente a menos 65 mallas. Las arenas que son aproximadamente 1780 toneladas por día, se alimentan a los conos y los finos, 495 toneladas diarias, son enviadas a la presa de jales, aunque de antemano se sabe que contienen tanto o a veces más valores que las arenas. Esto se realiza debido a que la concentración en los conos es más efectiva, cuando se alimenta carga clasificada.

Así pues, el descargue del ciclón es levantado por una bomba horizontal 8" X 6" marca Denver al repartidor

de los conos, distribuyendo uniformemente sobre la superficie del primer cono. El repartidor en la periferia del cono doble es de dos vías, por donde fluye la carga a los conos primarios para efectuar la concentración y así progresivamente, se produce un concentrado y colas finales. El concentrado se pasa a un banco de cuatro celdas Agitair No. 48, aquí se alimentan 50 gramos de Xántato Isopropílico de Sodio, 20 gramos de Espumante Hercomin A-07, 30 gramos de sulfuro de Sodio.

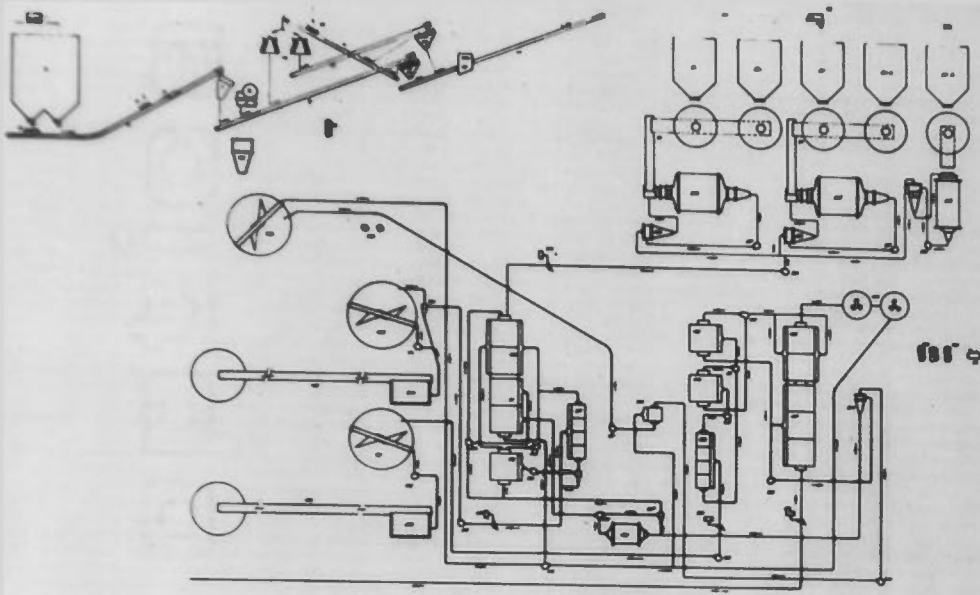
Esta flotación se realiza para remover principalmente los sulfuros de plomo, zinc y cobre que no flotaron en la planta de sulfuros, así como el sulfuro de hierro que se encontraba deprimido.

Las colas de flotación antes descritas se bombean a través de una bomba horizontal de 4" X 3" marca Vacuum Seal, a un separador magnético de tambor, extrayendo de este modo gran cantidad de pirrotito, la cola del separador magnético cae por gravedad y se reparte a dos mesas concentradoras Triplex marca Deister de 4.60 X 2.0 metros, la cola de las dos mesas concentradoras pasa a una mesa Triplex. El concentrado de los tres bancos de mesas concentradoras, que ensaya 0.42% de tungsteno, pasa a un banco de tres celdas Agitar No. 24, aquí se alimentan 15 gramos de Xántato Isopropílico de Sodio, 10 gramos de Hercomin A-07. La cola de la flotación de las celdas de 24" pasa a una mesa sencilla, Deister, donde se obtiene una ley de 68.0% WO₃.

La producción promedio del concentrado es de 300 kilos por día y ensaya lo siguiente:

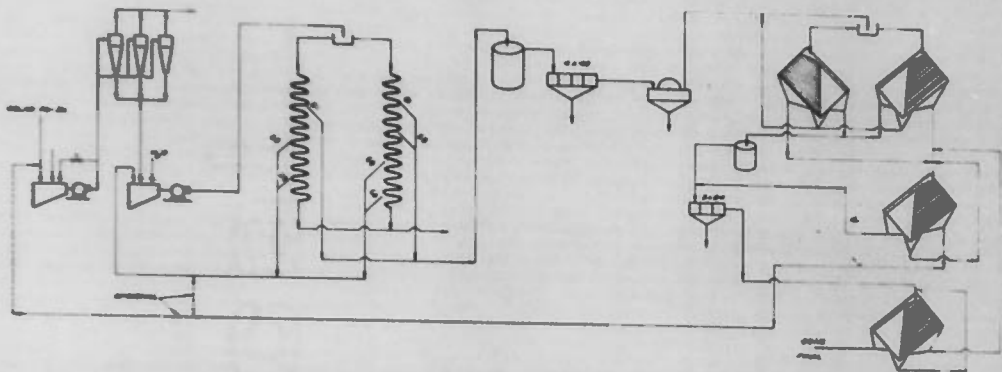
% WO_3	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe
70.0	0.20	0.003	0.001	1.5

Lo anteriormente descrito se ilustra con más claridad en el siguiente diagrama de flujo de la planta de recuperación de Scheelita, $CaWO_4$.



1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

U. N. A. M.
 FOMENTO DE OBRAS
 DIAGRAMA DE FLU
 PLANTA DE BENER



| | |
|--|------|
| U. N. A. M. | |
| FACULTAD DE QUÍMICA | |
| DISEÑO DE FLUJO DE
LA PLANTA DE TUNGSTENO | |
| FERNANDO FRANCO S | |
| PLANO N.º 18 | 1964 |

CAPITULO II

CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MINERALES DE MOLIBDENO.

2.1 Yacimientos de los minerales de Molibdeno en Naica.- En términos generales, el molibdeno es un elemento raro, debido a que su abundancia es de aproximadamente de 1 a 1.5 ppm. -- comparado con 50 a 70 ppm. para el cobre. Nunca ocurre en estado libre como elemento nativo, solo en combinación con otros elementos como el azufre, oxígeno y asociado con tungsteno, plomo, hierro, magnesio, cobalto, vanadio, bismuto, -- calcio y en ocasiones con uranio.

Geológicamente existen cinco tipos de depósitos donde el molibdeno, ocurre como molibdenita, asociado -- con pequeñas cantidades de powelita, wulfenita, siendo la molibdenita la que se presenta en concentraciones económicamente explotables.

Estos son:

- I.- Depósitos de pórfidos siderados
- II.- Depósitos metamórficos de contacto
- III.- Depósitos estratificados en rocas sedimentarias
- IV.- Pegmatitos y diques de aplita
- V.- Vetas cuarzosas

El tipo de depósito dentro del cual se encuentra el molibdeno en la mina de Naica, es del tipo metamórfico de contacto, el cual se caracteriza por ocupar zonas de calizas silificadas adyacentes a rocas intrusivas de granito. La molibdenita en Naica se localiza principalmente en los mantos, los cuales son cuerpos tabulares de formas con--

cordantes, que en ocasiones alcanzan hasta 600 mt. de longitud, con espesores que varían de unos cuantos centímetros -- hasta 15 metros. Estos mantos son cuerpos de metamorfismo ígneo formados por soluciones silícicas que se emplazan acorde a la estratificación y en ocasiones en fracturas preexistentes.

Con ayuda de la barrenación a diamante se ha encontrado que la concentración de la molibdenita aumenta -- conforme se profundiza en el depósito, debido a que la molibdenita se deposita en zonas de alta temperatura, bordeando cristales de veauvianita y reemplazandola a ésta en partes.

Los principales cuerpos conocidos con molibdeno se hallan en el tercero, cuarto y quinto manto, localizados éstos entre los niveles 390 al 530. Las reservas a la fecha no han sido cuantificadas, debido a que estos cuerpos han sido encontrados recientemente y su potencial a profundidad es desconocido, sin embargo con los datos a la fecha se estiman en 1,500.000 toneladas de reservas. Se hizo un muestreo de los mencionados mantos, siendo las leyes:

| <u>Gr/Ton.</u> | <u>P o r c i e n t o</u> | | | | | |
|----------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|-----------|
| <u>Ag</u> | <u>Pb</u> | <u>Zn</u> | <u>Cu</u> | <u>Fe</u> | <u>SiO₂</u> | <u>Mo</u> |
| 172 | 2.64 | 0.80 | 0.23 | 3.2 | 32.8 | 0.22 |

Tales valores se consideraron como cabezas para el presente estudio.

Siendo la mineralogía muy similar a la que se ha estado extrayendo para la planta de beneficio, no se considero conveniente mencionar la asociación mineralógica en la que se encuentra la molibdenita.

2.2 Propiedades Mineralógicas.- El molibdeno, al igual que sus homólogos inmediato superior e inferior, tungsteno y --- cromo del subgrupo 6-8 del sistema periódico de elementos de Mendeleeff, tiene un número reducido de especies minerales - independientes.

Actualmente se han reconocido en la naturaleza un poco más de una docena de minerales de molibdeno, siendo la molibdenita el más importante y abundante de todos estos. De hecho la molibdenita es el único mineral de molibdeno de interés económico para su beneficio público. Entre los o---tros minerales de molibdeno de cierta importancia pesada 6 - presente están: La Wulfenita, un molibdato de plomo - - - ($Pb Mo O_4$) y La Powellita $Ca (MoW)O_4$, La Powellita también - como Ferromolibdato ($Fe_2 (MoO_4) \cdot 8H_2O$), no obstante que se presenta frecuentemente en minerales de molibdeno de origen secundario, no es susceptible de beneficiarlo por los métodos convencionales de concentración y por consiguiente, carece - de interés económico.

La molibdenita ocurre comúnmente laminada, me- ciza o en escamas; también granular fina. Su crucero es en laminillas muy flexibles, pero no elásticas. Posee en la escala de Mohs una dureza de 1.0 a 1.5 su gravedad específica va de 4.7 - 4.8, tiene lustre metálico, color gris plomo pu- ro, se siente al tacto grasosa; un trazo gris azulado en el papel, gris verdoso en porcelana. El bisulfuro de molibdeno MoS_2 tiene la composición: Azufre 40.0, Molibdeno 60.0

Powellita, $Ca (W,Mo)O_4$, molibdato de calcio -- con tungsteno de calcio (10% WO_3). Ocurre en diminutas pirá- mides tetragonales amarillos, alcanza en la escala de Mohs - una dureza de 3.5 posee una gravedad específica de 4.349. -

Formada por la oxidación de la molibdenita; --
con frecuencia asociada con scheelita.

Wulfenita, $PbMoO_4$, molibdato de plomo, con posición trióxido de molibdeno 39.3, óxido de plomo 60.7. El calcio algunas veces sustituye al plomo, sus cristales comúnmente tabulares cuadrados, también maciza granular, grueso ó fino, fractura subconcoidea, quebradiza, tiene una dureza de 2.75-3, una gravedad específica de 6.7-7.0, lustre resinoso ó adamantino, color amarillo cera a naranja, raya blanca. La Wulfenita es de origen secundario encontrándose en depósitos de plomo y zinc en la zona de oxidación, probablemente se ha formado después de las primeras reacciones de oxidación por la acción de las aguas que contienen molibdeno sobre la cerusita etc.

Ocurre en México en la sierra de los lamentos, Chihuahua y de Sonora.

Ferrimolibdita, Molibdita $Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 8H_2O$, Molibdato férrico hidratado. El mineral esta comúnmente impuro y frecuentemente asociado íntimamente con limonita.

Ocurre en fibras de cristales alargados, posee una dureza de 1.5 gravedad específica de 4.5, color amarillo azufre, ocurre comúnmente en pequeñas cantidades como un producto de oxidación de la molibdenita.

2.2a Propiedades Metalurgicas.- Tomando en consideración que los minerales de molibdeno, únicamente y actualmente la molibdenita tiene significancia práctica y económica, en adelante solo se mencionará ésta.

