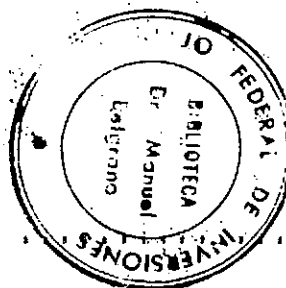


I N D I C E



PÁG.

I -	INTRODUCCIÓN	1
II -	INFORME MAPA GEOLÓGICO	5
III -	MAPA ESTRUCTURAL	172
IV -	ANÁLISIS GEOQUÍMICO	227
V -	ANÁLISIS DE EXPLOTACIONES Y YACIMIENTOS CONOCIDOS	270
VI -	ASPECTOS ECONÓMICOS E INDUSTRIALES	403
VII -	INFRAESTRUCTURA	807
VIII -	SITUACIÓN INSTITUCIONAL	839
IX -	MAPA METALOGENÉTICO	874
X -	GRANDES UNIDADES DE INTERÉS ECONÓMICO.	908
XI -	EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN SENSORES REMOTOS	950
XII -	EVALUACIÓN DE ÁREAS	961
XIII -	PROGRAMAS DE PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN	980
XIV -	PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN PARA LOS GRUPOS MINEROS PRIORITARIOS	995

CATALOGO

0
H.2222
B 19 P
XVI

3 - TUNGSTENO.

3.1. AMBITO INTERNACIONAL.

3.1.1. Aspectos industriales y tecnológicos.

El tungsteno fue descubierto y separado de sus minerales a fines del Siglo 18, su uso comienza recién a mediados del siglo pasado con la fabricación de aceros al manganeso, tungsteno para herramientas, pero recién al promediar el presente siglo, el uso se intensifica, llegando a ser un elemento estratégico e insustituible en algunas aplicaciones, lo que conduce a que los países desarrollados planifiquen su abastecimiento con atención.

La distribución del tungsteno es irregular y errática y sólo algunos países poseen reservas de consideración. Por las características de los yacimientos o naturaleza de los minerales que lo portan, la explotación y obtención del tungsteno presenta algunos problemas particulares, entre los que se puede mencionar, la dificultad de obtener los bajos costos de explotación de la minería de escala, dado lo reducido de los

yacimientos, o los problemas que deben solucionarse en la concentración y separación del elemento por las bajas leyes y la presencia de otros elementos que lo acompañan en los minerales de la naturaleza.

El tungsteno es un mineral de gran importancia industrial, con buena capacidad para formar aleaciones valoradas por su dureza, resistencia al desgaste, aún a altas temperaturas, gran resistencia a la tracción, buena conductibilidad térmica y eléctrica y resistencia a la corrosión, además sus propiedades químicas que lo hacen apto para compuestos de uso no metalúrgicos.

En consecuencia, el consumo de tungsteno guarda estrecha relación con la producción de máquinas y equipos para trabajar metales, de máquinas y equipos para la construcción, minería y perforaciones, equipos de transportes, la industria nuclear y espacial entre otras.

De todas maneras el desarrollo tecnológico puede hacer variar el perfil actual de la demanda, - aún en el mediano plazo.

. Definiciones, grados y especificaciones.

El tungsteno o wolframio, como también - suele denominárselo, en su estado metálico compacto es de color blanco plateado, tornándose gris negrusco cuando se presenta en polvo.

Su símbolo químico es W; su peso atómico es 183.92, su punto de fusión de 3.400°C, siendo el más alto punto de fusión de todos los metales. Es uno de - los más pesados elementos, su densidad a 20°C es de -- 19.3 gr/cm³.

Además de las propiedades mencionadas en la introducción, posee también el más bajo coeficiente - de dilatación y por encima de los 1.600°C, la más alta - resistencia a la tracción de todos los metales.

Desde el punto de vista químico, el me -
tal compacto no es oxidado por el aire a temperatura am -
biente, aunque si lo es por el aire y vapor de agua a -
altas temperaturas. Tampoco es atacado por los ácidos -
sulfúrico, nítrico ni flurhídrico, lo que le confiere -
grandes ventajas en variados procesos industriales. So -
lamente reacciona ante mezclas de ácidos clorhídrico y
nítrico. Sometido a temperaturas de 1.400°C puede for-
mar carburos (carburo de tungsteno) que se caracteriza -
por su gran dureza y resistencia.

Junto al molibdeno conforma la familia -
de los llamados "metales refractarios" caracterizados -
por la resistencia a altas temperaturas, aunque el tungs -
teno presenta dos ventajas relativas de importancia:

- . su mayor punto de fusión (punto fusión del molibdeno -
2.660°C) lo que le confiere mayor resistencia a altas
temperaturas.
- . las reservas a escala mundial son superiores a las --
del molibdeno.

Desde el punto de vista geológico el -- tungsteno no se encuentra sólo en la naturaleza sino en estado oxidado, acompañado de otros elementos tales como el estaño principalmente y el molibdeno, cobre y bis muto en menor grado y muchas veces se obtiene como co -- producto de estos metales.

De los doce minerales conocidos, portadores de tungsteno, sólo cuatro tienen importancia económica:

- . Scheelita (tungstato de Ca, WO_4Ca con 63.4% de W).
- . Wolframita (tungstato dobe de hierro y manganeso, -- WO_4FeM_n 59.6% de W).
- . Ferberita (tungstato de Fe, WO_4Fe 60,2% de W.).
- . Hubnerita (tungstato de M_n , WO_4M_n , 62,3% de W).

De los cuatro la scheelita y la wolframi ta son de mayor significación económica, y en función - de determinadas especificaciones a cumplir por los mis-

mos, se realizan las transacciones y se fijan las cotizaciones de mineral internacionalmente.

Del total de la producción mundial puede estimarse que el 60 por ciento corresponden a wolframita (como serie isomorfa que va desde la ferberita a la hubnerita), el 40 por ciento corresponden a la scheelita.

El mineral una vez extraído debe ser concentrado y se vende en unidades de trióxido de tungsteno por tonelada métrica, corta o larga según los países.

- . una unidad por tonelada métrica equivale a 10kg de --
 WO_3 ó 7,93kg de W.
- . una unidad por tonelada cort equivale a 9,072kg de -
 WO_3 ó 7.193kg de W.
- . una unidad por tonelada larga equivale a 10,16kg de -
 WO_3 ó 8.057kg de W.

Existen diversas especificaciones de compra, según se trate de minerales concentrados, ferro --

tungsteno, tungsteno metálico, en polvo, polvo de carburos, carburos cristalinos o cualquier otro producto intermedio.

. Usos.

El uso principal del tungsteno es como aleante del acero y componentes de los llamados metales duros, que son aleaciones de hierro (o cobalto) y como con carburo de tungsteno acompañado casi siempre con vanadio y Molibdeno que se usan en herramientas de corte, resistentes al desgaste, condición que al mantenerse a elevadas temperaturas ha permitido el desarrollo de máquinas herramientas de altas velocidades, lo que ha contribuido a un significativo aumento de la productividad.

La extremada dureza y resistencia al desgaste de las aleaciones de tungsteno la hacen aptas para todo tipo de equipos o parte de equipos sometidos a abrasión, tales como matrices, brocas de perforación en

la industria minera y del petróleo, cuchillas de excavadoras, máquinas de movimiento de tierra, molinos, quebrantadoras de minerales.

Las aleaciones de tungsteno están siendo usadas cada vez más en ambientes de trabajo con temperaturas superiores a los 900°C, tales como válvulas, partes de turbinas, o en ambientes altamente corrosivos u oxidantes (super aleaciones).

Productos laminados hechos con tungsteno puro, o polvo de tungsteno, se usan en significativas cantidades en la industria eléctrica y electrónica. Alambre de tungsteno son usados como filamento en lámparas eléctricas y como cátodo en tubos electrónicos.

Aleaciones de tungsteno, cobre o plata son usados para contactores eléctricos que poseen adecuada resistencia y conductibilidad (no provoca aportes de metal ni se erosiona).

También se usa en electrodos de soldadura y compuestos químicos del tungsteno son usados en --

pigmentos luminiscentes, tinturas y catalizadores para la industria del petróleo y otros procesos químicos y es un importante material estructural en aplicaciones nucleares y del espacio.

El CUADRO N° 3.1. resume las aplicaciones específicas del tungsteno indicando los sectores y las formas de utilización.

Las formas básicas principales en que el tungsteno es consumido en la industria de producción de bienes finales son:

. Carburo de tungsteno	56 %
. Tungsteno metálico en polvo	26 %
. Ferrotungsteno	2 %
. Otros	16 %

A los efectos de cuantificar la importancia relativa de los distintos sectores productivos en cuanto al consumo de tungsteno, se acompaña el -----

CUADRO N° 3.1 - SECTORES EN QUE SE UTILIZA EL TUNGSTENO Y FORMAS DE UTILIZACION DE APLICACIONES ESPECIFICAS.

Sectores de utilización y aplicación específica	Formas de utilización del tungsteno
I. MAQUINARIA PARA TRABAJAR METALES	
i) Filos para máquinas herramientas*	Carburo ⁺
ii) Moldes para conformar y embutir metales *	Carburo ⁺ acero
iii) Herramientas de acero para perforar, cortar, laminar y conformar en caliente	Carburo ⁺ acero
iv) Máquinas herramientas electroquímicas	Metal (infiltrado de cobre)
II. MAQUINARIA Y EQUIPO DE CONSTRUCCION Y MINAS	
i) Barrenas para martillo perforador	Carburo/acero
ii) Equipo para remoción de tierras	Carburo/acero
iii) Taladros de percusión y rotativos	Carburo/acero
iv) Otra maquinaria y equipo de construcción y minas.	Carburo/acero
III. EQUIPO DE TRANSPORTE	
i) Piezas de motores-turbinas de gases*	Aleación
ii) Estabilizadores de aeronaves y otras utilizaciones especiales	Metal-Aleación
iii) Insertos para toberas de cohete	Metal-Aleación
iv) Clavos de neumáticos	Carburo

CUADRO N° 3.1 - CONTINUACION.

IV. LAMPARAS ELECTRICAS	
i) Filamentos de lámparas	Metal
ii) Electrodo (lámparas de descarga)	Metal
iii) Lámparas fluorescentes (cátodos)	Metal
V. EQUIPO Y SUMINISTROS ELECTRICOS	
i) Contactos eléctricos	Metal/aleación
ii) Varillas para soldar	Metal
iii) Tubos electrónicos, tubos de rayos X, etcétera ..	Metal
VI. PRODUCTOS QUIMICOS INORGANICOS INDUSTRIALES	
i) Lubricantes sólidos	Productos químicos
ii) Catalizadores *	Productos químicos
iii) Lasers	Productos químicos.
VII. OTRAS APLICACIONES	
i) Municiones perforadas de blindajes	Carburo
ii) Bolígrafos*	Carburo
iii) Pigmentos*	Productos químicos
iv) Elementos de calefacción	Metal

(*): Indica una aplicación en la que el tungsteno encuentra competencia o sustitución potencial.

CUADRO N° 3.2. que indica los consumos y stocks de tungsteno según sus distintas formas de uso para la producción de bienes finales en los Estados Unidos de Norteamérica en el año 1980.

En el puede observarse la importancia de la recuperación del tungsteno (chatarra) que alcanza al 5 por ciento del consumo total, también tiene relevancia el consumo de tungsteno en forma de óxido (scheelita) que también alcanza al 5 por ciento del consumo total.

Debe destacarse también el stock que mantienen los distintos sectores que representa el 11 por ciento del consumo anual de tungsteno.

Debido a las dificultades en la fabricación de productos de tungsteno la producción de alambre, varillas y hojas, esta basada fundamentalmente en procesos pulvimetalúrgicos. El polvo de metal de tungsteno es comprimido y calentado hasta fundirse por el paso de una corriente eléctrica, estampado y llevado a la forma de producto final.

CUADRO N° 3.2 - CONSUMO Y STOCKS DE PRODUCTOS DE TUNGSTENO EN LOS EE.UU. POR USO EN 1980. (En toneladas de tungsteno contenido).						
PRODUCTO FINAL	Ferro- tungsteno	metal polvo	Carburo polvo	Scheelita natural o sintetica	Chatarra	Otros materiales
						TOTAL
ACEROS						
inoxidable y de alta resistencia.	47,6	-	-	28,6	2,3	2,3
aleaciones	26,3	-	-	10,9	-	1,8
herramientas	131,5	-	-	381,5	-	27,6
						540,6
SUPERALEACIONES ...	-	31,7	-	-	236,8	31,6
OTRAS ALEACIONES ..	6,3	906,3	4.985,5	-	190,0	9,0
PRODUCTOS LAMINADOS	-	1.468,3	-	-	-	2,3
						1.407,6
USOS QUIMICOS Y CERAMICOS	-	-	-	-	-	394,6
OTROS	12,2	4,1	137,9	47,2	38,1	-
						239,5
T O T A L	223,9	2.410,4	5.123,4	467,2	467,2	469,2
						9.162,3

Los carburos usualmente son producidos a partir de polvos reducidos con hidrógeno y luego carburizado; este polvo de carburo de tungsteno es empastado con los otros aleantes (cobalto, carburo de titanio, -- tantalio u otros componentes metálicos) dentro de la -- forma deseada y luego es prensado.