Como se ha explicado con prioridad, la molib--

denita posee una estructura laminar bien definida, fundamentada en su estructura atómica, donde cada átomo de molibdeno está enlazado por seis átomos de azufre, en la parte superior de los prismas triangulares. Estos prismas tienen en común aristas verticales, una con la otra, para integrar laminillas y que tienen la estructura específica azufre-molibdeno-azufre, perpendiculares al eje central, lo que viene a explicar el motivo de la formación de laminillas paralelas, como se explica en la Fig. 2.1

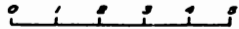
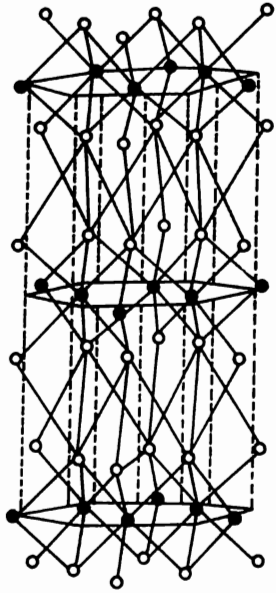
De hecho los cristales de molibdenita están -- formados por repetitivas capas colocadas una sobre otra, de acuerdo a el sistema cristalino hexagonal compacto.

Dentro de cada estructura específica (S-Mo-S) el enlace entre los átomos de Mo y S es covalente, no obstante y de acuerdo a la teoría de Pauling, sobre la estructura de la molibdenita, atribuye éste que dichos enlaces son -- un 20% iónicos, agregando que el lustre metálico de la molibdenita se debe a que existe algo de unión metálica.

Por otra parte, las caras de éstas capas están unidas solo por enlaces débiles de Van Der Waals, entre dos átomos de azufre adyacentes, sin cargas residuales. Esta estructura particular le da, por consiguiente, considerables -- comportamientos a los cristales de molibdenita, como en su clivaje, así mismo aclara el porqué de la diferencia en las propiedades de superficie que presentan las caras respecto a las aristas en las especies de molibdenita.

Cuando el mineral de molibdenita es triturado y molido expone dos diferentes tipos de superficie:

1).- La superficie de las caras, la cual es --



● Mo
○ S

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
CRISTAL DE MOLIBDENITA
FERNANDO FRANCO S.

químicamente inactiva e hidrofóbica, debido a que en éste caso sólo hubo separación de dos capas contiguas de átomos de azufre y solamente hubo rotura de fuerzas del tipo Van Der Waals.

2).- Las superficies de los bordes, las cuales son químicamente activas y fuertemente hidrofílicas, debido a éstas presentan sitios donde hubo rotura de enlaces covalentes. Estas zonas de rotura tienden a neutralizar sus cargas eléctricas valiéndose del medio circundante; es decir la pulpa en la cual se encuentran entre mezclados con agua y -- otros minerales e iones.

La discrepancia de propiedades superficiales entre las superficies de las caras y la de bordes, ha quedado demostrada en forma convincente por determinaciones de los ángulos de contacto de una gota de agua sobre la superficie de las caras y sobre la de bordes, resultando en el primer caso un ángulo de contacto de aproximadamente 80° siendo para el segundo -- cercano a 30° .

Puesto que la superficie del área de las caras es considerablemente mayor a la superficie del área de los bordes, se concibe que la molibdenita posee sobresalientes características repelentes al agua y de allí que se le conozca como un mineral hidrófobo.

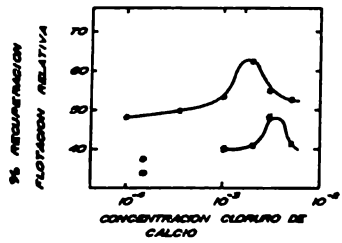
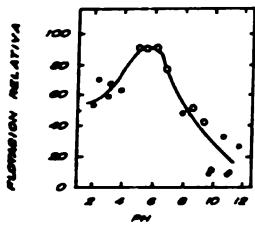
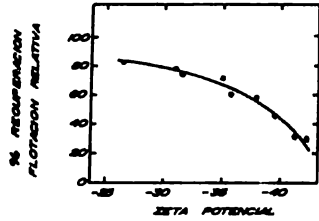
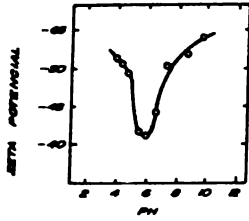
2.3 Flotabilidad Natural de la Molibdenita.- La flotabilidad natural de la molibdenita ha dado lugar a numerosos estudios y teorías de flotación. Existe una ligera duda de que la flotabilidad de un mineral es iniciada por su hidrofobicidad la cual es más acentuada en los minerales sulfurados. Cuantitativamente ésta propiedad puede ser medida por el ángulo

de contacto con una gota de agua, éste ángulo es alto cuando la hidrofobicidad es alta y baja cuando la superficie presenta poca repelencia al agua.

También es factible el determinar las buenas - propiedades de flotación, por determinaciones del potencial zeta el cual alcanza un valor mínimo, cuando la flotabilidad del mineral es máxima. De acuerdo con lo anterior los mejores resultados de flotación se llevan a cabo cuando el potencial zeta toma el valor de cero, o sea, que el potencial zeta varía de positivo a negativo ó viceversa. El punto donde ocurre el cambio en el valor del potencial zeta es nombrado punto PZR.

Recientemente, Chander y Fuerstenau estudiaron la flotabilidad natural de la molibdenita, relacionandola a diversos fenómenos naturales y a algunas propiedades fisicoquímicas medibles. Se confirmó definitivamente que la presencia de óxidos y fenómenos de oxidación sobre la superficie de la molibdenita y de los sulfuros en general reduce la flotabilidad de éstos minerales. A continuación se estableció una relación muy importante entre la flotabilidad de la molibdenita y el potencial zeta. Se llegó a probar como se ilustra en diagrama 2.2, que la máxima recuperación de molibdenita es obtenida cuando el potencial zeta muestra su más bajo valor. Recuperaciones del orden del 90%, fueron obtenidas por Hallimond, a potenciales de -41 mV, el cual cae dentro de un rango de pH entre 5.5 y 6.5.

Actualmente está plenamente establecido que la molibdenita presenta propiedades de flotación más pronunciadas que otros minerales sulfurosos y que éstas son debidas -



U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
FLOTACION NATURAL DEL
MOLIBDENO DE ACUERDO A
CHANDER Y FUERSTENAU
FERNANDO FRANCO S.

principalmente a que la molibdenita es menos susceptible a la oxidación que otros sulfuros, Rebindler determinó estas propiedades a través de medir con presión los ángulos de contacto de agua sobre superficies pulidas, de diferentes sulfuros en medio bencénico y encontrando los siguientes valores:

| | | |
|-------------|------------------|------|
| Molibdenita | MoS_2 | 145° |
| Pirita | FeS_2 | 135° |
| Calcopirita | FeCuS_2 | 131° |
| Galena | PbS | 90° |

Esto hace fácilmente comprensible el porqué la molibdenita se comporta diferente de otros sulfuros, puesto que su flotación no necesita reactivos tan conocidos, tales como Xantatos ó Ditiofosfatos, en cambio presenta gran afinidad por los hidrocarburos, los no son colectores para los demás sulfuros, por tanto lo más indicado para el beneficio de la molibdenita es aprovechar sus propiedades naturales, empleando para ello flotación diferencial, la molibdenita absorbe xantatos sobre su superficie como lo han probado Mitrafanov y Kurochkina, aunque aparentemente el mecanismo de absorción no es el mismo, porque la molibdenita difiere de los otros sulfuros. Una de las diferencias es que mientras los sulfuros de los metales pesados tales como cobre, plomo, zinc y hierro, cuando se oxidan producen cationes, los cuales después de la hidrólisis forman óxidos e hidróxidos insolubles. La molibdenita en su oxidación produce aniones, los cuales no dan productos sólidos, como fué observado por Chan-der y Fuerstenau.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se -
llegó a demostrar que existe una relación definida entre el
valor potencial zeta y la recuperación relativa por flota--
ción de molibdenita. (Fig. No. 2)

Por consiguiente los cambios en el valor del potencial zeta
de la molibdenita sumergida en agua fueron detenidamente es-
tudiados e interpretados como consecuencia de los procesos -
naturales de oxidación en la superficie de la molibdenita. -
Concretamente se estableció que la flotabilidad de la molib-
denita, en ausencia de colector, se ve fuertemente afectada
por los productos de oxidación superficial, debido a fenome-
nos eléctricos y de hidratación. Los productos de hidrata--
ción que se forman sobre la superficie de la molibdenita, su
mergida en agua son: MoO_3 y iones molibdato. La presencia
de MoO_3 en la superficie de la molibdenita en medio acidifi-
cados produce un potencial altamente negativo reduciendo se-
veramente la flotabilidad de la molibdenita, sin embargo ése
te fenómeno decrece cuando se incrementa el PH, probablemen-
te debido al hecho de la solubilidad del MoO_3 se acrecenta -
con el PH, éste óxido comienza a disolverse a un PH de 6. -
Por otra parte, del lado de soluciones alcalinas, ocurre un
fenomeno semejante, es decir, un aumento de los valores de -
potencial zeta negativos, probablemente a la absorción de --
los iones molibdato, MoO_4^{2-} disueltos, también posiblemente --
algunos iones OH.

Estos estudios han sacado demostraciones muy -
importantes, como la de los iones calcio, los cuales influ--
yen en la flotación de molibdenita. De hecho estos iones --
presentan una superficie muy activa y además son capaces de
invertir el potencial zeta de la molibdenita. En condicio--

nes donde el potencial zeta esta próximo a cero, la recuperación de la molibdenita resultó ser la máxima.

2.4 Comportamiento de los diferentes componentes del mineral.- Acerca de las observaciones anteriores, es obvio la insensibilidad del proceso de flotación a los fenómenos de oxidación y de hecho a la presencia de cualquier ión o de algún componente mineral en la pulpa. Por consiguiente este tema requiere de un análisis y algunas estimaciones más profundas

En un primer plano, la molibdenita no es exactamente la misma en apariencia y características metalúrgicas alrededor de todo el mundo. No obstante que siempre es de origen hidrogénico, la molibdenita en los depósitos típicos de vetas de reemplazo difiere de la molibdenita encontrada en los yacimientos pórfidos de cobre en el sentido de que ésta es de grado considerablemente menor, distribución irregular y aparece en una variedad de formas tales como en forma masiva, masas incrustadas o finalmente granuladas. Por consiguiente no es raro que la flotabilidad de éstas especies pueda variar considerablemente dependiendo de la forma física de la molibdenita.

Otra serie de problemas pueden ser causados por la oxidación de la molibdenita. Aunque la molibdenita es más resistente a la oxidación, cuando se compara con los sulfuros de cobre y de otros metales. Los cambios secundarios y terciarios naturales en los cuerpos minerales pueden ser suficientes para provocar variaciones tales, cubrimiento de una película hidrofílica, la cual reducen drásticamente la flotabilidad del mineral. El fenómeno de oxidación de la

molibdenita aumenta no solo con la temperatura, sino también con el incremento del PH. El efecto máximo de oxidación fué observado a un PH. de 10. Los productos resultantes de la oxidación, óxidos de molibdeno y molibdatos, forman una capa protectora, inhibiendo la superficie químicamente activa y por donde la flotabilidad de la molibdenita baja considerablemente.

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

CAPITULO III

OBTENCION DE UN CONCENTRADO DE MOLIBDENITA.

ESBOZO GENERAL.

La preparación de minerales, fundamentalmente se basa en el aprovechamiento de las diferencias entre las características físicas, químicas y fisicoquímicas de los minerales, pudiéndose desde luego asegurar que no hay dos minerales cuyas características no difieran por lo menos en cada una de ellas.

Así por consecuencia se consideran como fundamentales algunas características para la selección de un proceso de beneficio y de las operaciones que lo constituyen.

De las propiedades de referencia, las que principalmente influyen en la preparación de minerales son las siguientes: Color y Lustre, Dureza, Fragilidad y Tenacidad, Estructura, peso específico, Magnetismo, Fluorescencia y Radioactividad entre otras. Estas son algunas características de los minerales que hay que tener en cuenta para seleccionar adecuadamente el proceso de beneficio o para adicionar un paso dentro de nuestro proceso.

Para realizar una adecuada selección en el tratamiento metalúrgico del mineral de molibdenita en la mina de Naica fué necesario conocer con anterioridad las características mineralógicas de éste mineral específico, para así contar con una referencia en los siguientes pasos del tratamiento. Después de conocer la asociación mineralógica de la

molibdenita, se procedio a determinar por medio de un analisis de mallas, ya que entre las mallas se halla la mayor liberación de molibdeno.

Como sabemos los metales y minerales de importancia comercial se encuentran sólo muy raras veces en estado natural en las formas y grados de pureza que su utilización práctica requiere, pues, casi sin excepción, forman mezclas físicas o químicas o ambas a la vez con otras sustancias carentes de valor. Por lo tanto tenemos que proceder a separarlos de estas sustancias desprovistas de valor por métodos físicos de reducción simultanea de los tamaños.

3.2 Grado de liberación del Mineral de Molibdeno.- La liberación es una separación de los constituyentes útiles de una mena, de los que carecen de valor. Esto se realiza aplicando a las particulas individuales fuerzas que difieran en magnitud y/o en dirección. Esta diferencia de las fuerzas se logra gracias a la disensión de las propiedades físicas y químicas de los minerales.