. Sustitutos.

El principal competidor del tungsteno es el molibdeno, especialmente en la fabricación de aceros para herramientas. Esta situación se ve favorecida por la mayor estabilidad del precio del molibdeno en el mercado internacional.

También en productos cerámicos para herramientas, puede ser reemplazado, por titanio, tantalio o vanadio.

El óxido de aluminio y diamantes industriales pueden sustituirlo en algunas aplicaciones.

Debe marcarse que no se han encontrado -
sustitutos satisfactorios del tungsteno en filamentos -
para lámparas o en contactos eléctricos.

. Reservas y recursos.

La presencia del tungsteno en la corteza
terrestre ha sido estimada en 1 a 13 partes por millón,
lo que conduce a considerarlo uno de los elementos ra -
ros de la tierra.

Las rocas graníticas constituyen la ---
principal fuente de tungsteno, la mayor parte del tungsteno
comercial ha sido encontrado en vetas de cuarzo.-
En muchos depósitos el tungsteno está asociado con mayo
res o menores cantidades de minerales de cobre, estaño,
bismuto, antimonio o molibdeno.

En la formación de los depósitos las so-
luciones hidrotermales jugaron un rol principal, el --
tungsteno se concentró en los fluidos residuales de la

cristalización de magmas como con tungstato, ácido tungstico o tungstato de sodio precipitando en las paredes rocosas como wolframita o scheelita principalmente, el mineral formado fue controlado por la relativa cantidad y actividad del hierro, manganeso o calcio presentes.

El mineral más importante es la wolframita y constituye una serie de soluciones sólidas en las cuales el hierro, manganeso son los principales componentes. Todos los minerales de wolframita son conocidos en el comercio como "mineral negro" y son los minerales de tungsteno, predominantes en las venas de cuarzo de los principales yacimientos.

La scheelita, tungstato de calcio de mayor importancia económica, representa el 35 por ciento aproximadamente de los depósitos mundiales.

El principal país poseedor de reservas es China, que tiene alrededor del 53 por ciento del total mundial, le siguen Estados Unidos y Canadá que en conjunto alcanzan al 15 por ciento de las reservas y la

Unión Soviética posee el 8 por ciento aproximadamente.-
Corea del Norte y la República de Corea también poseen importantes yacimientos que llegan al 7 por ciento de las reservas mundiales. Estos seis países totalizan el 83 por ciento de las reservas del mundo.

El CUADRO N° 3.3. indica cuales son los países que tienen minerales de tungsteno, clasificados por Continentes, indicándose en la primera columna, cuales son las reservas actuales que están siendo explotadas o que están en condiciones de ser explotadas en el presente, y la segunda columna indica aquellos yacimientos que se espera puedan explotarse en el futuro.

Como puede observarse en el Cuadro las reservas alcanzan 2.592,9 miles de toneladas, siendo el total de los recursos de 6.747,4 miles de toneladas.

El principal país de Sudamérica es Bolivia y sus reservas son del orden de 39.400 toneladas, representando 1,5 por ciento del total mundial.

CUADRO N° 3.3 - RESERVAS MUNDIALES DE MINERAL DE TUNGSTENO.
(En miles de toneladas)

PAISES	RESERVAS	RECURSOS	TOTAL
AMERICA DEL NORTE Y CENTRAL			
EE.UU. -----	124,7	326,6	451,3
Canadá -----	269,9	317,5	587,4
México -----	20,0	4,5	24,5
Otros -----	0,9	2,3	3,2
Subtotal -----	415,5	650,9	1.066,4
AMERICA DEL SUR			
Bolivia -----	39,5	86,2	125,7
Brasil -----	18,1	40,8	58,9
Otros -----	2,3	2,2	4,5
Subtotal -----	59,9	129,2	189,1
EUROPA			
Austria -----	18,1	54,4	72,5
Francia -----	15,9	2,2	18,1
Portugal -----	24,5	27,2	51,7
Unión Soviética -----	213,2	317,5	530,7
Inglaterra -----	0,4	63,5	63,9
Otros -----	30,8	9,0	39,8
Subtotal -----	302,9	473,8	776,7
AFRICA			
Otros -----	9,0	18,2	27,2
ASIA			
Birmania -----	31,7	72,6	104,3
China -----	1.360,8	2.268,0	3.628,8
Corea del Norte -----	108,9	136,0	244,9
República de Corea -----	81,6	77,1	158,7
Malasia -----	13,6	31,7	45,3
Tailandia -----	18,1	18,1	36,2
Turquía -----	77,1	13,6	90,7
Otros -----	4,5	4,5	9,0
Subtotal -----	1.696,3	2.621,6	4.317,9
OCEANIA			
Australia -----	108,9	258,5	367,4
Otros -----	0,4	2,3	2,7
Subtotal -----	109,3	260,8	370,1
TOTAL MUNDIAL -	2.592,9	4.154,5	6.747,4

Las relativamente bajas reservas mundiales de tungsteno, conduce a que algunos países intensifiquen su búsqueda y existen promisorias áreas como por ejemplo la zona de Searles Lake en California, son yacimientos de baja ley pero de encontrarse un método económico de explotación, las reservas de EE.UU. se elevarían entre un 50 y 60 por ciento.

Existen en el mundo muchas áreas favorables, en países tales como Australia, Canadá, algunos de Africa y Brasil, además algunos descubrimientos se esperan sean realizados en la zona cordillerana, particularmente en Canadá y Alaska.

Las laderas alpinas resultan de interés después del reciente descubrimiento de los yacimientos de Mittersill en Austria, Salau en Francia y Uladag en Turquía. Una cuarta área de expectativas resulta, Malasia, Birmania y Thailandia.

Otra potencial fuente de reservas lo constituye la recuperación del tungsteno de chatarra -tungsteno

teno secundario- que si bien por el momento la recuperación es baja, se estima mejorarán los métodos y se alancanzarán niveles superiores de recuperación.

. Tecnologías de extracción y procesamiento.

La mayor parte del mineral de tungsteno - es extraído de minas subterráneas y los métodos van dese de los primitivos (prácticamente manuales) a los altamente mecanizados. Las producciones de las minas en general son relativamente bajas, sólo unas pocas -2 ó 3 - son capaces de extraer más de 1.000 toneladas por día - de mineral en producción continua. La errática distribución del tungsteno, su variada mineralización y las bajas leyes, presentan problemas para las labores mineras y afectan directamente la rentabilidad de la explotación.

En las afloraciones, la wolframita es fácilmente identificada como cristal negro en las vetas - de cuarzo; la scheelita es explorada con el uso de dee -

tectores ultravioletas portátiles que aprovechan la propiedad de la scheelita de emitir luz cuando se irradia con "luz negra". Una persona experimentada en el uso de esta técnica puede detectar muy pequeñas cantidades de scheelita y estimar su grado con bastante seguridad. La mayor parte de yacimientos de EE.UU. fueron descubiertos con esta técnica.

Los métodos geofísicos seleccionan el ambiente geológico en el cual el tungsteno debe existir lógicamente, pero estas técnicas no miden el contenido de tungsteno, el cual necesita de otras de exploración más específicas.

Todos los minerales de tungsteno son friables, por lo tanto en los procesos de concentración la presencia de lamas trae algunas complicaciones. La primera consideración es tratar de recuperar el mineral sin sobremoler para evitar las lamas, generalmente se usan distintas etapas de quebrantado y tamizado.

El quebrantado primario se realiza en máquinas de mandíbulas; molinos de rodillos se usan para

minerales que se liberan con grano grueso. Para moliendas más finas se usan molinos de rodillos y de bolas.

La clasificación es importante para mejorar la recuperación. La práctica fundamental en las moliendas modernas, tiende a tratar de recuperar la mayor cantidad de tungsteno de cada etapa de clasificación, - usando diferentes tipos de zarandas, clasificadores hidráulicos, etc.

Para algunos minerales se utilizan jigs y mesas vibratorias para separar los minerales de tungsteno de la ganga.

Los jigs son útiles para concentrar minerales de grano grueso permitiendo un recuperado de alto grado sin incurrir en pérdidas por lamas en molidos adicionales.

Los concentrados de menor grado se deben tratar por medios químicos para alcanzar las especificaciones del mercado. La mayoría de estos concentrados -

son llevados de las plantas de molido hacia las plantas químicas para producir scheelita sintética.

Concentrados de tungsteno pobres (hasta 5% WO_3) son tratados por dos métodos:

- . disolución con carbonato de sodio bajo presión.
- . lixiviación después de sinterizado con sales de sodio.

luego se agrega cloruro de calcio para precipitar el tungstado de Ca. En algunos casos el molibdeno se precipita primero en forma de sulfuro.

El método bajo presión es más económico para concentrador de menos de 20 por ciento WO_3 , la lixiviación es más conveniente para concentrador de mayor ley pero ambos métodos son apreciablemente más caros -- que los métodos de flotación y gravimetría.

Si el mineral cuenta con sulfuros, el método a usar es la tostación para eliminar el azufre, -- luego separación magnética. La flotación y concentra --

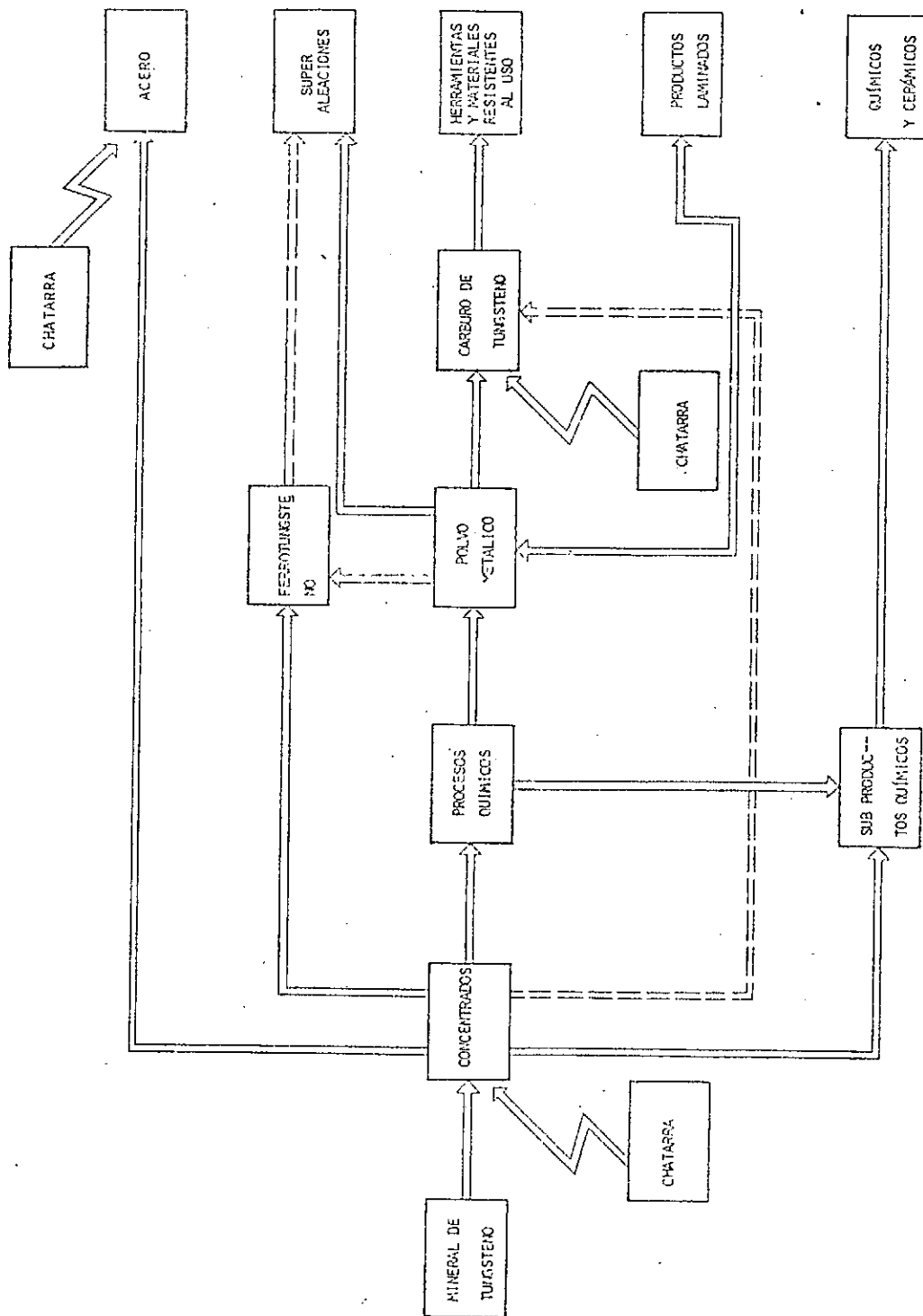
ción magnética en combinación con la separación por gravedad produce concentrador con leyes del 50 al 70 por ciento de O_3W y con recuperación del orden del 85-90 -- por ciento.