Ya que gran parte de las particulas mayores de minerales son mezclas intimas, es necesario el rompimiento de sus ligaduras físicas, antes de que puedan separarse, por consiguiente la separación ha de ir precedida de la liberación, por lo menos hasta un grado en que puedan separarse en fracciones valiosas y carentes de valor. Esta liberación se lleva a cabo dividiendo la mena en particulas que son aproximadamente del mismo tamaño limite que los granos del mineral que se desea separar.

El metodo empleado para determinar el grado de

liberación del molibdeno, consistió en tomar muestras representativas de los lugares donde se localizan los cuerpos mineralógicos del molibdeno, estando éstos lugares desde una profundidad de 390 metros a 530 metros, abarcando los niveles de mina 390, 430 y 530.

Ya con las muestras del interior de la mina, se mezclo y cuarteo perfectamente, para que enseguida se quebrara el mineral de prueba a menos 10 mallas y así de éste modo tener condiciones similiares de quebrado a las que actualmente se tienen en la planta de beneficio plomo-zinc. Del total de la muestra quebrada nuevamente se hizo cuarteos con el fin de obtener una cantidad considerable con la cual, poder iniciar las respectivas pruebas.

Siguiendo con el método empleado, se procedio a realizar moliendas con la muestra de mineral quebrado a menos 10 mallas. Dichas moliendas se realizaron en igualdad de condiciones, únicamente el tiempo de molienda fué el parametro variable; una vez determinado el tiempo de molienda, el cual se tomo cuando la granulometria resultante estuviera en un 80% en peso a menos 48 mallas.

Una vez determinado éste parametro de molienda se procedio a determinar el rango de tamaños entre los cuales se encuentra liberada la totalidad de molibdenita. Para esté se molio una muestra de mineral clasificado para pruebas y al tiempo de molienda determinado, el producto resultante se analizó por las mallas + 20 - 325 y se ensayo cada una de las fracciones por molibdeno. A continuación se molió una muestra en igualdad de condiciones, pero con la variante de flotar molibdeno. De este modo se obtiene un con-

centrado primario de molibdenita y una cola, la que se analiza por las mallas + 20-325 y la fracción de cada una de las mallas se ensayo por molibdeno.

Con los resultado obtenidos de éstas dos muestras, se cálculo el porcentaje de liberación de molibdeno en cada una de las mallas, dicho porcentaje se encontro relacionado los porcentos de molibdeno de cada malla, tal como se puede observar en la siguiente formula:

$$\% \text{ LIBERACION} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

Donde: C_1 = Porcentaje (contenido) de molibdeno en cada malla, muestra No.1

C_2 = Porcentaje (contenido) de molibdeno en cada malla, muestra No.2

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la siguiente tabla:

TABLA No. 1

| Malla | % PESO | | % Mo | | % Liberación |
|-----------|--------|-------|--------|------|--------------|
| | Cabeza | Cola | Cabeza | Cola | |
| -14 + 20 | 6.42 | 6.35 | 0.15 | 0.14 | 6.60 |
| -20 + 28 | 6.84 | 8.25 | 0.15 | 0.14 | 6.60 |
| -28 + 35 | 11.10 | 11.80 | 0.17 | 0.15 | 11.80 |
| -35 + 48 | 11.67 | 11.30 | 0.17 | 0.14 | 17.60 |
| -48 + 65 | 9.21 | 8.80 | 0.18 | 0.80 | 55.50 |
| -65 + 100 | 10.26 | 10.10 | 0.19 | 0.60 | 68.42 |

| Malla | % PESO | | % Mo | | % Liberación |
|------------|--------|-------|--------|------|--------------|
| | Cabeza | Cola | Cabeza | Cola | |
| -100 + 150 | 8.74 | 8.17 | 0.24 | 0.05 | 79.20 |
| -150 + 200 | 7.69 | 7.20 | 0.27 | 0.04 | 85.20 |
| -200 + 250 | 4.36 | 4.30 | 0.30 | 0.04 | 86.60 |
| -250 + 325 | 5.86 | 5.53 | 0.31 | 0.03 | 90.32 |
| -325 + 400 | 17.85 | 18.20 | 0.31 | 0.05 | 83.90 |

Graficando el porcentaje de liberación contra el número de malla, podemos apreciar que el máximo de liberación se encuentra en la malla más 325.

Para determinar la mayor recuperación de molibdeno, se preciso realizar la misma secuencia de pasos, que para determinar el porcentaje de liberación de molibdeno en cada malla, y calculando el contenido de molibdeno en cada fracción. Los datos obtenidos en esta segunda prueba se pueden apreciar en la tabla No. 2

TABLA No. 2

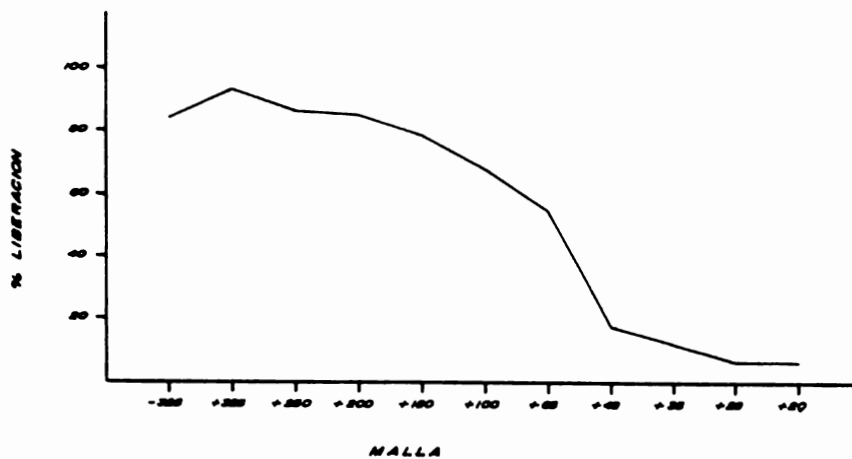
| Malla | % PESO | | % Mo | | % Recuperación |
|------------|--------|-------|--------|-------|----------------|
| | Cabeza | Cola | Cabeza | Cola | |
| -14 + 20 | 6.90 | 6.74 | 0.15 | 0.13 | 4.33 |
| -20 + 28 | 7.10 | 6.94 | 0.16 | 0.13 | 17.60 |
| -28 + 35 | 11.20 | 11.14 | 0.16 | 0.11 | 35.30 |
| -35 + 48 | 11.60 | 11.64 | 0.17 | 0.10 | 41.20 |
| -48 + 65 | 9.10 | 9.24 | 0.17 | 0.08 | 52.94 |
| -65 + 100 | 10.20 | 10.18 | 0.21 | 0.05 | 76.20 |
| -100 + 150 | 8.40 | 8.82 | 0.24 | 0.05 | 79.20 |
| -150 + 200 | 7.50 | 7.76 | 0.29 | 0.032 | 88.96 |

| Malla | % PESO | | % Mo | | % Recuperación |
|------------|--------|-------|--------|-------|----------------|
| | Cabeza | Cola | Cabeza | Cola | |
| +200 - 250 | 4.20 | 4.45 | 0.30 | 0.037 | 88.00 |
| -250 + 325 | 5.60 | 5.85 | 0.31 | 0.024 | 92.26 |
| -325 + 400 | 18.20 | 17.24 | 0.31 | 0.040 | 87.09 |

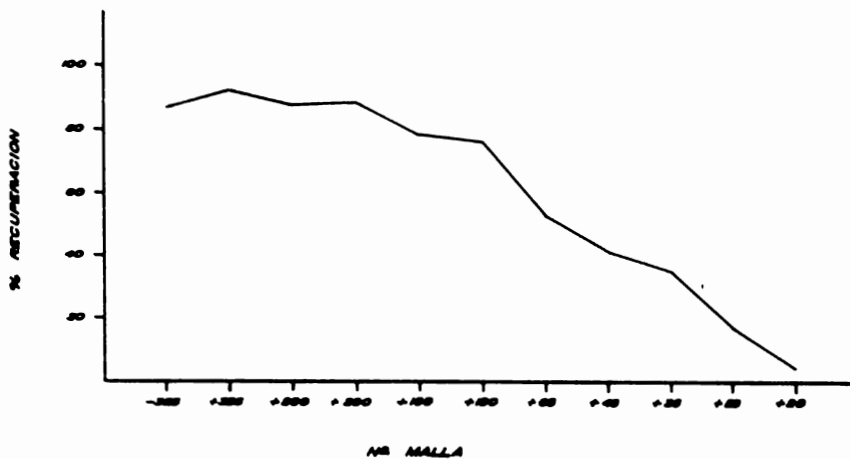
En la curva obtenida por la relación de porcentaje de molibdeno contra número de malla, podemos apreciar que la mayor recuperación de molibdeno se presenta en la malla - más 325.

Analizando las dos gráficas obtenidas, se concluye que la recuperación baja en la malla menos 325, así -- mismo la liberación se ve disminuida. Por consiguiente se deduce desde el punto de vista práctico, así como económico, que la molienda no debe sobrepasar la malla más 325, debido a que la producción de un exceso de lamas afecta la recuperación de molibdeno, por lo que conviene tener la mayor parte de nuestro producto molido, a un tamaño relativamente grueso a partir de la malla menos 48; logrando así una mínima producción de lamas y obteniendo el máximo de liberación y recuperación entre las mallas -65 + 325. Otra ventaja de tener la mínima producción de lamas, de sulfuros de plomo, zinc, - cobre y hierro, es que existe relativa dificultad en separar los del concentrado de molibdeno.

De las observaciones resultantes de las gráficas del porcentaje de liberación y del porcentaje de recuperación, podemos concluir que el rango en el cual el molibdeno se halla en su totalidad libre de las diferentes asocia--



| | |
|---------------------------------|---------|
| U. N. A. M. | |
| FACULTAD DE QUIMICA | |
| % LIBERACION
CONTRA N° MALLA | |
| FERNANDO FRANCO S. | |
| PLANO N° 2.5 | ESCALA: |
| | 1981 |



| | |
|---|---------------|
| U. N. A. M. | |
| FACULTAD DE QUIMICA | |
| % RECUPERACION
CONTRA Nº MALLA | |
| FERNANDO FRANCO S. | |
| PLANO Nº 2/A | ESCALA: 100/1 |

ciones mineralógicas, queda comprendido entre las mallas -48 + 325; De este modo podemos asegurar, que teniendo en la molienda una granulometría similar ó por lo menos que la totalidad del material molido quede comprendido dentro de éstos tamaños, tendremos una recuperación de los valores de molibdeno aceptable prácticamente y redituable económicamente.

Redondeando sobre las observaciones generadas de la construcción de dichas gráficas, se ve que una vez molido el mineral a las fracciones deseadas, lo que queda es -- recuperar la mayor cantidad de valores de molibdeno en un -- concentrado primario, ya que después el concentrado primario sólo le hará pasar por una secuencia de etapas de limpieza, las cuales deben ir acompañadas de una mínima pérdida de valores de molibdeno.

De acuerdo a las observaciones arrojadas, vemos la importancia que tiene una curva de liberación, pues -- ésta nos da una base para que la molienda se realice dentro de las fracciones, en las cuales los valores de molibdeno se encuentren totalmente liberados y se tenga además una mínima producción de finos del mismo mineral ó minerales asociados, los cuales, ya no son recuperables.

3.3 Trituración y Molienda de los Minerales de Molibdeno. --
La trituración como parte del proceso de conminución ó reducción simultánea de los tamaños de un conjunto; se realiza en los minerales normalmente por fuertes compresiones, fracturándose dichos minerales, en el momento de llegar a su límite elástico. Consecuentemente para llegar a tal punto, es -- necesario transmitir a la superficie de los minerales una -- fuerza de tal intensidad que permita traspasar el límite men

cionado. Algunas de las muchas maneras de aplicar las fuerzas de rotura, se encuentran en las máquinas quebradoras donde la energía alimentada se transforma en una fuerza de mucha intensidad que actúa a lo largo de una distancia pequeña sobre una partícula o sobre un número de partículas a la vez

La molienda constituye el paso final del proceso de conminución. Por regla general el problema consiste - en reducir el género a un tamaño límite que se encuentra normalmente comprendido entre 48 y 200 mallas (0.0116 mm - --- 0.0029 mm). El método más económico ideado hasta la fecha - para reducir los minerales valiosos a éstos tamaños, se debe a los fenómenos de martilleo, comprensión y frotamiento de - una capa fina de mineral entre superficies duras, que se desplazan tangencialmente una con respecto a la otra bajo presiones suficientes para agrietar y cizallar las partículas, ésto se realiza en molinos revestidos por lainas de acero al manganeso y que tienen como elementos reductores de tamaño - bolas o barras de acero al manganeso.