Las plantas modernas usan los procesos de flotación combinados con los de gravedad para recuperar el tungsteno con rendimientos de 90 por ciento del mineral contenido. Por supuesto esto implica la obtención de minerales de baja ley (colas) que necesitan de tratamientos químicos posteriores.

El CUADRO N° 3.4. es un diagrama simplificado que muestra las transformaciones que sufre el tungsteno desde que sale de la mina hasta que es transformado en un semielaborado para ser usado en la producción de bienes finales.

El tungsteno es convertido primero en Paratungstato de Amonio, metal en polvo o fenotungsteno antes de ser usado en productos finales.

GRAFICO N° 3.4 - DIAGRAMA DE PROCESOS PARA OBTENER PRODUCTOS DE TUNGSTENO



Parte de la scheelita sintética o natural es usada directamente en la producción de aceros -- que no requiere otro proceso que el de peletización para evitar las pérdidas por polvos.

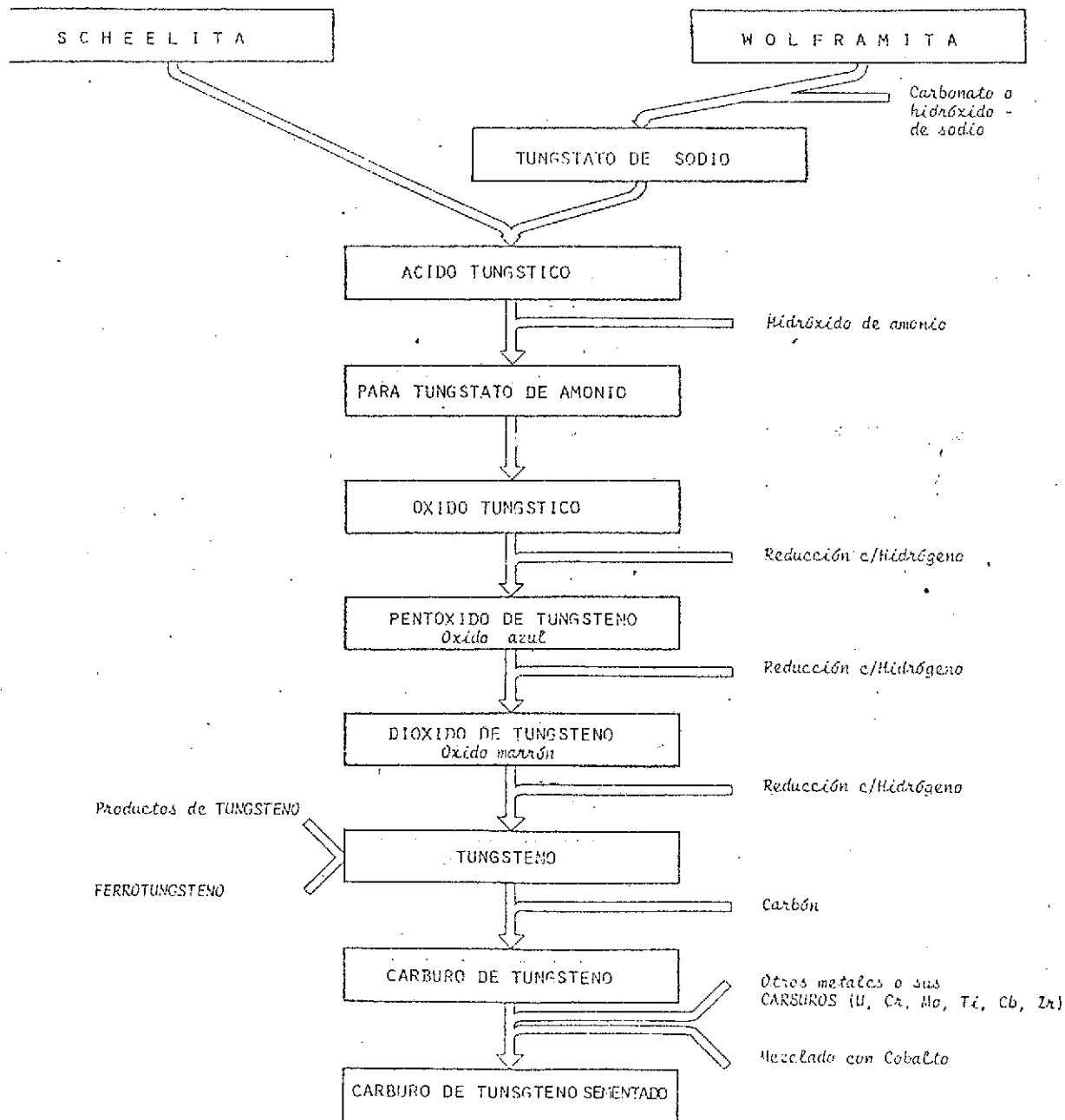
Para producir el metal en polvo, el concentrado es tratado por medios químicos para conseguir compuestos que puedan ser reducidos por hidrógeno.

La scheelita de baja ley es descompuesta con soda bajo presión mediante lixiviación y los concentrados de elevada pureza con ácido clorhídrico.

La wolframita es descompuesta con carbonato de sodio, hidróxido de sodio o ácido clorhídrico. El ácido tungstico resultante, debe ser mezclado con hidróxido de amonio o de sodio para obtener los tungstatos correspondientes.

Tungsteno en polvo es reducido por hidrógeno a partir del óxido tungstico o el paragungstato de amonio, en polvo a temperatura. El tamaño de partícula

CUADRO N° 3.5. - SECUENCIA DE PROCESOS DE TRANSFORMACION PARA
OBTENER CARBURO DE TUNGSTENO



del polvo esta relacionado directamente con el tamaño de partícula del óxido del cual proviene y parcialmente depende de la temperatura y del tiempo de reducción. -- Por ejemplo, con las otras variables fijar reducción a 800°C produce polvo de 0,5 micrones, y con reducción a 1200°C el polvo obtenido es de 10 micrones de tamaño de partícula.

El CUADRO N° 3.5. indica la secuencia de procesos para obtener carburo de tungsteno carburizando el polvo reducido. En el también se indica el último proceso para obtener productos de tungsteno cementados.

Como ya fuera expresado, y dada la dificultad en fabricar productos de tungsteno laminados, -- los alambres, barras y chapas se fabrican a partir del polvo reducido con hidrógeno, que una vez comprimido y sinterizado se calienta hasta una fusión incipiente, mediante el pasaje de una corriente eléctrica, y luego es estampado o laminado hasta la forma final. La ventaja de este proceso es que el polvo puede ser comprimido --

hasta la forma final deseada, no necesitando procesos -
posteriores. También se obtienen productos de tungste-
no utilizando técnicas de fusión con arco eléctrico.

Los productos sinterizados se obtienen -
mezclando el carburo de tungsteno con cobalto, sinteri-
zando en su forma definitiva, la resistencia del product
to final dependerá de la granulometría de la mezcla.

Dada la importancia reciente del tungsten
o, organizaciones científicas, llevan a cabo diferent
tes programas de investigación no sólo para lograr nue-
vas técnicas de extracción que permitan aprovechar minen
rales de bajas leyes sino; desarrollar nuevos procesos
tecnológicos de transformación de productos de tungste-
no para mejorar calidad y costo de los productos tradi-
cionales, mejorar las técnicas de recuperación y funda-
mentalmente ampliar el campo de aplicación de los prod-
uctos que utilizan tungsteno.

3.1.2. Aspectos de mercado y comercialización.

. Productores y capacidades.

El principal país productor es China. La mayoría de la producción de wolframita de alto grado - proviene de la provincia de Jiangxi. Gran parte de los bien conocidos yacimientos chinos están en la región de Nanling. La mayoría de la producción es wolframita de alto grado, pero últimamente la scheelita de la provincia de Hunan ha crecido en importancia. Significativos depósitos han sido encontrados en el sudeste, noroeste y norte de China. Este país extrae el 20 por ciento de la producción mundial.

Otros productores de importancia del -- Asia son, Tailandia, Corea del Norte, la República de - Corea. Los países asiáticos en conjunto producen el 42 por ciento del total mundial, aproximadamente.

En Europa la Unión Soviética es el pri - mer productor y el segundo a nivel mundial (17%). Sus

mayores reservas están en la zona del Cáucaso, Transbay Kal, el lejano este, Asia Central y el Kazakhstan. El complejo minero de Tryny-Aux (tungsteno y molibdeno) mediante explotación a cielo abierto y subterránea, es el principal productor.

Rusia produce wolframita y scheelita, esta última se encuentra en grandes zonas ligadas a los depósitos auríferos.

Otros productores de relativa importancia en Europa son Austria y Portugal. Este último posee los yacimientos de mayor importancia de Europa Occidental. El tungsteno esta mineralizado como wolframita y los mayores depósitos se encuentran en el noreste del país. La mina Parrasqueira produce el 80 por ciento del total nacional.

Francia, posee sus reservas en el sur y la mina SALAU produce el 90 por ciento de la producción del país.

Africa es un pequeño productor de tungsteno, en total este continente aporta menos del 2 por ciento de la producción mundial.

En América, Estados Unidos cuenta con -- cuatro grandes minas (dos en California, una en Nevada y otra en Colorado) es el tradicional principal productor. Scheelita es el principal mineral extraído y casi todos los depósitos están localizados en el Oeste. El tungsteno como wolframita se obtiene como subproducto de la producción de molibdeno. Estados Unidos aporta el 7 -- por ciento de la producción mundial.

Bolivia y Canadá son los países productores de tungsteno que le siguen en importancia. La mina de scheelita de Flat River en el noroeste de Canadá, es la más gran de las minas de los países de economía de mercado, y están siendo desarrollados dos nuevos yacimientos, uno lindando con Yukon y otro en New Brunswick.

Bolivia fue durante años principal productor de tungsteno, que se encuentra mineralizado junto con estaño. La wolframita es el mineral predominante

te pero también suele presentarse scheelita. Los depósitos mayores se encuentran en el área que va desde bajo noroeste hasta el sud medio.

En Brasil la scheelita es el mineral predominante, y sus mejores yacimientos están en el noreste del país. Las minas de Brejui, Barra Verde y Boca de Lage son las principales.

Australia es un buen productor, aporta con el 6 por ciento de la producción mundial. Las mayores reservas están en las minas de Bold Head y Dolphin en King Island, y la mayoría del tungsteno se encuentra con scheelita.

El CUADRO N° 3.6. se resume la producción de 1978 y la capacidad de producción de los años 1978 y 1979 de los países productores de tungsteno, en el puede observarse que el total de la producción mundial alcanzó a 45.416,4 toneladas de tungsteno en el año 1978 y como conclusión puede decirse, que salvo el caso de Turquía que tiene una capacidad 50 por ciento -

CUADRO N° 3.6 - PRODUCCION AÑO 1978 Y CAPACIDAD DE PRODUCCION DE TUNGSTENO AÑOS 1978 y 1979 EN TONELADAS DE TUNGSTENO NO CONTENIDO.

P A I S E S	PRODUCCION	CAPACIDAD DE PRODUCCION	
	1978	1978	1979
NORTE AMERICA			
EE.UU.	3.128,0	3.600	3.600
Canadá	2.288,4	2.300	2.600
México	185,5	230	230
Subtotal	5.601,9	6.130	6.430
AMERICA DEL SUR			
Argentina	78,9	90	90
Bolivia	2.852,2	3.040	3.040
Brasil	1.159,8	1.360	1.360
Perú	582,0	590	500
Subtotal	4.672,9	5.080	4.990
EUROPA			
Austria	1.178,9	1.180	1.180
Checoslovaquia (e)	79,4	90	90
Francia	607,8	630	630
Portugal	1.091,8	1.130	1.270
España	273,1	360	360
Suecia	580,1	590	59
Unión Soviética (e)	8.482,3	8.480	8.620
Reino Unido	64,8	90	40
Subtotal	12.358,2	12.550	12.780
AFRICA			
Rwanda	385,1	410	410
Namibia	149,7	180	180
Uganda	108,8	140	140
Zaire	147,9	270	270
Otros	60,8	90	90
Subtotal	852,3	1.090	1.090
ASIA			
Burma	470,8	500	720
China (e)	9.979,2	10.000	10.000
Japón	761,1	770	770
Corea del Norte (e)	2.150,1	2.180	2.180
República de Corea	2.600,1	2.720	2.720
Tailandia	3.187,0	3.220	2.860
Turquía	1.009,5	1.680	1.680
Otros	93,0	140	140
Subtotal	19.250,3	21.220	21.070
OCEANIA			
Australia	2.680,8	3.180	3.180
TOTAL MUNDIAL	45.416,4	49.250	49.540

superior a la de su producción, todos los países prácticamente están en el límite de su capacidad de producción, el aprovechamiento de las instalaciones productivas llegó al 92 por ciento.

Analizando la producción individual de las principales explotaciones mineras, y tomando en consideración los datos disponibles (sólo del mundo occidental), la mayor producción del año 1981 correspondió a la mina de Sang Dong de la República de Corea alcanzó a 2.200 toneladas de tungsteno, esto fue debido a la huelga producida en la mina propiedad de Can Tung del Canadá -la mayor mina de tungsteno del mundo occidental- que afectó la producción de 1981 produciendo sólo 2.000 toneladas de tungsteno en lugar de las 3.100 toneladas producidas en 1980.

La mina King Island de Australia le sigue en importancia alcanzando a producir 2.000 toneladas de tungsteno en los dos años mencionados.

El CUADRO N° 3.7. indica las minas de -
mayor producción del mundo occidental, que en conjunto -
produjeron en 1980 14.200 más de tungsteno que represen
ta el 26.6 por ciento de la producción mundial.

Entre otras minas de importancia cabe --
mencionar las de:

__M I N A__	__C O M P A Ñ I A__	__P A I S__
. Bold Head y Dol Phin	King Island Scheelite Ltd.	Australia
. Brejui	Mineracao Tomaz Salu- tino S.A.	Brasil
. Flat River ...	Canadá Tungsten Mining	Canadá
. Kami	Corporación Minera de Bolivia	Bolivia
. Coco	Emerson	EE.UU.
. Strawberry ...	Teledyne Tungsten ...	EE.UU.
. Tryny-Aux	Propiedad del Estado.	Unión Soviética

CUADRO N° 3.7 - PRINCIPALES EXPLOTACIONES DE TUNGSTENO.					
MINA	COMPAÑIA	PAIS	MINERAL	PRODUCCION (t de W) 1980	1981
SANG DONS ...	KOPEA TUNGSTEN	República Corea	Scheelita	2.200	2.200
CAN TUNG	CANADA TUNGSTEN	Canadá	Scheelita	3.100	2.000
KING ISLAND ..	PEKO WALLSEND	Australia	Scheelita	2.000	2.000
PINE CREEK ...	UNION CARBIDE	EE.UU.	Scheelita	1.200	1.300
MITTERSILL ...	METALLGESELLSCHAFT	Austria	Scheelita	1.500	1.200
PANASQUIERA ..	BERALT TIN AND WOLFRAM	Portugal	Wolframita	1.300	1.100
CLIMAX	AMAX TUNGSTEN	EE.UU.	Wolframita	800	1.000
MOUNT CARBINE.	QUEENSLAND WOLFRAM	Australia	Wolframita	900	900
CHOSILLA	INTERNATIONAL MINING	Bolivia	Wolframita	700	700
SALAU	SOCIETE MINIERE D'ANGLADE	Francia	Scheelita	600	600
	T O T A L		14.200	12.800

. Producción y consumo.

El CUADRO N° 3.8. indica la producción -
de concentrado de tungsteno por países desde el año --
1960, hasta el 1980 inclusive.

Como puede observarse la producción de -
concentrado se mantuvo durante la década del 60, por de
bajo de las 41.000 t excepción hecha del año 1961, pe
ro en la década del 70 comienza a incrementarse en for-
ma sostenida alcanzándose en 1980 67.230 t de concen-
trado, que resulta un 66 por ciento superior a los 40.490
t de 1970. Este notable aumento se debe principalmen
te a las mayores ritmos de explotación obtenidos en paí
ses tales como Australia, Bolivia, Canadá, China y Tai-
landia, que permitieron duplicar, hasta triplicar la --
producción en algunos casos.

El mayor productor ha sido tradicional -
mente la República Popular China, siguiéndole la Unión -
Soviética, en el año 1980. La China aportó el 28 por --
ciento de la producción mundial y la Unión Soviética el

CUADRO N° 3.8. PRODUCCION DE CONCENTRADO DE TUNGSTENO. (En toneladas).

PAISES	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
ARGENTINA	487	486	351	100	37	87	87	135	233	184	181	173	199	s/d	118	104	78	88	122	74	90
AUSTRALIA	1.129	1.561	1.059	975	1.012	1.195	1.329	1.211	1.469	1.657	1.759	1.661	1.923	1.876	1.789	2.437	2.508	2.973	3.381	4.026	4.201
AUSTRIA	132	173	174	134	63	150	110	144	225	202	165	87	-	s/d	-	456	682	1.407	1.486	1.836	1.885
BOLIVIA	1.290	1.694	1.523	1.368	1.244	1.112	1.580	1.950	2.283	2.322	2.410	2.638	2.750	2.752	2.557	3.238	4.012	5.726	3.593	3.926	4.235
BRASIL	647	617	620	278	212	252	349	378	460	526	597	866	905	s/d	1.252	1.428	1.263	1.528	1.469	1.484	1.513
BIRMANIA	577	636	550	449	346	207	153	199	267	209	279	493	590	667	429	416	348	351	594	873	949
CANADA	-	-	2	-	485	1.734	1.934	122	1.626	1.843	1.690	2.097	2.018	2.627	1.614	1.478	2.169	2.285	2.886	3.254	4.651
CHINA	13.560	13.560	13.560	13.500	12.200	10.100	10.100	10.100	10.100	10.100	7.600	8.800	9.400	10.100	10.695	11.324	7.206	8.350	8.979	12.583	18.931
FRANCIA	410	439	420	-	-	-	19	25	25	35	88	898	860	1.049	900	782	799	824	766	744	758
INDIA	2	6	7	2	5	9	16	18	25	26	23	19	21	17	15	25	29	28	26	25	30
JAPON	569	562	631	466	521	433	413	493	674	768	854	920	1.132	1.096	1.022	968	1.027	938	977	941	806
COREA DEL NORTE	3.000	3.000	2.400	2.400	2.400	2.150	2.150	2.500	2.500	2.500	2.700	2.700	2.700	2.700	2.711	2.711	2.711	2.711	2.711	2.711	2.774
R. A. DE COREA	3.440	4.413	4.474	3.655	3.592	2.961	2.845	2.808	3.009	2.692	2.751	2.736	2.501	2.839	2.886	3.030	3.262	3.322	3.152	3.121	3.451
MALASIA	27	22	6	4	5	6	4	16	74	33	92	161	175	164	163	134	81	125	91	67	74
MEXICO	110	105	47	20	5	110	85	188	266	189	288	408	362	348	390	349	296	241	295	318	340
NAMITIA	84	111	93	145	117	102	106	0	0	121	79	120	112	28	-	1	177	89	189	206	181
PERU	293	233	237	310	587	430	514	495	677	869	1.014	975	1.079	1.003	867	734	745	664	734	711	692
PORTUGAL	1.750	1.782	1.502	971	1.060	986	1.199	1.382	1.744	1.678	1.850	1.695	1.769	1.951	1.851	1.795	1.588	1.267	1.392	1.738	2.145
RWANDA	274	348	90	8	100	165	211	350	407	319	410	400	483	447	357	435	545	716	694	637	566
ESPAÑA	560	648	423	88	22	45	61	100	156	255	514	513	457	470	438	443	415	587	451	402	315
SUECIA	211	238	203	207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	234	271	180	245	251	732	402	406
THAILANDIA	265	309	256	124	258	333	336	545	627	806	895	2.266	3.329	2.733	2.572	2.064	2.585	2.779	4.018	2.303	2.038
UGANDA	69	80	7	1	-	25	77	85	92	110	153	137	148	112	137	137	137	137	137	69	63
URSS	5.700	6.000	6.300	6.300	6.600	7.200	7.400	7.800	7.800	8.200	8.500	8.800	9.100	9.300	9.608	9.837	10.066	10.352	10.695	10.981	10.981
EE. UU.	3.814	4.683	4.736	3.079	5.032	4.327	4.099	3.756	5.171	4.524	5.326	3.904	4.028	4.032	4.221	3.196	3.334	3.432	3.944	3.799	3.473
ZAIRE	550	325	221	121	140	129	140	88	117	148	237	387	338	292	247	313	298	214	186	141	91
TURQUIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTROS	105	90	54	17	8	22	25	101	72	105	194	360	205	395	263	163	199	283	270	334	322
TOTAL																					

16 por ciento, o sea que entre los dos países alcanzan el 44 por ciento del total mundial.

De los países del mundo occidental, los Estados Unidos fueron durante la década del 60 el primer productor, llegando a obtener el 14 por ciento del total mundial, pero en los años setenta su producción se estabiliza y comienza a descender en el año 1980, y ocupa el cuarto lugar después de Canadá, Bolivia y Australia. Estos principales países de occidente produjeron en conjunto en 1980 el 24.6 por ciento de la producción mundial.

Resulta de interés destacar que el 66 -- por ciento de la producción en el año 1982 correspondió a 8 países de los llamados desarrollados (Australia, Canadá, China, Francia, Japón, Suecia, Rusia y Estados -- Unidos) y el 34 por ciento restante esta distribuido en más de una veintena de países de los cuales algunos de ellos tienen una producción significativa tal el caso -- de Bolivia, Tailandia, las dos Coreas y Portugal.

En el CUADRO N° 3.9. se muestra cual -- han sido los principales países consumidores en el pe - ríodo 1972-1980, indicando también el consumo total mun - dial en toneladas de tungsteno contenido.

Corresponde aclarar las dificultades en - contradas con las estadísticas correspondientes al con - sumo, no son muchas las fuentes, y los datos presentan deficiencias debido a la falta de información sobre va - riaciones de stock, recuperación de tungsteno (tungste - no secundario) y a la desagregación en función de los - distintos usos y aplicaciones del metal.

En cuanto al consumo global, si bien pre - senta un aumento durante el período considerado (10,1%) no es un crecimiento sostenido pues se notan fluctuacio - nes con caídas de 16.6 por ciento en el año 1975 y au - mento en el consumo de 11.9 por ciento en el año 1973.- El mayor consumo corresponde al año 1979 con 39.966,2 - toneladas, cayendo un 4 por ciento en el año siguiente.

CUADRO N° 3.9 - CONSUMO DE TUNGSTENO POR PAISES. (En toneladas de tungsteno contenido.

PAISES	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Australia	39,9	39,9	39,9	39,5	39,5	39,5	39,5	40,8	36,3
Austria	1.410,2	1.119,9	1.047,8	910,8	1.589,9	1.443,8	2.376,9	2.630,9	2.177,3
Canadá	136,1	136,1	131,5	122,0	249,5	331,1	308,0	317,5	317,5
Francia	1.240,1	1.748,1	1.848,9	1.442,0	1.423,8	1.001,1	1.637,9	1.179,4	635,0
Japón	2.326,1	3.606,1	3.023,3	2.146,9	2.575,1	2.116,9	2.036,2	2.041,2	2.449,4
República de Corea	-	249,5	635,0	680,4	725,8	1.440,2	1.379,8	1.360,8	1.134,0
México	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	59,0	59,0	59,0	59,0
Portugal	308,0	318,9	376,9	353,8	32,2	137,0	176,0	181,4	192,3
Suecia	1.376,9	1.461,9	1.719,1	1.646,1	1.665,2	1.699,2	1.584,9	1.587,6	1.587,6
Inglaterra	3.268,2	3.600,2	3.709,1	2.253,0	2.050,7	1.658,8	1.988,1	1.950,5	1.859,8
EE.UU.	6.398,9	6.979,1	7.392,8	6.356,3	7.306,1	7.756,6	8.530,4	9.792,8	9.267,9
- Consumo aparente									
Argentina	44,0	52,2	49,9	54,9	62,1	59,0	68,0	68,0	59,0
Bélgica	48,9	156,9	164,2	40,8	181,9	24,1	-	-	-
Brasil	224,1	254,9	235,9	278,1	249,5	249,5	249,5	249,5	249,5
China	2.041,2	2.041,2	2.041,2	2.086,6	2.150,1	2.313,4	2.404,1	2.494,8	2.494,8
Checoslovaquia ..	1.360,8	1.360,8	1.315,4	1.224,7	1.224,3	1.315,4	1.315,4	1.315,4	1.315,4
Alemania Este	317,5	294,8	272,6	249,5	272,6	272,6	272,6	272,6	249,5
Alemania Oeste ...	2.501,1	3.143,9	2.400,0	1.157,1	2.024,9	1.334,9	1.626,1	1.678,2	1.542,2
Hungría	22,7	22,7	22,7	598,7	598,7	598,7	598,7	598,7	589,7
India	191,9	151,0	175,1	140,6	265,8	270,8	272,2	272,2	272,2
Italia	s/d	s/d	s/d	s/d	56,7	49,9	59,0	59,0	59,0
Corea del Norte ..	1.587,6	1.587,6	1.587,6	1.587,6	1.587,6	1.587,6	1.587,6	1.587,6	1.587,6
Holanda	717,1	894,0	1.731,8	1.118,1	361,9	503,9	401,9	408,2	408,2
Polonia	1.811,2	2.335,1	1.691,9	1.618,9	1.919,2	1.784,9	2.180,0	1.633,0	1.360,8
Sud Africa	360,1	259,9	225,0	249,5	249,5	249,5	249,5	249,5	272,2
España	128,8	130,2	125,2	59,9	76,2	76,2	145,5	136,1	136,1
Unión Soviética ..	6.667,9	6.713,3	6.758,6	6.940,1	7.303,1	7.393,7	7.575,1	7.801,9	7.938,0
Varios	206,7	235,3	215,6	18,4	227,8	-	-	-	-
TOTAL	34.738,0	38.893,5	38.927,0	33.374,0	36.470,0	35.767,3	39.121,6	39.966,2	38.250,2

Los mayores consumidores son los Estados Unidos -consumió el 24.2 por ciento del total mundial - en el año 1980- y la Unión Soviética el 20 por ciento- que significan 9.267,9 toneladas y 7.938 toneladas de tungsteno contenido, respectivamente. El resto de los países tienen un consumo muy por debajo, menor de 2.500 toneladas anuales, entre ellos Japón, China y Austria -superan las 2.000 toneladas/año y Alemania Federal, Inglaterra, Suecia y Corea del Norte con un consumo entre 1.500 toneladas y 2.000 toneladas/año.