De las etapas del proceso de beneficio, la molienda es el paso más importante, con la única excepción de la concentración propiamente dicho, ya que en la mayor parte de la preparación de minerales su costo asciende aproximadamente al 25% de la totalidad del proceso. Mediante una buena distribución granulométrica tanto absoluta como relativa, la molienda ejerce un efecto decisivo sobre todos los tipos de concentración final.

Los minerales de molibdeno no difieren en la trituración y - molienda de cualquiera de los demás sulfuros metálicos. La práctica que actualmente se sigue es en la trituración una - o dos etapas siendo en la molienda también de una a dos eta-

pas. Estudios realizados sobre flotación nos indican que la máxima recuperación de minerales de molibdeno, tungsteno y - cobre; granulométricamente se presentan en el rango comprendido de 100 a 400 mallas, lo cual se confirma si el total -- del mineral es molido a menos 48 mallas.

El objetivo de un circuito de molienda, es reducir el mine-- ral alimentado a menos 48 mallas con la mínima producción de lamas.

Ahora bién, acerca de las observaciones anteriores, recalca-- mos que el mayor porcentaje de liberación, así como la más - alta recuperación de molibdeno, se presenta en la malla +325 decreciendo posteriormente en la malla menos 325; por consi-- guiente se considera que la molienda no debiera sobrepasar la malla + 325; por lo cual se opto por tener una molienda rela-- tivamente gruesa a partir de la malla menos 48, remoliendo - posteriormente en un paso intermedio del circuito.

Como se ha explicado con anterioridad la molib-- denita es uno de los pocos minerales donde despues de moli-- dos se puede tener serios problemas, debido a que expone dos diferentes tipos de superficie, la superficie de las caras, la cual es bastante hidrófóbica y la superficie de los bor-- des que presenta características hidrofílicas, por lo que al moler la mayor parte de nuestro mineral a la fineza donde se obtiene el máximo grado de liberación y de recuperación, re-- sultaria perjudicial por el exceso de lamas, las cuales afec-- tarian posteriormente en el proceso, además de que la super-- ficie de borde comienza a aumentar en proporción del total - del área superficial, dando como resultado que las partícu-- las finas de mineral de molibdeno sean susceptibles a la de--

presión por los agentes usados para deprimir los minerales - de cobre y por el hierro ferrítico, produciendo por las partes de acero instalado en los molinos de bolas, éste efecto se ve considerablemente aumentado cuando los molinos son parados por varias horas, permitiendo el herrumbre y haciéndose el hierro ferrítico un problema.

Debido a la alta flotabilidad de la molibdenita, algunos investigadores consideran que una partícula que contenga sólo el 1% de molibdenita, podrá flotar. El camino más práctico a seguir es el de realizar una flotación primaria con el tamaño de partícula más grueso posible, que asegure una buena recuperación en el concentrado primario, elevando posteriormente el grado de producto a través de una remolienda y otra secuencia de flotación del concentrado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de liberación, la disposición del circuito de molienda deberá ser tal, que no produzca exceso de finos y por consiguiente pasen a la malla más 325, por lo que se consideró para éste estudio un circuito básico de molienda en un solo paso y en circuito cerrado; ya que un circuito de molienda en dos pasos, consume el doble de energía que uno sencillo y adicionando los subsecuentes pasos de limpieza, podría gastarse demasiado económicamente hablando, cierto es que con una molienda en dos pasos se logra moler más, pero ya que logramos recuperaciones similares, ley más alta en el concentrado y disminución en el consumo de energía, lo conveniente es elegir el circuito de molienda en un paso y en circuito cerrado.

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

| PASOS DE
MOLIENDA | % PESO | PRODUC. | ENSAYES | | | | | | RECUPERACION | | | | |
|----------------------|--------|---------|---------|------|------|------|------|------|--------------|------|------|------|------|
| | | | Ag | Pb | Zn | Cu | Fe | Mo | Ag | Pb | Zn | Cu | Fe |
| UNO | 3.23 | CONC. | 1930 | 11.0 | 1.58 | 15.3 | 16.0 | 3.7 | 28.2 | 10.7 | 11.0 | 90.1 | 13.5 |
| | 96.77 | COLA | 165 | 3.07 | 0.43 | 0.1 | 3.4 | 0.04 | 71.8 | 89.3 | 89.0 | 9.9 | 86.5 |
| DOS | 10.2 | CONC. | 2396 | 21.4 | 0.5 | 2.1 | 4.4 | 1.48 | 58.6 | 52.0 | 11.5 | 39.5 | 11.9 |
| | 89.2 | COLA | 192 | 2.2 | 0.5 | 0.4 | 3.7 | 0.04 | 41.4 | 48.0 | 88.5 | 60.4 | 88.1 |

3.4 Evaluación de los Reactivos Empleados.-

Cianuro de sodio: NACN

Debido a que el cianuro de sodio ha recibido - aplicación universal como un reactivo depresivo de pirita en el tratamiento de los minerales sulfurados. Además que una razonable depresión de pirita resulta con pequeñas adiciones de cianuro de sodio por tonelada tratada y la flotación de - los minerales no queda afectada.

El cianuro de sodio se agrega generalmente a los circuitos - de plomo-zinc; ya sea directamente a la molienda o en las -- etapas de acondicionamiento o de limpia final. El efecto -- del cianuro de sodio en la depresión de la pirita ha recibido mucho estudio y aún no se ha descubierto el mecanismo que causa tal depresión. Estas son algunas de las teorías que - se han expuesto:

1.- Los iones del cianuro y el colector compi-
ten; ésta situación reducirá o eliminará el contacto del co-
lector sobre la superficie del mineral, impidiendo la flota-
ción de la pirita.

2.- Un producto nuevo se forma a causa de la
reacción entre el ión ferrico en la superficie de la pirita
y el ión ferrocianuro derivado de la solución.

3.- La formación del compuesto $K_2Fe(II)Fe(CN)_6$
al punto de contacto entre la pirita y la solución, puede --
causa la depresión.

4.- El Fe^{2+} disuelto se combina con el CN, --

que a su vez se combina con el Fe^{3+} superficial de la pirita formando así un compuesto insoluble sobre el mineral.

Por tal motivo que sea, el simple hecho de que el cianuro de sodio deprime efectivamente a la pirita, no necesita corroboración.

El cianuro de sodio se disuelve rápidamente en agua y las soluciones normales en la mayoría de las operaciones son de -- 10% por peso.

Sulfato de Zinc:

El sulfato de zinc se ha venido empleando como un auxiliar del cianuro de sodio para deprimir la esfalerita en otros casos se alimenta únicamente el sulfato de zinc, -- con el fin de que deprima los sulfuros de zinc, en la sec--- ción de flotación de los sulfuros de plomo, en un circuito - plomo-zinc. El sulfato de zinc es adicionado directamente - en los molinos y en las etapas de limpieza de la galena.

El efecto depresante del sulfato de zinc, so-- bre la pirita y esfalerita en la flotación selectiva de plo-- mo-zinc, ha sido objeto de varios estudios con el fin de de cubrir el mecanismo que causa tal depresión.

Silicato de Sodio:

Este reactivo es comúnmente usado para disper-- sar lamas silíceas y de óxido de hierro, también actúa como depresor de minerales de ganga silícea en la flotación de - sulfuros. El silicato de sodio puede ser añadido práctica-- mente en cualquier punto del circuito de flotación, regular-

mente es agregado en los molinos, en las etapas de acondicionamiento y de limpieza. Los silicatos de sodio (SiO_3) funcionan neutralizando las cargas de las partículas de mineral silicoso.

Dicromato de Potasio:

Aunque la mayoría de los iones metálicos pueden considerarse como agentes modificantes de la superficie, la serie electromotriz de los metales, puede emplearse para determinar la adaptabilidad de cualquier metal como modificador de la superficie para cualquier mineral determinado.

Se ha hallado que el dicromato de potasio es muy efectivo como depresante para los sulfuros de plomo en pulpas alcalinas, en la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc. Esto sin duda, puede estar basado en que no existe ningún estado de oxidación del cromo estable, entre los estados +6 y +3, por lo que sólo es posible una reacción para el dicromato y que a su vez su efecto depresor en la ganga es más selectivo.

Trietanolamina:

Pertenece al grupo de las alcanolaminas, las que se consideran derivados del amoníaco, en el cual al menos un hidrógeno es reemplazado por un radical hidroxialquino. La serie de las etanolaminas incluye mono-di y trietanolaminas ($\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$, $\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$, $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3$, respectivamente) ó sea las etanolaminas se pueden considerar como etilaminas con el radical etilo hidroxilado ó sea como amoníaco, ----

con uno o varios hidrógenos substituidos por el grupo $-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{)}\text{H}$. Este reactivo es agregado en la molienda, en la etapa de acondicionamiento y en las de limpia final.

Este producto es empleado porque con ello se produce emulsificaciones que tienen partículas de tamaño fino. En solución acuosa manifiestan una fuerte reacción básica.

Las etanolaminas así como el éter, cloroformo, sulfuro de carbono y aceites grasos disuelven el petróleo fácilmente en todas proporciones.

Petroleo Diáfano:

El petróleo como se sabe es insoluble en el agua y el alcohol de 90° sólo disuelve una pequeña porción. El éter, cloroformo, sulfuro de carbono, aceites grasos y etanolaminas, lo disuelven fácilmente en todas proporciones.

La dispersión del petróleo en el agua en forma de globulos, producido por la trietanolamina, es con el fin de que éste tenga más puntos de contacto con la pulpa mineralizada. El petróleo diáfano contiene desde los hidrocarburos C_9H_{20} , hasta los correspondientes a la fórmula $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$.

3.5 Flotación de la Molibdenita.- Las especificaciones que deben reunir los concentrados de molibdeno, para que puedan ser comercializados en los mercados internacionales son las siguientes:

| <u>CONCENTRADO MoS₂</u> | <u>PORCIENTO</u> | <u>ESPECIFICACION</u> |
|------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Mo | 57-58 | Mínimo |
| Fe | 1.6 | Máximo |
| Si | 1.04 | Máximo |
| Cu | 0.25 | Máximo |
| Pb | Trazas | Máximo |
| Zn | Trazas | Máximo |

Dichas condiciones pueden variar actualmente - debido a la escasez de minerales de molibdenita. De la norma existente en el mercado se observa que solo debe existir trazas de plomo y zinc, lo cual debido a las características del mineral de Naica y del proceso de minado, hacen factible que exista variación en la ley de plomo y zinc, dificultando la eliminación completa de éstos sulfuros, en el concentrado de MoS₂. Por esta razón el tratamiento consistió en reducir al mínimo el plomo y el zinc y otras asociaciones minerales. Además pensando que en el futuro se incrementará la producción de concentrados de MoS₂, es recomendable un tratamiento metalúrgico con el cual se obtengan las especificaciones requeridas para el concentrado de molibdenita.

Como se expuso anteriormente el tratamiento de beneficio de la molibdenita debe estar encaminado a obtener un concentrado de elevado grado con una reducción considerable de intermedios ó partículas no liberadas en dicho concentrado. Por tal motivo para realizar el tratamiento metalúrgico se hizo una evaluación previa de los reactivos más apro

piados para la flotación, tomando como base los valores de cabezas, con las cuales se llevo a cabo el presente estudio. Así mismo se consideró la asociación mineralógica de las especies presentes. Se empleo silicato de sodio (Na_2SiO_3) como depresor de ganga silicosa; sulfato de zinc (ZnSO_4) como depresor de esfalerita; dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) para oxidar superficialmente la galena; como colector y espumante: petroleo diáfano y metil Isobutil carbinol (MiBC); cianuro de sodio (NaCN) como depresor de pirita, esfalerita y en menor grado la calcopirita; tri-etanolamina como emulsificante de hidrocarburos.

El efecto de éstos reactivos sobre la pulpa mineralizada y las características de flotabilidad de la molibdenita, nos señalan el camino más indicado para el beneficio de éste mineral de molibdeno, el cual es aprovechar las propiedades naturales de flotabilidad de la molibdenita, empleando para recuperarla el método de flotación selectiva.

El termino de flotación diferencial se aplica a aquellas operaciones que comprenden la separación de tipos similares de mineral. Un ejemplo de flotación diferencial o selectiva viene siendo la concentración y subsiguiente separación de sulfuros de cobre, plomo, zinc y hierro de un solo mineral.

El mecanismo esencial de la flotación comprende la anejió de partículas minerales a las burbujas de aire de tal modo que dichas partículas sean llevadas a la superficie de la pulpa mineral, donde puedan ser removidas. Este proceso abarca las siguientes etapas:

1.- Moler el mineral a un tamaño lo suficientemente fino para separar los minerales valiosos uno de otro, así como de los minerales de ganga adherentes.