A nivel de países individuales, también -se producen oscilaciones en el consumo, salvo la Unión -Soviética que es el único país que tiene un crecimiento sostenido, los Estados Unidos por ejemplo, acompaña con su consumo las variaciones producidas a nivel mundial.

Algunos países, como el caso de Inglaterra y Francia, han disminuido su consumo más de 40 por ciento durante el período considerado en forma sostenida.

Merece destacarse el hecho que las varia
ciones en el consumo de tungsteno no coincide con la --
producción de mineral. Como ya se expresó, esta tuvo un
crecimiento más o menos sostenido con muy pequeñas fluc
tuaciones lo que muestra claramente la importancia que
presentan las variaciones de stock.

. Balance oferta demanda. Situación actual del mundo --
occidental.

Para el análisis de la situación actual -
sólo se dispone de información parcial de los países de
occidente. En consecuencia, se ha preparado el CUADRO
Nº 3.10 en el que se indica la evolución de las produc-
ciones de tungsteno entre los años 1977 y 1982 para los
principales países productores de occidente y se conta-
biliza las importaciones que se realizan desde China a
los efectos del análisis de la oferta y demanda.

Desde el punto de vista global la produc-
ción en los últimos seis años creció un 19 por ciento -

CUADRO N° 3.10 - PRODUCCION DE TUNGSTENO DE LOS PAISES DE OCCIDENTE. (En toneladas de contenido de tungsteno).						
PAISES	1977	1978	1979	1980	1981(e)	1982 (e)
EE.UU.	2.726,1	3.129,8	3.011,9	2.798,7	3.492,7	3.356,6
Tailandia	2.204,5	2.975,6	1.882,4	1.859,7	1.043,3	9.070,2
República de Corea .	2.599,1	2.590,0	2.617,2	2.630,9	2.630,9	2.630,9
Bolivia	2.245,3	2.494,8	2.467,6	2.662,6	2.676,2	2.676,2
Canadá	1.814,4	2.286,1	2.599,1	3.179,7	2.268,0	3.628,8
Australia	2.358,7	2.680,0	3.166,1	3.302,2	3.311,3	3.311,3
Austria	1.179,4	1.129,5	1.437,9	1.691,9	1.678,3	1.678,3
Portugal	997,9	1.088,6	1.369,9	1.558,5	1.360,8	1.542,2
Brasil	1.138,5	1.174,8	1.174,9	1.061,4	1.179,4	1.270,1
Perú	526,2	580,6	635,0	635,0	635,0	635,0
Japón	775,6	753,0	753,0	666,8	635,0	635,0
Otros	2.903,0	3.247,8	2.980,1	3.138,9	3.220,6	3.311,3
Total Producción ...	21.468,6	24.131,4	24.095,0	25.204,3	24.131,5	25.582,9
Importaciones desde						
China	1.501,4	2.045,7	3.347,6	3.402,0	3.628,8	4.082,4
Total de la oferta .	22.970,0	26.177,1	27.442,6	28.606,3	27.760,3	29.665,3
(e): Cifras estimador.						

en forma sostenida salvo en el año 1981 en que cayó 4,3 por ciento respecto a 1980, debido principalmente a las huelgas de mineros en Canadá y a la declinante producción de Tailandia causada por la actividad de la guerrilla. En 1982 la producción se recupera, siendo un 6 -- por ciento mayor respecto del año anterior.

Las importaciones desde China también -- crecieron en forma sostenida (272% en el período) pasando del 6,5 por ciento del total de la oferta al 13,7 -- por ciento del total de la oferta.

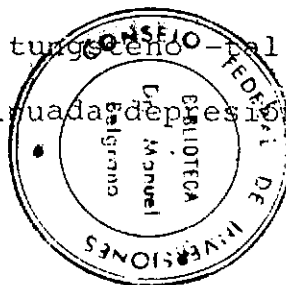
En el CUADRO N° 3.11. se muestran en forma resumida los principales consumidores para los años 1977-1982; en el se ha calculado también el balance entre el total de la oferta y la demanda, notándose un déficit de oferta permanente el cual debe ser atendido -- con las ventas del stock de concentrado de tungsteno de la General Services Administration de Estados Unidos -- (GSA). Esta ha venido ofreciendo mineral a razón de -- 453,6 t de contenido de tungsteno por mes en el año -- 1980, llegando a vender 1.496,9 toneladas en ese año de

CUADRO N° 3.11 - BALANCE DE OFERTA Y DEMANDA DEL TUNGSTENO PARA LOS PAISES DE OCCIDENTE EN TONELADA DE CONTENIDO DE TUNGSTENO.						
PAISES	1977	1978	1979	1980	1981(e)	1982(e)
EE.UU.	7.801,9	8.300,9	9.162,7	9.253,4	9.888,5	10.387,4
Japón	2.131,9	2.041,2	2.585,5	2.993,8	2.268,0	2.494,8
Europa del Oeste	8.981,3	10.977,1	10.478,2	10.160,6	9.525,6	9.979,2
Europa del Este.	3.674,2	4.263,8	3.855,6	3.628,8	3.628,8	3.628,8
Otros	2.857,7	2.993,8	3.175,2	3.175,2	3.175,2	3.265,9
Total consumo ..	25.447,0	28.576,8	29.257,2	29.211,8	28.486,1	29.756,1
Total oferta ...	22.970,0	26.177,1	27.442,6	28.606,3	27.760,3	29.665,3
Saldo	(2.477)	(2.399,7)	(1.814,6)	(605,5)	(725,6)	(90,8)
Ventas GSA	1.678,3	2.449,4	2.585,5	1.496,9	725,6	453,6
BALANCE NETO ...	(798,7)	49,7	770,9	891,4	-	362,8
(e): Cifras estimador.						

las cuales 861,8 toneladas fueron al mercado interno de EE.UU. y el resto para exportación.

Si bien el déficit es permanente, existe una clara tendencia a eleminarlo con un aumento de producción y de mayores importaciones desde China, pues -- también las ventas de la G.S.A. disminuyen pasando de - 2.585,5 toneladas en 1979 a 453,6 toneladas en 1982 representando sólo el 1,5 por ciento del consumo total.

En el CUADRO N° 3.11. también puede observarse que salvo el caso de EE.UU. en el resto se ha mantenido o disminuido el consumo de tungsteno -- tal el caso de Japón -- que reflejan la continuada depresión de la economía mundial.



La situación de 1982 de EE.UU. es el resultado de la gran demanda de la primera mitad del año, basada fundamentalmente en el impulso de la actividad petrolera.

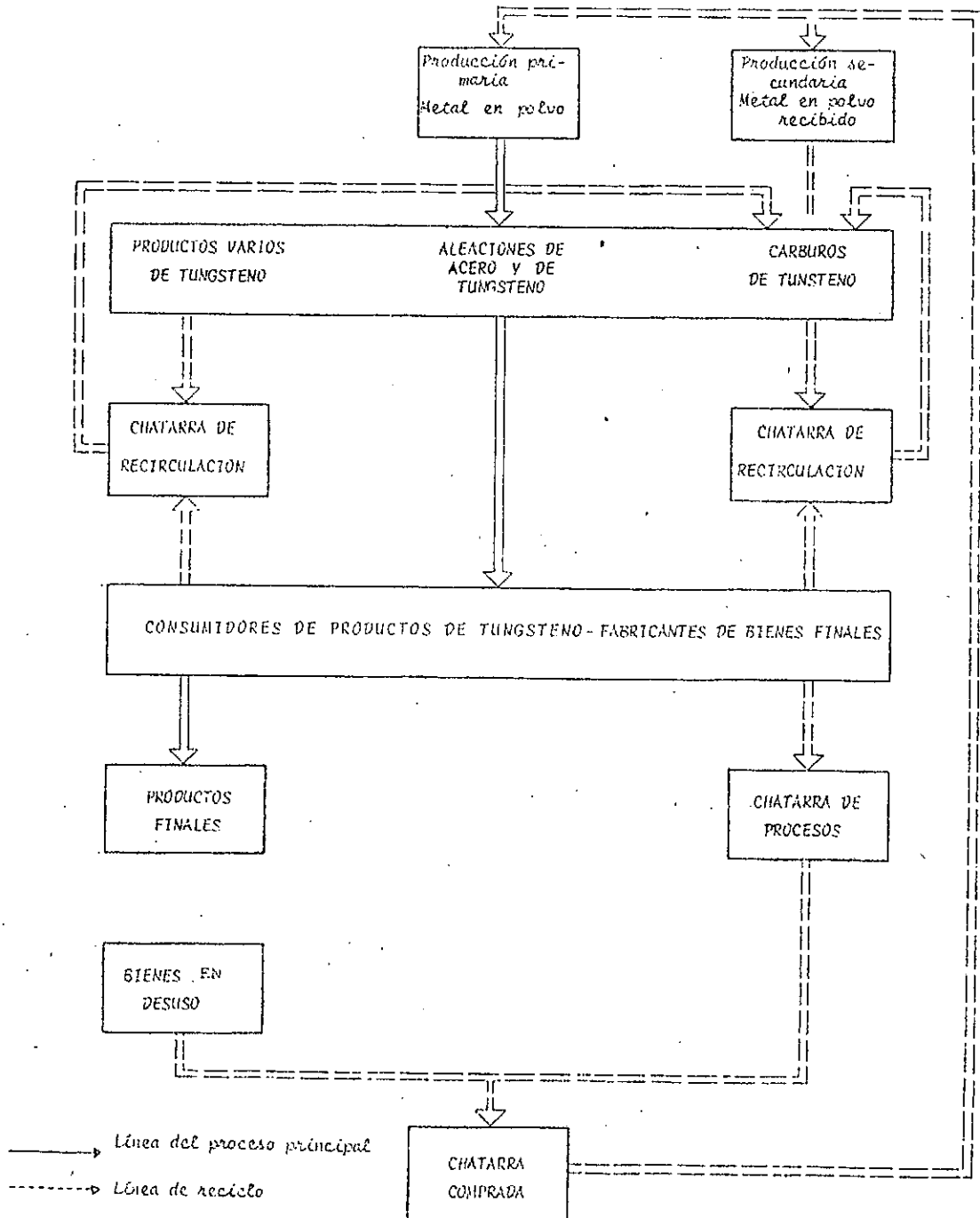
. Recuperación del tungsteno.

El desarrollo tecnológico permite la utilización de tungsteno reciclado principalmente para la fabricación de carburos cementados. Este hecho afecta al consumo de concentrados. Se estima que en 1981 el 18 por ciento de todo el tungsteno usado en la producción de carburos cementados fue de reciclaje y se espera que crezca hasta el 25 por ciento en el año 1985.

La destilación de zinc desarrollada en la década del 70 por el US Bureau of Mines, es ampliamente usado para la fabricación comercial de material de alta calidad para la producción de productos sinterizados.

El CUADRO N° 3.12. muestra un diagrama simplificado del aprovechamiento del tungsteno y su reciclaje. La mayor parte de la chatarra de tungsteno generada es reciclada para su aprovechamiento en la producción de carburos.

CUADRO N° 3.12 - DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CHATARRA DE TUNGSTENO



La relación de costo para fabricar carburo de tungsteno usando el elemento virgen respecto del elemento reciclado es 3 a 1, lo que conduce a que algunas plantas productoras utilicen hasta casi el 40 por ciento del tungsteno reciclado como materia prima.

, Comercio mundial.