2.- Preparar las condiciones favorables para la adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire.

3.- Crear una corriente ascendente de burbujas de aire en la pulpa del mineral.

4.- Formar una espuma cargada de mineral en la superficie de la pulpa.

5.- Extraer la espuma cargada de mineral.

En el presente estudio la molienda del mineral de molibdeno se realiza en una sola etapa y en circuito cerrado. Se carga el molino del laboratorio, con una carga triturada a -10 mallas y bajo un sistema de trituración tendiente a producir la menor cantidad de finos. Dicha alimentación se hizo de acuerdo al siguiente análisis de cribas:

| | | |
|-------------------|-------|------|
| -10 + 48 mallas | 62.70 | % Wt |
| -48 + 325 mallas | 32.80 | % Wt |
| -325 + 400 mallas | 4.5 | % Wt |

Para conseguir las condiciones favorables para la adherencia de las partículas minerales deseadas a las burbujas de aire, es necesario tener mayor tiempo de contacto entre los reactivos y la pulpa mineralizada, ésto se logra adicionando en la molienda los agentes modificantes de superficie como silicato de sodio, dicromato de potasio, sulfato

de zinc y cianuro de sodio, la adición de éstos reactivos en la molienda es con el fin de aumentar la acción depresante. También allí mismo se agrega petróleo diáfano y trietanolamina.

La molienda resultante queda comprendida bajo la siguiente granulometría:

| | |
|--------------------|-------------------|
| <u>+ 48 mallas</u> | <u>- 48 + 325</u> |
| <u>% Wt</u> | <u>% Wt</u> |
| 20.48 | 79.52 |

El producto más grueso (+ 48) retorna a las trompas del molino y el producto -48 + 325 pasa a flotación.

De acuerdo al diagrama de flujo de beneficio de la molibdenita, el derrame de los hidrociclones pasa a --flotación primaria. En ésta etapa se adiciona nuevamente silicato de sodio, dicromato de potasio, sulfato de zinc, cianuro de sodio, petróleo diáfano, trietanolamina y MiBC; obteniéndose un concentrado primario de molibdeno y una cola; la cola pasa por una etapa de agotamiento, obteniendo un concentrado que retorna a cabezas, la cola de esta agotativa ó cola final posteriormente se le flotara selectivamente, obteniéndose concentrados de plomo y zinc con leyes comerciales.

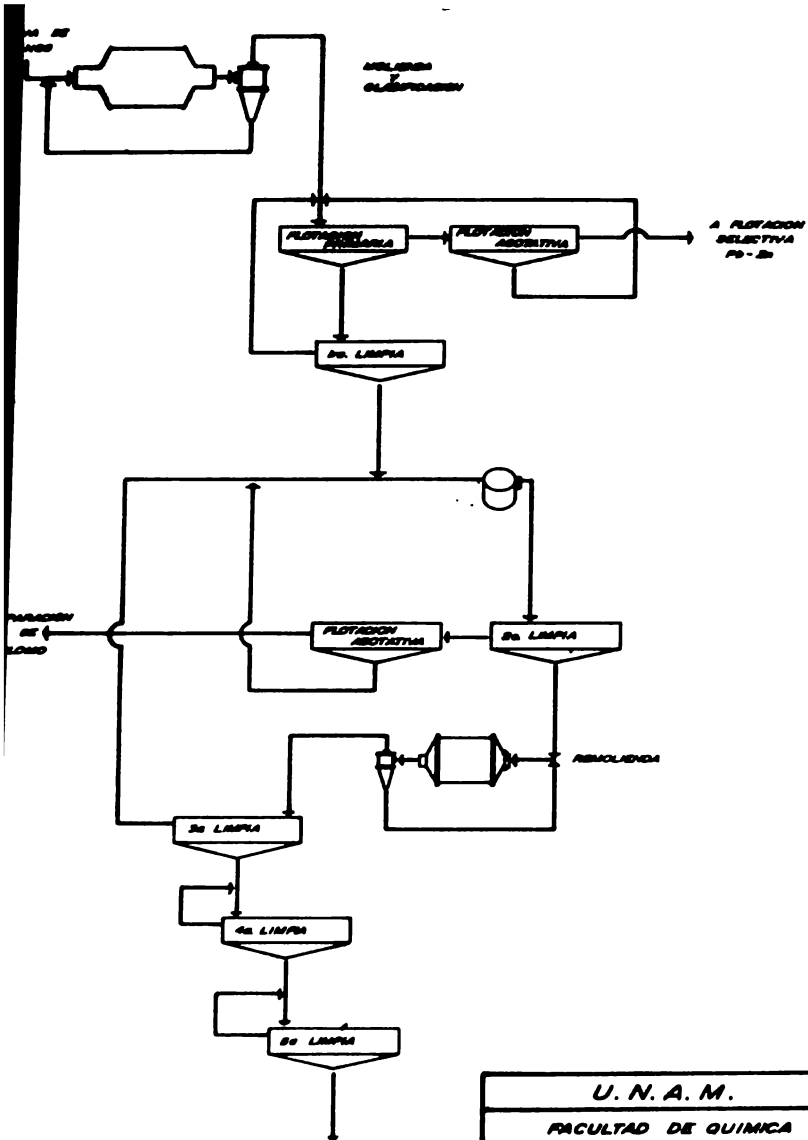
El concentrado primario obtenido se limpia adicionando silicato de sodio y sulfato de zinc, la cola de ésta primera limpia retorna a cabezas y el concentrado pasa a una etapa de acondicionamiento, adicionándosele dicromato de potasio, cianuro de sodio, sulfato de zinc, silicato de sodio

agregandole en éste mismo acondicionamiento petroleo diáfano como colector de molibdenita, trietanolamina como emulsificante de hidrocarburos. Acondicionada la pulpa, se flota en una segunda limpia, obteniendo un concentrado que pasa a remolienda, la cola de ésta segunda limpia se obtiene un producto de flotación agotativa que recircula al acondicionamiento. La cola de ésta agotativa podemos considerarla como un concentrado de plomo, que no recirculará en el circuito y se unirá al concentrado de plomo de la flotación selectiva plomo y zinc.

El concentrado de la segunda limpia (Separación plomo-molibdeno), presenta cierto amarre a la ganga del mineral o sea que aún no esta completamente liberada, por lo cual dicho concentrado es llevado a remolienda (de guijarros) con una granulometria resultante del 75% a más 325 mallas. El producto de remolienda se hace pasar por tres pasos más de limpia. Acondicionando en la tercera limpia silicato de sodio, sulfato de zinc, dicromato de potasio, petroleo diáfano, trietanolamina y metil isobutil carloinol; obteniendo un concentrado que se hace pasar por dos limpias más. La cola de la tercera limpia regresa a la etapa de acondicionamiento

En la cuarta y quinta limpias se adicionan pequeñas cantidades de los reactivos mencionados con el propósito de obtener un grado óptimo con la mínima presencia de impurezas.

La secuencia esquemática del proceso, la observamos con más detalle en la figura. No. 3.1



| | | |
|--------------------------|-------|------|
| U. N. A. M. | | |
| FACULTAD DE QUIMICA | | |
| DIAGRAMA DE FLUJO | | |
| FERNANDO FRANCO S. | | |
| PLANO N° 31 | TECLA | 1991 |

| PROYECTO | RECURSOS | | | | | | | | CONTRIBUCIONES | | | | | | % DISTRIBUCION | | | | |
|--------------------|---|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|--------|-------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | Grupos | % | no. Ho | Al. (m) | Pa. (m) | Pa. (m) | Co. (m) | Pa. (m) | Al. | Pa. | Pa. | Pa. | Co. | Pa. | Al. | Pa. | Pa. | Pa. | Co. |
| INSTRUMENTACION #1 | 10.80 | 3% | 0.63 | 5.20 | 6.30 | 1.20 | 0.47 | 3.3 | 0.205 | 329.900 | 1.645 | 0.708 | 0.399 | 1.620 | | | | | |
| INSTRUMENTACION #2 | 88.00 | 4.8% | 3.37 | 4.86 | 3.40 | 0.91 | 0.36 | 3.7 | 1.326 | 481.30 | 1.216 | 0.219 | 0.086 | 0.680 | | | | | |
| COLE. MUEBLES | 38.80 | 6.8% | 4.31 | 3.76 | 4.80 | 0.96 | 0.42 | 3.8 | 0.610 | 76.095 | 0.827 | 0.776 | 0.079 | 0.716 | | | | | |
| COLE. MUEBLES #1 | 13.6 | 0.9% | 0.080 | 1.76 | 1.1 | 0.89 | 0.23 | 3.0 | 0.039 | 154.620 | 1.477 | 0.668 | 0.216 | 1.986 | | | | | |
| COLE. MUEBLES #2 | 24.0 | 0.9% | 0.08 | 3.26 | 3.33 | 1.70 | 0.63 | 3.9 | 0.0088 | 4.91 | 0.047 | 0.078 | 0.006 | 0.039 | | | | | |
| COLE. MUEBLES #3 | 11.8 | 0.4% | 3.94 | 6 | 0.28 | 0.08 | 0.03 | 0.40 | 0.247 | 0.026 | 0.007 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0004 | | | | | |
| REB. O3 | 208.2 | 6.8% | 4.30 | 4.67 | 3.89 | 1.10 | 0.43 | 3.63 | 0.170 | 33.768 | 0.681 | 0.078 | 0.029 | 0.233 | | | | | |
| COLE. 2 | 279.4 | 12.7% | 0.063 | 1.79 | 2.33 | 0.90 | 0.22 | 3.0 | 0.041 | 184.025 | 1.347 | 0.833 | 0.204 | 4.640 | | | | | |
| CONSTR. BARRIO | | 0.72.0 | 37.6 | 6 | 0.28 | 0.03 | 0.03 | 0.40 | 0.4180 | 0.0430 | 0.0048 | 0.0074 | 0.0008 | 0.0721 | | | | | |
| COLE. 3 | | 79.238 | 0.063 | 1.79 | 2.33 | 0.90 | 0.22 | 3.0 | 0.0446 | 171.70 | 1.8130 | 0.8950 | 0.2150 | 4.9640 | | | | | |
| SECCION | RECURSOS DE REACTIVOS POR TONELADA DE MINERAL | | | | | | | | % | | | ABASTOS DE CABLES | | | | | | | |
| | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co | no. Co |
| REACTIVOS | 0.200 | 1.0 | 1.3 | 1.0 | 0.08 | 0.03 | | | 62 | 10 | 41 | 67.80 | 32.80 | | | | | | |
| PA. O3 | 0.100 | 0.100 | 0.300 | 1.0 | 0.08 | 0.03 | 0.080 | | 30 | 6 | | 20.48 | 79.82 | | | | | | |
| REACTIVOS | 0.300 | 0.600 | 1.0 | 1.0 | 0.08 | 0.04 | | | 28 | 10 | 80 | | | | | | | | |
| REACTIVOS | | | 0.600 | 0.400 | 0.03 | 0.01 | | | | 6 | | | | | | | | | |
| REACTIVOS | 0.100 | 0.100 | | | | | 0.030 | | 30 | 3 | | 25.0 | 25.0 | | | | | | |
| REACTIVOS | 0.100 | 0.100 | 0.300 | 0.100 | 0.01 | 0.01 | 0.030 | | 30 | 2 | | | | | | | | | |
| REACTIVOS | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.01 | | 0.030 | | 30 | 18 | | | | | | | | | |

FACULTAD DE QUIMICA
BALANCE METALURGICA
 FEBRERO MARCO 3 1951

El balance metalúrgico de éste estudio es el siguiente:

TABLA No.

BALANCE METALURGICO

| <u>PRODUCTO</u> | <u>% PESO</u> | <u>G/ton.</u> | <u>E N S A Y E S</u> | | | | |
|------------------------|---------------|---------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | <u>p o r c i e n t o</u> | | | | |
| | | | <u>Ag</u> | <u>Pb</u> | <u>Zn</u> | <u>Cu</u> | <u>Fe</u> |
| Cabeza | 100.0 | 177.74 | 2.514 | 0.893 | 0.212 | 5.036 | 0.4586 |
| Conc. MoS ₂ | 0.721 | 6 | 0.25 | 0.02 | 0.03 | 0.10 | 57.4 |
| Cola | 99.278 | 179 | 2.53 | 0.90 | 0.22 | 5.0 | 0.045 |

| <u>PRODUCTO</u> | <u>% DISTRIBUCION</u> | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <u>Ag</u> | <u>Pb</u> | <u>Zn</u> | <u>Cu</u> | <u>Fe</u> | <u>Mo</u> |
| Conc. MoS ₂ | 0.244 | 0.0716 | 0.0157 | 0.099 | 1.433 | 90.27 |
| Cola | 99.97 | 99.92 | 100.0 | 100.0 | 98.60 | 9.725 |

La ley de molibdeno en el concentrado es de 57.4% proporcional a --
95.70% como molibdenita, lo que es bastante satisfactorio.

PRODUCCION Y METALURGIA

| | PRODUC. | Gr/T p o r c i e n t o | | | | | |
|------------------------------|---------|------------------------|------|------|------|------|-------|
| | TONS. | Ag | Pb | Zn | Cu | Fe | Mo |
| Ensaye Cabezas | 500 | 172 | 2.64 | 0.80 | 0.23 | 3.2 | 0.22 |
| Cabeza Calculada | 500 | 199 | 2.75 | 0.91 | 0.23 | 4.9 | 0.24 |
| Concentrado MoS ₂ | 1.420 | 6 | 0.25 | 0.02 | 0.03 | 0.10 | 57.4 |
| Colas Finales | 498.580 | 180 | 2.53 | 0.90 | 0.22 | 5.0 | 0.045 |

C O N T E N I D O S

| | Kg | T O N E L A D A S | | | | |
|------------------------------|-------|-------------------|--------|--------|--------|-------|
| | Ag | Pb | Zn | Cu | Fe | Mo |
| Ensaye Cabezas | 86.00 | 13.200 | 4.000 | 1.150 | 16.000 | 1.10 |
| Cabeza Calculada | 99.50 | 13.750 | 4.550 | 1.150 | 24.50 | 1.20 |
| Concentrado MoS ₂ | 0.008 | 0.0035 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0014 | 0.815 |
| Colas Finales | 89.74 | 12.610 | 4.490 | 1.097 | 24.930 | 0.224 |

DISTRIBUCION DE MEDIOS PARA
UN SOLO PRODUCTO
DE ACUERDO AL CALCULO DE
RICHARDS

A_o = % Peso concentrado M = % Peso de los medios

T_o = % Peso cola C_1 = Ley del concentrado

A_1 = % Peso distribuido al concen-
trado C_2 = Ley de medios

T_1 = % Peso distribuido a las co-
las C_3 = Ley de colas

$$A_1 = \frac{M (C_2 - C_3)}{C_1 - C_3} \quad T_1 = M - A_1 \quad A_t = A_o + A_1$$

$$T_t = T_o + T_1$$

$A_o = 0.43\%$

$M = 6.81\%$

$T_o = 92.76\%$

$C_1 = 57.4\% M_o$

$A_1 =$

$C_2 = 2.50\% M_o$

$T_1 =$

$C_3 = 0.045\% M_o$

$$A_1 = \frac{6.81 (2.50 - 0.045)}{57.4 - 0.045} = \frac{16.718}{57.355} \therefore A_1 = 0.2915\%$$

$A_t = 0.43 + 0.2915 \quad A_t = 0.7215$

$T_1 = 6.81 - 0.2915 \quad T_1 = 6.5185$

$T_t = 92.76 + 6.5185 \quad T_t = 99.2785$

La flotación de la molibdenita y de muchos otros sulfuros después de la molienda, se debe efectuar en -- una primera etapa de concentrado primario (Rougher). Este -- concentrado es a continuación enriquecido en varias etapas de limpieza, hasta obtener un producto final que contiene a -- próximadamente 57% de molibdeno (95% de MoS_2).

Así fué como una vez determinados los parame-- tros de molienda y se hubo seleccionado los reactivos, se -- realizaron las pruebas de flotación encaminadas a tener una máxima recuperación en el concentrado primario. Después de que se obtuvo el concentrado primario, por medio de la adi-- ción subsecuente de reactivos en las siguientes etapas de -- acondicionamiento y limpieza, se obtuvo el concentrado de mo -- libdenita deseado y de acuerdo a las normas prevaletientes -- en el mercado.

Ahora bién, de acuerdo a la gráfica obtenida -- de por¹centaje de recuperación contra número de mallas, pode-- mos confrontar la recuperación máxima obtenida en dicha grá-- fica y la recuperación obtenida en la flotación final de la molibdenita, las cuales son; 92.26% y 90.27%, respectivamente, lo que viene a resultar bastante satisfactorio.

Lo anterior viene en parte a justificar los -- objetivos planteados por el presente estudio.

CAPITULO IV

VIABILIDAD

4.1 Generalidades.- Los usos finales del molibdeno, requieren productos de molibdeño de cierta pureza, especialmente - en lo que respecta a las impurezas críticas, que puedan contaminar a los productos finales. Los precios de tales productos están cotizados en dolares por libra de molibdeno contenido en el concentrado y de acuerdo a la calidad del producto. Estos precios pueden variar ligeramente en relación con la presentación del producto, esto si éste se encuentra briqueteado o empacado en latas o sacos.

El precio fundamental para la evaluación de -- los productos de molibdeno, es el precio del molibdeno en -- los concentrados de molibdenita. Los Estados Unidos, como -- el mayor exportador y comerciante de los productos de molibdeno, es quien generalmente fija los patrones en el sistema de precios de molibdeno, además AMAX, que es propietaria de CLIMAX MOLYBDENUM, el mayor productor de molibdeno en el -- mundo, viene a ser factor importante en la cotización de los productos de molibdeno. Su concentrado de molibdenita, generalmente muy puro, 95% como molibdenita, es la base para establecer el precio fundamental para dichos productos.

En general, los precios del molibdeno se han -- manejado sabiamente en orden de guardar la posición competitiva del molibdeno en comparación con otros metales en los -- mercados mundiales e inspirar un grado de confianza mayor a

Los consumidores, éste caso es substancialmente distinto --- cuando se compara con la variabilidad de los precios del cobre.

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

Los precios del molibdeno metálico en forma de polvo se rigen generalmente con un recargo casi del 100% sobre el precio base de la molibdenita, de 95% de pureza. Por ejemplo, con el precio base de \$ 9.76 dólares por libra contenidos de Mo, el metal se cotiza ligeramente alrededor de - \$ 9.90 dólares por libra.

Aparte del óxido molibdico grado técnico, éste se encuentra disponible en forma de un producto purificado - con un contenido mínimo de 99.5% de MoO_3 . Dicho producto -- contiene como nivel máximo, 0.005% de las siguientes impurezas (en cada caso): Hierro, Sílice, Azufre y Plomo. El óxido molibdico especial grado reactivo tiene una pureza de --- 99.99%.

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

4.2 Evaluación de Recursos.- La evaluación de recursos del mineral de molibdeno en la mina subterránea de Naica, se basa principalmente en la evaluación de los depósitos de tipo metamórficos de contacto. Las reservas, como se han indicado son cantidades generalmente aceptadas y en su gran mayoría, reflejan el molibdeno contenido. Estos depósitos minerales fueron explorados y barrenados extensamente y más importante se ha determinado con los trabajos de exploración más recientes que la concentración de la molibdenita, aumenta con la profundidad, debido a que éste mineral de molibdeno tiende a depositarse en zonas de alta temperatura.

Ahora bien, aún cuando el potencial total dudoso, debido a la falta de información respecto a las reservas minerales, las cuales no son conocidas ó publicadas por las Compañías, no existe la menor duda de las reservas de minerales de molibdeno en la mina de Naica, pueden ser considerablemente mayores de lo que se pensaron inicialmente. Esta situación se debe algunas veces a la falta de curiosidad acerca de las reservas de extensión prolongada, debido a la situación dudosa de impuestos u otras presiones posibles.

Por otra parte, las tecnologías modernas de minado convierten en yacimiento aquello que fué considerado antes como roca sin utilidad. Sin embargo debe admitirse que nuestros minerales en general se mantienen de acuerdo a la demanda. Esto se debe en gran parte a los estudios de exploración y explotación más cuidadosos de nuevos recursos, junto con el adelanto de las tecnologías que permiten el tratamiento de yacimientos de acuerdo a sus contenidos metalúrgicos.

4.3 Evaluación Económica de Reactivos.-

| C O S T O D E R E A C T I V O S | | | | | | |
|--|--------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | <u>KG CONS/TON</u> | <u>TON/MES</u> | <u>CONS. TOT.</u> | <u>COSTO/KG</u> | <u>COSTO TOTAL</u> | <u>COSTO/TO</u> |
| ZnSO ₄ | 1.800 | 13,000 | 23.400 | 10.50 | 245,700.0 | 18.900 |
| NaCN | 0.800 | 13,000 | 10.400 | 36.90 | 283,760.0 | 29.520 |
| K ₂ Cr ₂ O ₇ | 3.500 | 13,000 | 45.500 | 175.00 | 7,962,500.0 | 612.500 |
| Na ₂ SiO ₃ | 3.600 | 13,000 | 46.800 | 23.56 | 1,102,608.0 | 84.816 |
| Petroleo | 0.250 | 13,000 | 3.250 | 0.69 | 2,242.0 | 0.712 |
| TEA | 0.110 | 13,000 | 1.430 | 200.00 | 286,000.0 | 22.000 |
| MIBC | 0.170 | 13,000 | 2.210 | 36.91 | 81,571.0 | 6.275 |
| C O S T O D E L C O N C E N T R A D O D E MoS ₂ | | | | | | |
| PRODUCTO | PRODUCC/DIA
KG. | TON/MES | COSTO/TON | COSTO TOTAL | | |
| CONCENTRADO
MoS ₂ | 1420.0 | 36.92 | 493,224 | 18,204,841.0 | | |

Peso atómico del Molibdeno : 95.95 u.m.a.
 Peso atómico del Azufre : 32.09 u.m.a.
 Peso molecular de la Molibdenita : 160.09

Grado mínimo a lograr en el concentrado de molibdeno, teniendo una pureza del 95% como molibdenita.

160.09 95.95 (Mo)
 95.0 X (Mo)

Grado mínimo: 57.0% de molibdeno contenido en el concentrado, con una pureza de aproximadamente 95%.

Cotización Media Climax :

95.0% MoS₂ 57.0% Mo
 57.0% = (570.0 Kg)(2.2046 Lb) = 1255.29 Lb

1 Lb = 0.4536 Kg

1 Lb = \$ 9.757 U.S.

1 Kg = (2.2046 1 Lb)(\$ 9.757)

1 Kg = \$ 21.510 U.S.

Una tonelada corta de concentrado de Molibdenita:

\$ 19,513.44 U. S.

4.4 CONCLUSIONES.-

Ahora bién, ya que dicho estudio esta encaminado a determinar un tratamiento para el mineral de molibdeno en el Distrito de Naica, además de que dicho trabajo sólo se realizó a nivel laboratorio, lo más conveniente fué hacer un análisis económico de los reactivos empleados en tales pruebas; sacando así un costo de reactivos consumidos. Tal consumo se obtuvo en la prueba que nos dió la recuperación de--seada y el grado de molibdeno en el concentrado.

Despues de haber hecho la evaluación económica y de haber obtenido el costo total de reactivos consumidos - por mes; se comparó con el costo obtenido para el concentra--do de molibdenita. Dicha confrontación económica nos revela que el beneficio de molibdenita en la Unidad de Naica, es -- factible económicamente y por tanto recomendable llevarlo a cabo a nivel de planta.

Además, considerando que los reactivos emplea--dos, debido a su grado de pureza, son bastante más altos en precio que los reactivos similiares producidos con un grado de pureza más bajo, los cuales se pueden conseguir por canti--dades industriales. De éste modo los costos por consumo de reactivos bajarán considerablemente.

Tomando en consideración la baja inversión en instalaciones y equipo (quebradoras, molinos, celdas, etc.) con el cual cuenta la Compañía y que sin duda no incrementa--ron considerablemente los gastos de compra de equipo.

CAPITULO V

USOS DEL MOLIBDENO.

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

Como es sabido el molibdeno metálico es producido por fundición de acero, o sea que partiendo de los concentrados de molibdenita, se pasa a una etapa de tostación, en un horno de rotación para obtener el óxido molibdico técnico MoO_3 , el cual a continuación es purificado en hornos eléctricos de sublimación, para después reducir el óxido molibdico puro con gas hidrógeno y obtener así el polvo metálico de molibdeno.

5.2 Propiedades Físicas del Molibdeno.- Como es sabido, el molibdeno metálico puro y a temperatura ambiente es un metal blanco similar al platino, posee una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo, es dúctil y maleable y puede forjarse y moldearse en caliente.

Es sabido que tiene un número atómico 42, peso atómico 95.95, densidad (a 20°C) 10.21 g/cm^3 . El punto de

fusión del molibdeno es 2,622°C y el punto de ebullición es 5,500°C; en éste sentido es el sexto metal más refractario: solamente el carbono, renio, osmio, tántalo y tungsteno tienen puntos de fusión mayores, en éste orden.

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

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

5.3 Propiedades Químicas del Molibdeno.- El molibdeno pertenece al sexto grupo del sistema periódico de elementos y tiene dos capas electrónicas; capas N y O; incompletas. La distribución de los electrones en las capas incompletas es: En N - $4S^2, 4P^6, 4D^5$ y En O - $5S^1$. No obstante en sus compuestos, el molibdeno puede ser; di, tri, tetra, penta ó hexa valente.