Las dificultades encontradas en la búsqueda de información estadística para el caso del consumo de tungsteno se magnifican en el caso del comercio mundial, lo que impide prácticamente un desarrollo actualizado del tema. Sólo se cuenta con información de hace algunos años o muy parcializada.

Una característica muy importante del comercio mundial es la diversidad de formas en que puede ser comercializado el tungsteno, ya sea en la gran variedad de minerales y concentrados en general, o como polvo de carburo o, como polvo metálico, o como aleaciones, o integrando los productos de uso final o si-

no en la cantidad de productos químicos en los que el tungsteno forma parte. Esta situación complica aún más la tarea de compilar estadísticas actualizadas y representativas del comercio mundial de tungsteno.

De todas maneras se ha tomado el año -- 1974, año de una muy buena actividad económica a nivel mundial, de un consumo de tungsteno elevado, práctica -- mente coincide con el mayor consumo de la década, para realizar un análisis de las importaciones y exportaciones a nivel mundial.

El CUADRO N° 3.13. muestra para el año - 1974 cuales han sido las principales importaciones por país de origen y destino, y el CUADRO N° 3.14 muestra - cuales han sido las principales exportaciones, también por países de origen y destino.

Del análisis de los dos cuadros, surge - que el caso atípico es el de los Estados Unidos, que se comporta como el principal importador y a su vez el -- principal exportador. Rusia es el segundo importador y.

CUADRO N° 3.13 - ESTRUCTURA DEL COMERCIO INTERNACIONAL DE MINERALES Y CONCENTRADOS DE TUNGSTENO, 1974. (En toneladas).

Importaciones en	EE.UU.	Japón	Holanda	URSS	Reino Unido	Rep. Fed. Alemana	Francia	Austria
TOTAL	5006	2101	2039	3780	2142	1916	1523	1076
Países en desarrollo	76	1299	1283	-	637	426	925	274
Bolivia	939	41	206		48	70	50	-
Brasil	121	-	-		30	71	215	-
México	152	-	15		-	12	14	-
Perú	625	265	929		5	-	-	32
Corea	165	639	-		-	33	318	143
Rwanda	207	-	-		13	19	27	-
Thailandia	693	272	6		256	101	184	46
Burma	93	3	-		73	-	41	-
Malasia	77	21	-		33	2	-	-
Sud Africa	52	13	23		10	51	10	44
Otros	52	45	44		169	59	50	9
Países desarrollados de economía de mercado	1705	644	402	-	1284	1191	350	319
Australia	39	152	18		102	246	150	295
Canadá	740	213	-		-	93	72	24
E.E. U.	-	-	-		49	78	4	-
España	44	5	-		92	70	30	-
Francia	34	-	-		-	490	-	-
Holanda	14	-	-		417	25	-	-
Portugal	741	274	138		502	88	94	-
Alemania	32	-	6		68	-	-	-
Otros	61	-	240		54	101	-	-
Países Socialistas	127	158	352	2132	2132	258	248	464
China	127	158	352	2103	189	219	248	464
Urgolia	-	-	-	29	-	-	-	-
Otros	-	-	-	-	2	-	-	-
Otros	-	-	-	1666	30	41	-	19

CUADRO N° 3.14 - ESTRUCTURA DEL COMERCIO INTERNACIONAL DE MINERALES Y CONCENTRADOS DE TUNGSTENO.
1970 (Toneladas métricas).

Exportaciones de	Exportaciones a	Estados Unidos	Alemania	Francia	Japón	Polonia	Suecia	Reino Unido	URSS	Belgica	Canada	Checoslovaquia	Rep. Dem. Alemana	Holanda	Sudáfrica	Italia	E.E.UU.	Rumania	Otros	TOTAL
		2.755	106	871	203	400	1.319	210	616	110	430	364	376	70	-	-	-	-	-	8.871
		1.040	137	100	39	372	426	223	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.719
		-	116	-	134	-	-	1.380	-	-	-	-	-	52	-	-	-	-	-	1.932
		308	169	15	853	-	172	173	-	-	-	-	-	5	-	3	102	-	-	1.796
		-	462	12	73	-	671	27	-	-	-	-	-	-	-	-	560	31	-	1.579
		-	141	9	142	-	-	267	-	28	-	-	219	-	43	-	-	-	-	1.110
		-	189	28	66	-	-	587	-	-	-	-	207	-	-	9	-	-	-	1.068
		-	143	21	31	-	28	6	-	39	-	24	570	-	-	-	-	8	-	913
		-	35	-	334	-	58	174	-	2	-	-	78	-	-	5	-	-	-	792
		-	-	-	390	-	62	129	-	11	-	-	39	-	-	-	194	-	1	759

no exporta. Resulta lógico comprobar que los principales importadores son los países desarrollados de mayor consumo, tal el caso de Japón.

En cuanto a las exportaciones China, Bolivia, Corea y Canadá, le siguen en importancia a los Estados Unidos, pero en conjunto no llegan a igualar el volumen de exportaciones del mencionado país del Norte.

Del análisis de los cuadros de producción y consumo (3.8. y 3.9.) surge que los Estados Unidos, en la actualidad, continúa siendo un fuerte comprador de tungsteno. Rusia aparentemente ha equilibrado su producción y consumo. Los países desarrollados siguen siendo importadores netos, tal los casos de Japón, Suecia, Inglaterra, Alemania, etc.

En cuanto a los países exportadores, los más importantes son China, Australia, Canadá, Portugal, Bolivia y Tailandia, que han fortalecido su condición de exportadores, sumándose en los últimos años Turquía que aparece en el mercado mundial a partir de 1976.

. Precios.

El mineral es cotizado según su contenido de tungsteno. Diversas publicaciones se encargan de dar a conocer el precio de distintos productos tungsteno en el mercado internacional, entre los que se pueden mencionar: London Metal Bulletin, que publica periódicamente los precios del Mercado de Londres y el índice de usuarios de mineral de tungsteno, que brinda información sobre cuatro calidades de minerales diferentes --- (wolframita - Ley I y Ley II y scheelita - Ley I y Ley II). Este indicador tiene la ventaja que cubre en mayor medida el mercado internacional, puesto que recibe información de las principales transacciones realizadas en el mundo.

En la publicación Metal's Weels se pueden encontrar los precios que surgen de las ventas de la General Service Administration.

A los efectos de cumplimentar el análisis de la evolución histórica de los precios se ha confeccionado

nado el CUADRO N° 3.15. con los precios anuales prome -
dios en dólares por kilogramo de concentrado en valores
corrientes y en valores constantes a dólares de 1978.-
Los precios son FOB yacimientos de los Estados Unidos.

De la observación del Cuadro surge que -
durante el período que va desde 1958 hasta 1972 (15 --
años) el precio aumentó en 230 por ciento si se conside -
ra las cotizaciones a valores corrientes, y 152 por cien -
to a valores constantes, con marcadas oscilaciones en --
las cotizaciones. Esta situación es una constante del
mercado del tungsteno, los precios no son estables y a
nivel internacional, y los gobiernos de los principales
productores, (China, Rusia y Estados Unidos) tratan de -
influir en el mercado de acuerdo a sus mejores conve --
niencias.

En Diciembre de 1981 se llevó a cabo, en
Suiza, la última reunión del Comité de Comercio, desa -
rrollo del tungsteno de las Naciones Unidas con la in -
tención de lograr acuerdos que permitan estabilizar el
mercado para sus resultados positivos.

CUADRO N° 3.15 - PRECIOS PROMEDIOS ANUALES DE CONCENTRADOS DE TUNGSTENO. (Dólar por kilogramo).		
AÑOS	Precio Corriente	Precio a dólares constantes de 1978
1958	2,45	5,62
1959	2,87	6,46
1960	3,09	6,83
1961	2,98	6,53
1962	3,20	6,90
1963	2,95	6,28
1964	2,82	5,91
1965	3,79	7,76
1966	4,63	9,17
1967	4,10	7,89
1968	4,94	9,10
1969	5,22	9,17
1970	5,62	9,35
1971	6,53	10,34
1972	5,64	8,58
1973	5,97	8,58
1974	10,52	13,78
1975	11,68	13,98
1976	14,00	15,92
1977	20,17	21,65
1978	18,12	18,12
1979	18,23	16,75

La desestabilización del mercado se nota con más fuerza en los últimos siete años de la serie, -- donde el crecimiento del precio del tungsteno es más -- sostenido, 323 por ciento a valores corrientes y 195 -- por ciento a valores constantes, con un pico en el año 1977 que marca el mayor precio histórico del tungsteno. A partir de ese año pareciera producirse una constante declinación del precio, sobre todo si se toman valores -- a dólares constantes.

Para cuantificar las diferencias entre -- las diferentes cotizaciones y las variaciones que ocu -- rren en un año, o sea ejemplarizar lo inestable del mer -- cado del tungsteno, se acompaña el CUADRO N° 3.16. don -- de se indican los precios promedios mensuales para con -- centrados de tungsteno con 65 por ciento de ley base. En el caso del indicador del Metal Bulletin se indican -- las cotizaciones más bajas del mes y las más altas.

En el año 1981 el precio promedio para -- operaciones spot que de 14.100 dólares por toneladas mé -- tricas que continua la declinación iniciada en 1977.

CUADRO N° 3.16 - PRECIOS PROMEDIOS MENSUALES DEL CONCENTRADO DE TUNGSTENO DURANTE 1980. (En U\$S/kg).				
	Metal Mercado BAJO	Bulletn Europeo ALTO	Metals Week FOB DE EE.UU.	International TUNGSTEN INDICATOR
Enero	13,10	14,50	13,60	13,65
Febrero ..	13,75	14,60	14,40	13,90
Marzo	14,10	14,90	14,60	14,15
Abril	13,90	14,90	14,50	14,25
Mayo	13,75	14,40	14,35	14,20
Junio	13,70	14,60	14,15	14,25
Julio	14,30	14,95	14,20	14,30
Agosto ...	14,70	15,30	14,30	14,50
Setiembre.	15,00	15,40	14,55	14,65
Octubre ..	14,40	15,30	14,55	14,75
Noviembre.	13,60	14,60	14,55	13,15
Diciembre.	13,60	14,50	13,90	12,85

Durante 1982 los precios del mineral de tungsteno continúan en baja, cotizándose a fines de abril a 10.400 dólares la tonelada y en noviembre a 8.400 dólares la tonelada, precios promedios para wolframita de 65 por ciento de O_3W como mínimo.

El International Tungsten Indicator, indicaba para la segunda quincena de octubre 10.118 dólares la tonelada para mineral de 73,9 por ciento de ley.

. Proyecciones de la demanda.

Para cuantificar cual sería la demanda futura del tungsteno, conviene realizar un análisis de la evolución del consumo de los Estados Unidos, principal consumidor. Para ello se ha confeccionado el CUADRO N° 3.17. donde se determina la probable demanda de tungsteno en el año 2.000 de los principales sectores - usuarios de tungsteno, tomando como base el año 1978.- La probable demanda en el año 2.000 resulta de 27.700 to

neladas, cifra ponderada entre 23.100 toneladas y 40.300 toneladas según las apreciaciones de máxima y mínima para el consumo.

La demanda de tungsteno en los Estados Unidos dependerá fundamentalmente de los productos resistentes al desgaste y abrasión que constituyen el 72 por ciento del mercado. La automatización de la industria con largas campañas repetitivas y elevadas velocidades conducen a la necesidad de herramientas y utensilios de elevada resistencia.

La construcción de equipos y maquinarias para la construcción y minería se verá incrementado debido al énfasis que se pone en el desarrollo de fuentes propias de energía, las necesidades de transporte se basan en el crecimiento vegetativo y el mayor uso de juegos resistentes al calor en los motores, el consumo para iluminación se mantiene debido a las pocas posibilidades de sustitución que tienen los filamentos de tungsteno, aunque otros desarrollos tecnológicos pueden afectar el consumo global en este sector, y en cuanto al --

sector eléctrico esta basado en las necesidades de re -
sistencia a altas temperaturas.

No se esperan grandes demandas distinti-
vas para usos químicos y varios; la demanda en el año -
2.000 se basan en crecimiento vegetativo.

El crecimiento acumulativo en el período,
resulta de 4.5 por ciento anual para los Estados Unidos,
para el resto del mundo, en base a las diferencias tec-
nológicas que existen se estima un crecimiento del or -
den del 3,2 por ciento anual acumulativo. En función de
estas premisas se confecciona el CUADRO N° 3.17. donde
se indican los consumos previstos en el año 2000 discri -
minando según sea mineral virgen (primario) o tungsteno
de reciclo (secundario).

En el Cuadro también se ha calculado cual
será el consumo acumulado de tungsteno primario hasta -
el año 2.000.

Como puede observarse este consumo acumu -
lado oscilará entre 1.480.000 toneladas y 1.220.000 to-

CUADRO N° 3.17 - PROYECCION DE LA DEMANDA EN EL AÑO 2000
DE TUNGSTENO EN EE.UU. POR SECTORES Y -
EN TONELADAS.