El metal molibdeno no se óxida fácilmente en aire ó agua a temperaturas moderadas; sin embargo comienza a oxidarse rápidamente en altas temperaturas y forma el ----

trióxido molibídico a temperaturas superiores a 600°C.

El molibdeno forma cuatro óxidos: MoO, Mo₂O₃, MoO₂ y MoO₃, de los cuales los tres primeros son anhídridos básicos mientras que el último es un anhídrido ácido. Estos óxidos reaccionan fácilmente con grupos orgánicos oxhidrilo y carbonilo.

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

5.4 Usos Prácticos del Molibdeno.- Las propiedades que hacen al molibdeno un metal importante son: Alto punto de fusión, Alto módulo de elasticidad, Alta resistencia a elevadas temperaturas, Alta conductividad térmica, Alta resistencia a la corrosión, Bajo calor específico y Bajo coeficiente de expansión.

En general el molibdeno se usa en cuatro formas:

- (1) En la forma natural de su apariencia mineralógica predominante, que es el disulfuro de molibdeno o molibdenita;
- (2) En la forma de molibdeno metálico, el cual se fabricaba por pulvimetalurgia antes de 1946, pero ahora es producido cada vez más por fundición de arco eléctrico;
- (3) En la forma de

materiales de baja aleación de molibdeno; y (4) En la forma de aceros de alta aleación.

5.4a.- Usos del Disulfuro de Molibdeno.- Este producto, recuperado generalmente en su estado natural del mineral de molibdenita, se presenta como un mineral de color gris-azulado o negro, de gravedad específica relativamente alta entre 4.8-5.0 y dureza extremadamente baja correspondiente al No.1 en la escala de Mohs. El mineral tiene un coeficiente de fricción muy bajo con valor de aproximadamente 0.02, el cual es considerablemente menor al correspondiente para el deslizamiento sobre hielo. Este coeficiente de fricción se conserva a temperaturas comprendidas entre 150°C hasta casi 400°C. La estabilidad térmica se mantiene además en vacío y en atmósferas no oxidantes, hasta temperaturas del orden de 1100°C. El mineral es resistente a la oxidación a temperatura ambiente y humedad baja.

En aire seco la oxidación comienza lentamente a 400°C y se incrementa rápidamente a 500°C. La molibdenita es diamagnética y es mal conductor. Exhibe una buena afinidad por las superficies metálicas, como se vio en capítulos anteriores - lo anterior está relacionado a su estructura cristalina hexagonal, ya que los cristales de molibdenita presentan, debido a su estructura laminar, una resistencia térmica y mecánica considerable a la presión y la temperatura.

El molibdeno en forma de molibdenita es utilizado en escala muy pequeña, probablemente no mayor de 3% de la producción mundial. Existen dos aplicaciones principales

para la molibdenita: (1) Lubricantes y Aditivos para Lubricantes y (2) Adición para aceros. En el último de los casos, sólo una parte insignificante de los concentrados de molibdenita se agrega directamente a el acero líquido, cuando éste requiere un cierto contenido de azufre.

Pero debido que en la mayoría de los aceros y aleaciones el azufre es una impureza indeseable, es conveniente someter del 97 al 98% de los concentrados de molibdenita obtenidos a un proceso de tostación para obtener óxido molibdico técnicamente puro.

Así pues la principal aplicación de la molibdenita pura y libre de sílice es el campo de la lubricación, - donde se utiliza provechosamente como lubricante en lugar - de los aceites y grasas clásicas. Como se sabe el objetivo principal de la lubricación es separar asperezas entre dos - superficies en deslizamiento y por consiguiente, eliminar el desgaste.

La ventaja del disulfuro de molibdeno como lubricante es que reemplaza a los aceites y grasas en condiciones donde estos normalmente se descomponen, es decir, bajo temperaturas y presiones extremas. El hecho de que la molibdenita pueda adherirse fácilmente a las superficies metálicas y formar un enlace molecular fuerte y reemplazar la fricción entre dos superficies metálicas por una fricción ligera entre dos capas de átomos de azufre. Debido a la afinidad - de adherencia a las superficies metálicas, la molibdenita se empaqueta fácilmente en los valles entre las asperezas de las - superficies de apoyo y se adhiere de manera similar a los -

declives. Esto ayuda a alisar la superficie entera e incrementa el área de carga, permitiendo éste sistema de libricación cargas hasta de 475 000 psia, la cual está fuera de la resistencia elástica de la mayoría de los metales.

Estas características extraordinarias de lubricación encuentran aplicaciones muy diversas en el campo del trabajado en frío, es decir; trefilado, forjado, prensado; - En la fabricación de alambres y tubos.

Las características de alta temperatura de los lubricantes a base de molibdeno se han utilizado exitosamente en tuberías de vapor, tuberías de gas y particularmente en tuberías de - jet. A diferencia del grafito.

Las especificaciones generales para éstos lubricantes indican que la molibdenita tiene 98% de pureza con no más de 0.4% de sustancias insolubles ácidas (excluyendo - el carbono), hasta 1.1% carbonizado por causa de aceites y alrededor de 0.1% de Fe y 0.05% de Mo₃. Granulometricamente el producto se encuentra 75% a -325 mallas (44 micras), - y no debe exceder la malla 100 (149 micras).

5.4b.- Usos del Molibdeno Metálico.- Debido a su alto punto de fusión, excelente estabilidad durante dimensional durante el desgasificado y su montaje subsiguiente, presión de vapor baja, emisividad electrónica y otras propiedades importantes, el molibdeno se ha convertido en un metal básico para la fabricación de tubos termiónicos, también se emplea un porcentaje alto de molibdeno metálico para la producción de alambre en la industria de iluminación, en éste caso reemplaza

zando satisfactoriamente al tungsteno.

Otra aplicación amplia del metal molibdeno es en resistencias para hornos eléctricos, los elementos como; alambre, cinta, varilla extendida, pueden permanecer a temperaturas del orden de 2,200°C, siempre y cuando sean protegidas de la oxidación.

El molibdeno es también vital en las industrias Aeronáutica y Militar. Se emplea ampliamente para fabricar partes estructurales incluyendo toberas, conos de circulación, placas radiadoras de calor, alambres de turbina, - generadores de gas, etc. En los aviones supersónicos se utiliza para la fabricación de discos con aspas del rotor de la turbina.

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

El molibdeno tiene además usos importantes en la industria nuclear, debido a sus características de absorción térmica de neutrones y sus propiedades en alta temperatura. La expansividad baja de éste metal se utiliza en artefactos tales como rejillas que soportan bloques de grafito - moderador ó en dispositivos de elevación y descenso. El molibdeno es también el material refractario más apropiado

do para resistir los metales líquidos, tales como sodio, bismuto, litio, etc., los cuales se utilizan en algunas plantas nucleares.

El metal molibdeno y aleaciones a base de molibdeno son también utilizados en la fabricación de algunos termopares, los más conocidos son del tipo Molibdeno/Tungsteno, los cuales trabajan perfectamente hasta 2,500°C y sirven para determinaciones de temperatura en acero fundido, hierro fundido y escorias.

Otro termopar muy halagador es el de molibdeno renio, el cual tiene una fem considerablemente alta y muestra estabilidad y exactitud bajo diferentes condiciones especiales, tales como neutros, oxidantes y reductoras, los termopares de molibdeno/níquel y molibdeno/hierro muestran exactitud hasta 1,250°C y 1,400°C respectivamente.

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

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

En la industria del trabajo mecánico, el molibdeno metálico se utiliza en forma de barras y soportes-menagos para mejorar la vida de la herramienta y su uso permite

un incremento en las velocidades y los movimientos de empuje de dicho instrumento. El molibdeno metálico disminuye el -- desgaste por pulimento en álabes y permite un pulimento más frfo con menor distorsión y aumenta la precisión de éstas -- piezas. Los electrodos de soldadura y los troqueles se recu**br**en con molibdeno, para una mejor operación en soldadura -- eléctrica, soldadura de cobre, bronce y otros materiales con alta conductividad. En general, los materiales recubiertos con molibdeno incrementan la duración de servicio y no muestran tendencia a desgastarse por fátiga. Esto es particularmente deseable en la industria electrónica, donde es muy importante contar con una buena conductividad térmica y eléctrica; así como disponer de materiales que tengan dureza y propiedades de contacto en caliente.

5.4c.- Uso de las Aleaciones de Molibdeno.- La mayor parte del elemento molibdeno se consume en forma de aceros aleados lo cual significa cerca del 70% de sus usos totales, las -- fundiciones aleados, superaleaciones y otras aleaciones corresponden a un 15% adicional, lo cual lleva el total de usos del molibdeno en el sector ferroso, hasta 85%.

El polvo de molibdeno y sus productos alcanzan únicamente de 4 a 5%; mientras que los usos químicos y cerámicos, de los cuales los principales son catalizadores y pigmentos, consumen cerca del 8 a 9% de la producción mundial de molibdeno. El 2% restante de la demanda de molibdeno corresponde a la categoría de usos diversos, principalmente en forma de bisulfuro de molibdeno.

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

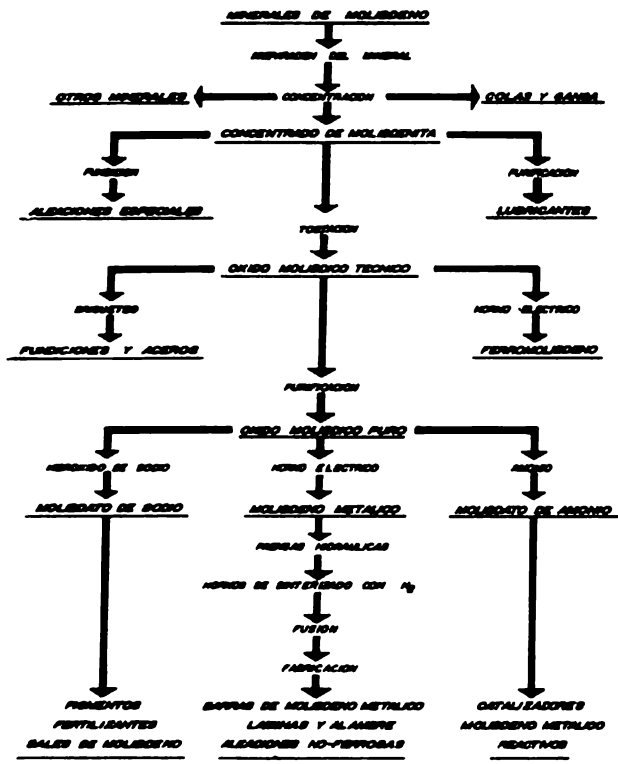
El molibdeno se agrega generalmente en las formas de óxido, ferro-molibdeno o molibdato de calcio. El método predilecto es utilizar óxido molibídico Mo_2O_3 , cuando las normas estipulan menos del 1% de molibdeno. Cuando el contenido de molibdeno en las aleaciones demanda más del 1%, se utiliza normalmente ferromolibdeno.

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

La adición de molibdeno a los aceros proporciona un incremento notable en la templabilidad (dureza uniforme) y tenacidad a los materiales, al mismo tiempo que aumenta la resistencia a la tracción y mejora la fluencia en caliente, de las aleaciones, particularmente en altas temperaturas. El molibdeno es un potente estabilizador de los carburos complejos y tiene además fuerte tendencia a formar carburos, también tiende a retardar el ablandamiento de los aceros en el revenido, es decir mejora su resistencia ante el tanto en los aceros como en las fundiciones, el molibdeno mejora notablemente la resistencia y la tenacidad en alta temperatura del material. Esto es muy importante para aleaciones de aceros de herramientas y aceros rápidos.

Por otra parte, el molibdeno mejora la resistencia a la corrosión de las aleaciones. Esto viene a ser particularmente importante en el caso de los aceros que contienen Cr y Ni. Una adición de aproximadamente 4% de molibdeno no produce resultados satisfactorios en tales aceros.

Las adiciones de molibdeno retardan la transformación auténtica y en bajas velocidades de enfriamiento se forman estructuras de gran dureza. Este efecto permite evitar las dificultades que implica templar piezas de gran sección, cuestión que no se evita con los aceros al carbono.



U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TRATAMIENTO TECNOLÓGICO DEL MOLENDINO
fernando franco s

CAPITULO VI

COMERCIO DEL MOLIBDENO.