I T E M S	1978	2000 (Pronóstico)		
		Bajo	Alto	Probable
Máquinas herramientas	5.785,7	14.060	23.130	15.870
Máquinas de construcción y Minería	2.161,4	4.080	4.990	4.540
Transporte	984,3	2.270	4.540	2.720
Lámparas e iluminación .	626,0	910	2.270	1.360
Electricidad	375,1	910	2.270	1.360
Químicos	169,2	450	1.810	910
Otros	110,7	420	1.290	940
T O T A L	10.212,4	23.100	40.300	27.700

CUADRO N° 3.18 - PROYECCION DE LA DEMANDA MUNDIAL DE TUNGSTENO PARA LOS AÑOS 1990, 2000 DE TUNGSTENO PRIMARIO Y SECUNDARIO EN TONELADAS.						
	1978	Pronóstico año 2000		Probable		Crecimiento anual %
		bajo	alto	bajo	alto	
ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA:						
Primario	8.859,3	19.500	34.920	14.970	23.130	4,5
Secundario	1.353,1	3.600	5.380	2.720	4.570	5,7
Total	10.212,4	23.100	40.300	17.690	27.700	4,6
Acumulativo primario	-	304.000	429.000	143.300	336.100	-
RESTO DEL MUNDO:						
Primario	31.634,5	53.980	68.040	44.450	61.240	3,2
Secundario	5.443,0	9.070	11.790	7.710	10.430	3,0
Total	37.077,5	63.050	79.830	52.160	71.670	3,2
Acumulativo primario	-	916.200	1.047.800	453.100	984.300	-
TOTAL MUNDIAL:						
Primario	40.493,8	73.480	102.960	59.420	84.370	3,5
Secundario	6.796,3	12.670	17.170	10.430	15.000	3,7
Total	47.290,1	86.150	120.130	69.850	99.370	3,5
Acumulativo primario	-	1.220.200	1.476.800	596.400	1.320.400	-

neladas, que representan aproximadamente el total de re
servas mundiales de tungsteno (Ver Cuadro 3.3.).

3.2. AMBITO NACIONAL.

3.2.1. Aspectos industriales y tecnológicos.

. Yacimientos Argentinos - Reservas.

El conocimiento en el país de la existencia de minerales de wolframio o tungsteno, data de fines del siglo pasado, comenzando su explotación a principios del presente, época en que se inician los primeros trabajos de explotaciones en la mina Los Condores - (provincia de Córdoba).

Los depósitos y manifestaciones wolframíferas del país se agrupan en cinco regiones que son las siguientes: norte, en Jujuy; central, que comprende Córdoba y San Luis; Cuyo con Mendoza y San Juan; noroeste con La Rioja y Catamarca y la del sur o patagónica, con los yacimientos de la zona de Valcheta, en Río Negro.

Las regiones del país de mayor mineralización en wolframio, se hallan en las sierras de San -- Luis y Córdoba, donde existen numerosos yacimientos y hallazgos de wolframita y scheelita, que suman alrededor

de 300-400 denuncios mineros en cada una de las provincias citadas. En La Rioja y Catamarca se conocen ciertos depósitos de wolframita situados igualmente en las Sierras Pampeanas. Los de las provincias de San Juan y Mendoza se encuentran en la cordillera oriental, y el de Tusaquilla, el más septentrional, en la Puna Jujuña; en cuanto a los de la región patagónica, se ubican en el zócalo cristalino del macizo norpatagónico.

Los yacimientos que se emplazan en el basamento cristalino precámbrico, se pueden dividir en tres grupos:

- a) los del complejo metamórfico, que comprenden dos subgrupos: uno cuya roca de caja está constituida por las micacitas, gneíses, migmatitas, etc., y aquellos que se alojan en la caliza o en el contacto caliza-metamorfita;
- b) los del granito, que salvo raras excepciones (San Antonio) pasan a los esquistos, y

c) los cuerpos mineralizados que aparecen en los contactos, en relación con los lamprófiros, situándose entre éstos y los esquistos, (en ocasiones con calizas) o el granito. En cuanto a los de la Puna, estos se hallan encajados en granito al parecer paleozoico, - consistiendo los depósitos en fajas de granito aplí-tico con "pintas" de wolframita. Los de la Cordillera Frontal, se alojan en esquistos cristalinos o en sedimentos del Paleozoico inferior.

Los cuerpos mineralizados se presentan - como vetas, mantos o guías, perfectamente definidos y - de contactos netos o como depósitos de disseminación en el granito. La mineralización más irregular es aquella que se presenta en las calizas, donde se disponen en -- guías, fajas, masas lenticulares y aún anulares.

En lo que concierne a los yacimientos de disseminación éstos se asociaron a facies aplíticas del granito y en relación a cuerpos vetiformes; salvo el caso de la mina "San Esteban" (Córdoba) en que la wolframita aparece en bolsones o masas irregulares.

La distribución de las vetas se hace por lo general en sistemas paralelos o subparalelos, tanto en lo que hace al rumbo como a la inclinación.

Su corrida oscila entre algunas decenas de metros hasta 1.000 metros, con potencias que varían desde pocos centímetros hasta 3m.

Cabe mencionar especialmente la existencia de dos cuerpos de brecha mineralizados por tungsteno, uno en la mina "San Virgilio" y otro en la "Fischer" (Córdoba). El primero es de forma elíptica, siendo sus dimensiones de 295 x 145 m. El segundo constituye un cono con su eje inclinado hacia el E.

En lo que atañe a la mineralización de los cuerpos se definen dos tipos: I) En vetas de cuarzo que rellenan fisuras y II) Por reemplazo en calizas y esquistos.

I) En vetas de cuarzo.

Según los minerales de tungsteno presentes se agrupan en tres tipos: 1) wolframita; 2) scheelita y 3) wolframita y scheelita.

En el primer caso, se establecen las siguientes asociaciones minerales: wolframita, pirita y calcopirita; con molibdenita (San Esteban) o bismutita (Los Mogotes), o sin ambas (vetas de la mina "Fischer").

La ganga está constituida en general por cuarzo-muscovita, acompañada en orden decreciente de frecuencia por fluorita, apatita y turmalina. La muscovita aparece en las salbandas.

En el segundo, la composición mineralógica de los depósitos está representada por la scheelita, acompañadas de pirita, con molibdenita (San Juan Bosco), o sin ella (mina "La Dita"), en ganga de cuarzo, turmalina, berilo, anfíbol y epidoto.

Finalmente, en el tercer caso, la mineralización está compuesta por wolframita, scheelita, pirita y calcopirita, (San Román y Grupo Los Avestruces-Las Asperezas) los que en otros casos aparecen asociados a molibdenita (Arrequeintín) o bismutita (mina "Los Cóndores") o a ambas ("El Chacho"). La ganga está constituida por cuarzo solamente o por éste asociado a muscovita o turmalina, acompañados por apatita y más raramente -- por berilo.

Dentro de este último grupo, cabe mencionar aquellos cuerpos mineralizados asociados a "greisen" (Los Viejos y San Antonio - Catamarca - y Quebrada de Mazán en La Rioja) en cuyos rellenos participan: wolframita, scheelita, casiterita, pirita y calcopirita, molibdenita, blenda, galena y calcocina en ganga de cuarzo, fluorita, mica y topacio.

II) Por reemplazo en calizas y esquistos.

Este tipo de mineralización, asociado a lentes de caliza intercaladas en las metamorfitas, y en

especial a aquellas de tipo anfibólico, está constituida por scheelita, pirita y calcopirita, con molibdenia - ("María Alicia") o sin ella ("La Coquita").

La ganga por lo común está constituida por cuarzo, anfíbol y epidoto a los que se asocian a veces granate y calcita y más escasamente berilo, fluorita y turmalina.

Existen dos tipos de control en el emplazamiento de los cuerpos mineralizados a saber: uno litológico y otro estructural.

El primero obedece a las ~~condiciones~~ ^{calizas} en el caso de los depósitos scheelíticos, con formación además de silicatos cálcicos típicos de metasomatismo de contacto de alta temperatura. Además, pero ya en menor escala, los diques lamprofíricos, ya que en las minas --- "Unión" y "S.J. Bautista" la ley WO_3 aumenta donde las vetas se cruzan con diques de la roca citada.



El control estructural los ejercen la esquistosidad, diaclasas y fallas cuando los cuerpos se hallan emplazados en los esquistos y por diaclasas y fallas en el granito. En cualquiera de los casos las fracturas se han reactivado originando la fracturación de las vetas según planos paralelos a su rumbo, lo que le da un aspecto bandeado a las mismas.

Se relacionan con rocas intrusivas graníticas. Así lo vemos en los depósitos que se los vincula con los cuerpos batolíticos o stocks graníticos de las sierras de Córdoba, San Luis, Catamarca y La Rioja. Incluso en la zona de Valcheta, se hallan ubicados en relación al zócalo cristalino de la meseta de Somuncurá, constituyendo la roca de caja, en algunos casos, una alasquita.

La mineralización pertenece a dos épocas metalogénicas, "Precámbrico" - Paleozoico inferior, a la que corresponden los depósitos emplazados en las Sierras Pampeanas y otra Paleozoico Superior-Triásico Superior a la que se asignan los yacimientos de la Cordille

ra Frontal de San Juan y Mendoza, (Arrequeintín, Agua Negra y "Josefina", respectivamente) y quizás la mina --- "San Martín" o "Gualicho", (Río Negro), en el maciso -- nord-patagónico.

Los yacimientos argentinos pueden considerarse de poca significación en cuanto a sus reservas y leyes si se comparan con otros yacimientos a nivel mundial, pero dado la escasa prospección geológica que se realiza en el país nada puede ser definitivo y la situación puede verse modificada en el futuro.

En el CUADRO N° 3.19. se resume cuales -- son los principales yacimientos de los que se tienen datos de reservas y estas se expresan en toneladas de óxido de tungsteno y del mismo puede inferirse la poca significación de los yacimientos, si se comparan con las cifras que se manejan a nivel mundial. Sin embargo, si se los compara con el consumo nacional, las reservas conocidas satisfacen ampliamente las necesidades del país de este material estratégico.

CUADRO N° 3.19 - PRINCIPALES YACIMIENTOS DE TUNGSTENO EN LA ARGENTINA.					
MINA	UBICACION	MINERAL	RESERVAS (t WO ₃)		Ley %
			Actuales	Totales	
Los Viejos	Catamarca	Wolframita ...	148	968	3
Los Avestruces - Las Asperanzas ...	San Luis	Scheelita y Wolframita ...	650	918	0,5
San Virgilio	Córdoba	Wolframita y Scheelita	378	-	-
Los Condores - El Aguila	San Luis	Wolframita y Scheelita	1.410	6.230	0,5
San Román	San Luis	Wolframita y Scheelita	-	367	-
Arretuítis - Agua Negra	San Juan	Wolframita y Scheelita	1.599	2.200	mena 1,5- desmonte 0,15
Josefina y San Pablo	Mendoza	Wolframita	187	338	0,75
San Martín	Río Negro	Wolframita, Scheelita y Hobnevita	1.573	-	1,3
TOTALES			5.945	11.021	

El total de las reservas alcanza a 11.021 toneladas - 0,13% del total mundial con leyes de menor que van desde 0,5 por ciento hasta 3 por ciento. De este volumen, 5.945 toneladas - el 54 por ciento, se consideran actuales, o sea donde el grado de certeza sobre los valores es mayor.

Desde el punto de vista de las reservas el yacimiento más importante es el de Los Cóndores-El Aguila ubicado a 8 km al sudoeste de Concaran, partido de - Chacabuco en la provincia de San Luis. Esta mina se conoce desde fines del siglo pasado, habiéndose explotado por períodos y en la actualidad cuenta con una planta - de gravitación y flotación de 500 t/día.

El ambiente geológico pertenece a las Sierras pampeanas, constituido por filitas y esquistos micáceos con venillas de cuarzo y pegmatitas.

En cuanto a la morfología del yacimiento - es un sistema de cuatro vetas de hábito lenticular, alojados en esquistos. La veta sur es la de potencia mayor

-entre 0,80 a 1,5 m con una corrida de 600 a 700 m, para las restantes la potencia varía entre 0,40 y 1 m.

La mineralización corresponde a wolframita scheelita que aparece en profundidad, se encuentra también bismutita y en profundidad, pirita, blenda y calcopirita.

Le sigue en importancia el Yacimiento de Arrequintín-Agua Negra, en estas minas se comienzan las labores después de 1940.

El ambiente geológico es de la Cordillera Frontal donde se hallan lutitas y cuarcitas paleozoicas atrevesadas por pilones de pórfidos cuarcíferos, el yacimiento comprende una serie de mantos concordantes con las lutitas y cuarcitas con un espesor medio 0,30 m.