6.1 **Apreciación General.**- La siderurgia actual ha logrado gran versatilidad y desarrollo en los diversos equipos de -- producción, así como en diversos procesos, tales como: El - alto horno, La colada contfnua, El proceso de reducción di-- recta (HYL), Los convertidores al oxígeno y los Hornos eléc-- tricos. Así mismo la industrial de hierro y el acero con és te desenvolvimiento tecnológico han alcanzado un incremento notable en la producción diaria de aceros y fundiciones. De igual manera dichos cambios e implementos han contribuido en forma notable en el mejoramiento de la calidad de los aceros y fundiciones, ya que se pueden obtener dichos productos dentro de un rango reducido de impurezas, por otro lado se llega a tener un margen estrecho o amplio de aleantes.

Tal revolución tecnológica ha repercutido en - una mayor demanda de materia prima: Minerales de hierro oxidados; Carbón; Fundentes desulfurantes; Desoxidantes; Ferroaleaciones, etc. Dentro de la gran gama de productos auxi-- liares que contribuyen en el acabado del acero y las fundi-- ciones, están la gran variedad de ferroaleaciones-ferromangneso, ferrosilicio, silicomanganeso, ferrocromo, ferroniquel ferromolibdeno, etc. Es obio que la tecnología que involuca la producción de ferroaleaciones repercute con su producción, operación y mejoramiento en el proceso siderurgico de acabado del acero; Considerando que la función de los elementos aleantes viene a ser de profunda importancia en las pro-

piedades finales del acero y de las fundiciones y que además han sido de gran ayuda, para lograr el desarrollo completo, así como la de tener día con día productos de mejores propiedades mecánicas.

Ahora bien, es de primordial importancia que México, debido a sus reservas potenciales de minerales de -- hierro, a la gran disponibilidad de hidrocarburos y a los diversos minerales de que dispone para la elaboración de las ferroleaciones, sea autosuficiente en la producción de ferroleaciones, que nos permitan un desenvolvimiento propio de -- las industrias automotriz, de la construcción, naval, agrícola y de equipo pesado entre otras.

Así pues en México generalmente los minerales de molibdeno y demás minerales empleados en la fabricación -- de ferroleaciones, habían sido considerados entre los minerales rara vez explotados, pues los mineros y la minería mexicana han sido tradicionalistas en la explotación de minerales de oro, plata, plomo y zinc. México con el 1% de las reservas mundiales de molibdeno, puede ser autosuficiente en -- éste elemento, sin embargo hasta el año antepasado (1978) se ha estado importando.

Casi todos nuestros yacimientos hasta hoy descubiertos son del tipo porfídicos, con disseminación principal de sulfuros de cobre, en los cuales la molibdenita es -- prominentemente la única mineralización principal, se presenta solo en forma de óxidos por los cambios secundarios. Como el mineral de molibdeno es un mineral accesorio, no siendo rentable la explotación para el cobre, no lo es para el -- molibdeno.

co estan caracterizados por su bajo contenido de cobre y molibdeno, su gran volúmen, mineralización diseminada y además son susceptibles de métodos de minado a gran escala y bajo -- costo de explotación, comparado con el minado subterráneo, -- tales métodos de explotación son minado a cielo abierto y minado por socavación y derrumbe.

Desafortunadamente las estadísticas a nivel -- mundial del consumo de molibdeno por sus usos finales no se encuentran disponibles (en el caso de México sucede algo similiar), no obstante se cuenta con los datos correspondien-- tes al consumo en los Estados Unidos, el cual consume el 40% de la producción mundial y produce el 67% de la demanda mundial, por consiguiente estos datos representan un indicador adecuado para los estudios globales de molibdeno. Así pues en base a los datos reportados en los Estados Unidos, para -- el año de 1977, se puede establecer lo siguiente: El 69% -- del molibdeno fué utilizado para la fabricación de todos los tipos de aceros, entre los que se encuentran los de alta a-- leación, inoxidable y resistentes al calor, alta resisten-- cia y baja aleación, de herramientas entre los más importan-- tes. En seguida, cerca del 7% del molibdeno fué utilizado -- en fundiciones y apróximadamente la misma cantidad se consu-- mió en la elaboración de super-aleaciones y otras aleaciones. Los productos fabricados a base de polvo de molibdeno corres-- pondieron al 6.6% del consumo total. Esto produce entonces un total de 89.6% para los usos metalúrgicos y deja solo un 10.4% para usos químicos y otros usos diversos de éste metal.

Lo anterior deja manifiesto la relevante impor

tancia y la extraordinaria demanda que tienen las aleaciones base molibdeno en la industria siderúrgica, cabeza medular del desenvolvimiento tecnológico.

6.2 Demanda de Molibdeno en el Mundo.- La demanda mundial de molibdeno y de sus productos, alcanzó en el período de -- 1972 a 1976 un nivel promedio entre 80,000 y 85,000 toneladas metricas por año. Este crecimiento extraordinario en el consumo de molibdeno y de sus productos se debe básicamente al crecimiento de la economía mundial, a los desenvolvimientos tecnológicos recientes y a la diversidad de usos de éste metal.

Por otra parte, la situación de la oferta y la demanda se percularizó por tres factores primordiales:

1.- Los recursos y la producción mundial de molibdeno se encuentran distribuidos desigualmente. De hecho éstos se hallan concentrados principalmente en el hemisferio occidental, el cual posee el 88% de las reservas cuantificadas en el mundo, además proporcional al 87% de la producción mundial de molibdeno.

2.- Esencialmente los recursos y la producción mundial de molibdeno, no coinciden con los centros de consumo, ya que entre las naciones industrializadas, sólo -- los E.E.U.U. están abastecidos adecuadamente, produciendo un excedente considerable de molibdeno para exportación. Los demás países industrializados entre los que se encuentran: Japón, Alemania Occidental, Inglaterra, Francia e Italia, en sí todos los países de Europa Occidental, cuentan con esca--

zos recursos de molibdeno y por tanto deben importar este metal para satisfacer sus necesidades industriales.

3.- Mientras que el molibdeno y sus productos son solicitados por varios miles de consumidores, la mayor parte del mismo es producida por menos de una docena de productos importantes entre los cuales la mayoría son americanos que controlan aproximadamente el 90% de la producción y conversión del molibdeno. Estos productores son: Climax, - Molybdenum Of America, Dural y Kennecott en los E.E.U.U., Codelco en Chile y Noranda en Canadá.

La extraordinaria movilidad de molibdeno en los mercados del mundo, como se ha explicado con anterioridad, se debe a la escasa coincidencia que existe entre los centros de producción y de consumo. Como se muestra en la siguiente tabla 6.1 los países industrializados de Europa Occidental y el Japón, absorben casi el 93% de molibdeno, disponible en los mercados, dejando tan sólo el 7% para el resto del mundo, entre los que se encuentran los países de Latinoamérica, Asia, Africa y el bloque comunista.

También es bueno recalcar que únicamente tres países: Estados Unidos, Canadá y Chile, abastecen más del 95% de la demanda de molibdeno. Lo anterior deja ver la gran importancia estratégica del hemisferio occidental en este campo.

TABLA 6.1

COMERCIO MUNDIAL DE MOLIBDENO EN 1973

(Expresado en toneladas métricas equivalentes para todos los productos)

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

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

6.3 Comercio de Molibdeno en México.- Un panorama general de producción y consumo de molibdeno en México se observa en las gráficas correspondientes a la producción Minero Metalúrgico y consumo aparente de molibdeno en los últimos años, expresados en volumen y en valor. El resultado del análisis - de tales gráficas deduce que, en términos generales, el consumo aparente de molibdeno tiende a incrementarse . Opuesto a lo anterior puede observarse que la producción ha venido - disminuyendo en los últimos años hasta alcanzar un volumen - insignificante en el año de 1977.

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

El principal consumidor de molibdeno en el país es la Empresa Ferroatomociones de México, S. A., localizada en Gómez Palacio Dgo., ésta planta transformadora de concentrados de molibdenita a óxido de molibdeno, tiene una capacidad actual de 400 toneladas por año y tiene en construcción un segundo horno Herreshoff para duplicar su capacidad.

En orden decreciente los consumidores de menor escala son: Tubos de Acero de México, S. A.; Campos Hermanos, S. A.; Aceros Solar, S. A.; Fundidora de Aceros Tepeyac, S. A.; Catalizadora Industrial, S. A.; Eutectic Mexicana, S. A.; Otras Compañías que consumen molibdeno son: Cristales Mexicanos, S. A.; Vidriera Monterrey, S. A.; Proveedor Industrial, S. A., entre otras.

6.4 Producción Futura de Molibdeno en México.- Dentro de los proyectos de mayor relevancia que se están desarrollando actualmente, podemos considerar los siguientes:

| | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Proyecto Minero-Metalúrgico | "La Caridad" Mexicana de cobre, S.A. |
| Proyecto Los Verdes | "Industrial Peñoles, S. A. |
| Proyecto Cumobabi | "Minera Frisco, S. A. de C. V. |
| Proyecto Naica | "Cia. Fresnillo, S. A. de C. V. |

La localización de los tres primeros proyectos se encuentra en el Estado de Sonora. La zona minera de la Caridad se halla dentro del municipio de Nacozaarf de García, porción Noroeste del Estado; El mineral de los Verdes se encuentra comprendido en el Distrito de Santana, municipio de Yecora; El yacimiento de Cumobabi está en el territorio de la Verde, municipio de Cumpas, a 43 Km. al Suroeste de la Caridad. El mineral de Naica se halla en la porción Sur Central del Estado de Chihuahua, a 110 Km. en línea recta de la Capital del Estado. Estos importantes proyectos cuentan con las siguientes reservas, las cuales se pueden apreciar en la siguiente tabla:

| | Reservas | Cabezas | | Cap. Plta. Benef. T/D | Produc. Conc.T/D | |
|--------------|-------------|---------|-------|-----------------------|------------------|-----|
| | | %Cu | %Mo | | Cu | Mo |
| "La Caridad" | 680,000,000 | 0.70 | 0.020 | 72 000 | 1.8 | 7.0 |
| "Los Verdes" | 6 800 000 | - | 0.135 | 2 400 | 59.3 | 5.1 |
| "Cumobabi" | 4 700 000 | 0.25 | 0.20 | 2 000 | 4.2 | 4.4 |
| "Naica" | 1 500 000 | - | 0.15 | 500 | - | 1.0 |

CONCLUSIONES.-

El presente estudio metalúrgico revela que el beneficio de la molibdenita en la Unidad Naica, es factible y por tanto recomendable de llevarlo a cabo, ya que existen posibilidades afirmativas de incrementar las reservas de dicho mineral, además de la baja inversión para instalaciones.

Por otra parte, las posibilidades que ofrece el mercado Nacional e Internacional para la comercialización del molibdeno, sugieren definitivamente el desarrollo, explotación y beneficio de los yacimientos de éste mineral con una ley que lo haga rentable desde el punto de vista económico.

Por lo que se refiere a la tecnología de concentración se observa que, no se requiere de procesos sofisticados para la obtención del concentrado de molibdenita.

Finalmente, considerando que México tiene una producción de acero superior a 6 500 000 toneladas por año y que en los últimos años se ha convertido en un consumidor importante de productos de molibdeno, principalmente de trióxido de molibdeno y ferromolibdeno (el consumo de molibdeno se ha incrementado de 80 a 100 toneladas por año en los 60's, a más de 250 toneladas por año en los 70's y se ha proyectado que alcanzará cerca de 800 toneladas por año para 1985), es imperativo el señalar la importancia que para el país tiene el desarrollo y operación adecuados a los recursos y proyectos que se trabajan actualmente.

Dicha cuestión se refleja en el hecho de que -
si todo marcha correctamente, México pasará en los próximos
años de ser importador neto a un exportador neto de produc--
tos de molibdeno.

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

KIRK-OTHMER
ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY SECOND. EDITION
VOL. 1 C TP9 E68 1963

DR. FRITZ ULLMANN
ENCICLOPEDIA DE QUIMICA IND. SECC. III VOL. 5
H-2 C DyE TP9 U63

JOSEPH F. SHIRLEY
NEW CONCEPTS IN 'BY-PRODUCT MOLYBDENITE PLANT DESIGNS

D.W. FUERSTENAU
FROTH FLOTATION 1962

AMERICAN INSTITUTE OF MINING METALURGICAL AND PETROLEUM
ENGINEERS; SECCION MEXICO 1973
ALGUNOS YACIMIENTOS MINERALES DE LA REPUBLICA MEXICANA

ALEXANDER SUTULOV
MOLYBDENIUM AND RHENIUM 1976

CRUZ RUIZ REYNALDO EDUARDO
APROVECHAMIENTO DE LOS MINERALES DE MOLIBDENO EN MEXICO
MEXICO 1979

ARTHUR. F. TAGGART
ELEMENTOS DE PREPARACION DE MINERALES
PRIMERA EDICION ESPAÑOLA 1966

EDWARD S. DANA WILLIAM E. FORD
TRATADO DE MINERALOGIA
SEPTIMA IMPRESION 1979.