La mineralización es compleja, siendo los minerales primarios, wolframita, scheelita, casiterita, molibdenita, pirita, calcopirita, blenda, arseno pirita, galena y calcosina en ganga de cuarzo.

Además muchos otros pequeños yacimientos, - algunos de los cuales han sido explotados o están en explotación de manera precaria y no se conocen datos concretos de reservas y leyes. En el CUADRO N° 3.20. se listan las minas de mayor interés en las cuales se han realizado algún laboreo, indicándose la ubicación, los minerales de tungsteno presentes, la ley promedio, la producción extraída en tonelada de óxidos concentrado - cuando estos datos se conocen- y longitud de galerías principales y secundarios realizados.

Como puede observarse se trata de pequeñas explotaciones donde, si bien algunas labores sobrepasan los 1.000 metros de galerías, las producciones son pe-queñas. Respecto a este punto de las producciones corresponde aclarar que los volúmenes extraídos fueron calculados en función de la poca información disponible, que es incompleta y desactualizada. Por otro lado, dado la precariedad de las explotaciones, seguramente se han -- realizado extracciones de mineral que no fueron contabilizados, por lo que se puede afirmar que los volúmenes reales, en algunos casos, son superiores a los que figuran en el CUADRO N° 3.20.

CUADRO N° 3.20 - PRINCIPALES YACIMIENTOS DE TUNGSTENO EN LOS QUE SE HAN REALIZADO TRABAJOS DE EXPLOTACION.

M I N A	UBICACION	MINERALIZACIÓN (*)	LEY MEDIA % O ₃ W	PRODUCCION t	GALERIAS
LOS ARBOLES	Catamarca	Wolframita - Scheelita	-	131	1.000
LA BISNUTINA	Córdoba	Wolframita	-	172	700
DTO. AGUA DE RAMON	Córdoba	Scheelita - Wolframita	1	990	s/d
EL SALTO	Córdoba	Scheelita	1 - 1,5	85	s/d
MARIA ALICIA	Córdoba	Scheelita	0,4	1	350
UNION Y S. JUAN BAUTISTA	Córdoba	Scheelita - Wolframita	- 0,5	89	850
LA ENSENADA	Córdoba	Scheelita	-	5	265
GRUPO FISHER	Córdoba	Wolframita	-	73	4.000
PANPA OLAEN	Córdoba	Scheelita	-	24	-
LOS MOGORES	Córdoba	Wolframita	0,94	73	2.600
LADITA	Córdoba	Scheelita	-	10	63
SAN JUAN BOSCO	Córdoba	Scheelita	0,2 - 0,55	34	340
LANBARE	Córdoba	Wolframita	1,5	166	780
LAPUNTANA	San Luis	Wolframita - Scheelita	-	3	10
LA FLORIDA	San Luis	Scheelita - Wolframita	1	19	194
LA IRITA	San Luis	Scheelita	-	149	140
BUEY BLANCO	San Luis	Scheelita	-	16	114
LA ESTANZUELA	San Luis	Scheelita	-	47	130
LA CHIQUITA	San Luis	Scheelita	0,76 - 0,80	4	-
LOS PIQUILLINES	San Luis	Scheelita - Wolframita	0,63 - 0,76	21	45
LABUYI	San Luis	Scheelita	0,90	-	151
EL MORRO N° 1	San Luis	Scheelita - Wolframita	0,55	31	80
EL PESE	San Luis	Scheelita	0,3 - 1,0	125	Ciclo abierto
LA COQUITA	San Luis	Scheelita	0,43 - 2,3	80	-
13 DE AGOSTO	San Luis	Scheelita - Wolframita	0,75 - 1,0	60	15
SAN CAJETANO	San Luis	Scheelita	0,47 - 0,71	17	8
SAN PEDRO	La Rioja	Scheelita - Wolframita	-	33	s/d
EL CHACHO	La Rioja	Wolframita - Scheelita	1,5 - 2	80	1.500
EL CANTADERO	La Rioja	Wolframita	0,6 - 0,7	s/d	s/d

EL ORDEN DE LOS MINERALES SIGNIFICA IMPORTANCIA RELATIVA.

EL ORDEN DE LOS MINERALES SIGNIFICA IMPORTANCIA RELATIVA.

De la observación del cuadro también puede inferirse la poca significación de la ley de los minerales presentes en los distintos yacimientos.

. Tecnologías de extracción, usos e industrialización.

Poco puede decirse de las tecnologías de extracción, pues por las características de los yacimientos y la envergadura de las empresas, pertenecen al grupo de las medianas y pequeñas empresas, los métodos de trabajo son poco sofisticados.

En general, se trata de labores manuales con poca o ninguna mecanización, salvo algunas empresas que cuentan con equipos básicos para el laboreo minero y principalmente para el tramamiento posterior de molenda y concentración.

Existen gran cantidad de pequeños mineros, que explotan en forma precaria y no continuada sus yacimientos, entregando, después de una clasificación manual, los minerales a las plantas de concentración.

Puede decirse que en el país se cumple con las tareas primarias de explotación y concentración, -- siendo el concentrado de tungsteno, con 65 por ciento - de ley mínima, el producto de mayor importancia del proceso industrial, exportándose en su mayoría.

Un pequeño porcentaje se ha industrializado en el país, obteniéndose el metal en bruto (polvo). Desde hace algunos años, las estadísticas reflejan la producción de fenotungsteno en cantidades crecientes.

. Especificaciones.

No existen especificaciones estrictas en - el mercado para los minerales de tungsteno, en general - se fija una ley mínima del 65% O_3W y el precio de una - partida dependerá de la ley determinada para la partida. La presencia de minerales acompañantes cobre, estaño y /o molibdeno pueden afectar las cotizaciones debido a - las complicaciones de los procesos posteriores de purificación del tungsteno.

Para el caso del ferrotungsteno, tampoco -- existen especificaciones rígidas en general el contenido de tungsteno en esta ferro aleación varía entre el 50 y 85 por ciento, dependiendo el precio del grado de la aleación, la ferro aleación más común es de 80-85 por --- ciento de W.

El polvo de tungsteno puro se comercializa con purezas mayores al 98 por ciento 99,5 por ciento -- y genera para el caso de los otros productos (carburos, aleaciones, productos laminados, químicos, etc.) exis - ten especificaciones para cada producto y el precio de comercialización dependerá de varios factores entre los que se pueden mencionar:

- . pureza del compuesto.
- . elementos aleantes.
- . cantidad de trabajo en su elaboración.
- . sofisticación del producto (patentes únicas), etc.

3.2.2. Aspectos de Mercado y Comercialización.

Producción Local.

La producción de minerales de tungsteno ha estado supeditada en gran medida a la cotización internacional ya que la mayoría de las minas se ha trabajado a escala reducida de muchos pobladores de las regiones mineras. La gran demanda y elevado precio han representado en el ámbito interno, es así que en el año 1943 se produjeron 2.181 toneladas de mineral de 65 por ciento de O_3W aproximadamente. El cuadro 3.21 se muestra la producción total de óxido de tungsteno del país para la década 1936 a 1945, período que fue el más importante en cuanto al volumen de producción de concentrados. El total de la producción de ese lapso fue de 13.430 toneladas que representa 1.340 toneladas por año de promedio.

A partir del año 1947 la producción cae sensiblemente y en el período 1946-1965 (20 años) se produjeron alrededor de 9.700 toneladas lo que representó un promedio anual de 485 toneladas de mineral de tungsteno.

En el Cuadro 3.22 se muestra cual ha sido la producción de mineral concentrado en los últimos 15 años en todo el país; como puede observarse la producción ha sido continuada en descenso, el promedio para el período es de 193,5 toneladas por año alcanzándose las 2.903,4 toneladas de concentrados como producción total para los quince años. El máximo producido en el período fue de 359,6 toneladas en el año 1968.

Si se analiza la producción en el período 1976-1980, que coincide con elevados precios para el tungsteno en el mercado internacional puede concluirse que ni siquiera esta situación favorable de precios logró revertir la tendencia declinante de la producción nacional de concentrados de tungsteno seguramente debido a la política económica vigente durante ese período que por el tipo de cambio impidió la presencia del mineral argentino en el mercado internacional.

CUADRO N° 3.21 - PRODUCCION DE MINERAL DE TUNGSTENO
(65% O₃W) DURANTE EL PERIODO 1936-
1946. (En toneladas).

AÑO	PRODUCCION O ₃ W (t)
1936	655
1937	764
1938	1.054
1939	1.154
1940	1.250
1941	1.563
1942	1.923
1943	2.181
1944	1.916
1945	970
TOTAL	13.430

CUADRO N° 3.22 - PRODUCCION DE MINERAL DE TUNGSTENO -
(65 O₃W) DURANTE EL PERIODO 1966-1980
(En toneladas).

AÑO	PRODUCCION (t)
1966	130,7
1967	204,0
1968	359,6
1969	281,9
1970	280,1
1971	262,8
1972	300,7
1973	160,0
1974	181,4
1975	109,1
1976	117,8
1977	134,8
1978	187,4
1979	114,7
1980	78,4
T O T A L	2.903,4

Mercado interno.

Debido a la carencia de datos estadísticos no se puede precisar el consumo interno de tungsteno; sólo se puede concluir en conceptos que marcan algunas pautas sobre el consumo nacional.

- Las estadísticas nacionales no registran importación de mineral de tungsteno, (posición 26.01.12.00.00 de la nomenclatura arancelaria y derechos de importación NADI).
- Si se registra importación de productos elaborados de tungsteno, posición 81.01.02.00.00 de la NADI "Volframio manufacturado" discriminados según 81.01.02.00.01 "filamentos de menos de 1 mm" y 81.01.02.00.03 "barras varillas y alambres de más de 1 mm".
- Se conoce el consumo nacional de ferrotungsteno y la producción nacional.

- Se conocen las exportaciones de concentrados de tungsteno.
- Las exportaciones de tungsteno como metal en bruto, alcanzan a unos pocos kilogramos durante el período 1971-1979, exportados a los países latinoamericanos, (Bolivia, Uruguay, Perú, Brasil y Chile) y que por su valor FOB no alcanzan ninguna relevancia.

En función de la información estadística disponible se ha confeccionado el CUADRO N° 3.23, que indica para la Argentina la producción y exportación de mineral de tungsteno, como mineral y como tungsteno contenido, durante el período 1970-1979 habiéndose calculado también la perspectiva entre la producción y la exportación.

El CUADRO N° 3.24. muestra las importaciones de productos elaborados de tungsteno (filamentos y barras) y de ferrotungsteno, también se indica la escasa producción nacional de ferrotungsteno y el consumo en la industria siderúrgica (producción de acero) durante el período 1970-1980.

CUADRO N° 3.23 - PRODUCCION Y EXPORTACION DE MINERAL DE TUNGSTENO, EN TONELADAS DE MINERAL Y DE TUNGSTENO NO CONTENIDO.						
A Ñ O S	(1) PRODUCCION NACIONAL			(2) EXPORTACIONES		
	Mineral	Contenido W	Mineral	Contenido W	Mineral	Contenido W
1970	280,1	144,2	213,1	107,7	67,0	36,5
1971	262,8	135,3	192,3	99,0	70,5	36,3
1972	300,7	154,9	207,5	106,9	93,2	48,0
1973	160,0	82,4	65,6	33,8	94,4	48,6
1974	181,4	93,3	21,8	11,2	159,6	82,1
1975	109,1	56,2	-	-	109,1	56,2
1976	117,8	60,7	-	-	117,8	60,7
1977	134,8	69,4	-	-	134,8	69,4
1978	187,4	96,5	-	-	187,4	96,5
1979	114,7	59,1	-	-	114,7	59,1
TOTAL.	1.848,8	952,0	700,3	358,6	1.148,5	593,4

CUADRO N° 3.24 - IMPORTACIONES DE PRODUCTOS ELABORADOS DE TUNGSTENO, PRODUCCION NACIONAL y CONSUMO DE FERROTUNGSTENO. (En toneladas).

AÑOS	IMPORTACIONES DE FILAMENTOS Y BARRAS DE TUNGSTENO	PRODUCCION NACIONAL DE FERROTUNGSTENO	CONSUMO DE FERROTUNGSTENO *
1970	4,5	-	56
1971	9,5	-	15
1972	5,6	-	87
1973	7,3	-	42
1974	7,4	-	40
1975	8,4	1	3
1976	6,9	-	44
1977	120,1	4	60
1978	6,3	46	7
1979 **	30,4	92	37
1980	6,6	17	4
TOTAL	213,0	160	395

(*): Son valores correspondientes a material recibido en plantas de producción de aceros.

(**): En el año 1979 se importaron 6 toneladas de ferrotungsteno.

Del análisis de los cuadros se deduce -- que existe en el país un consumo de mineral concentrado de tungsteno del orden de las 60t/año (valor promedio de la década de 1970) que ha tenido un crecimiento de -- alrededor de 62 por ciento en la década y este creci -- miento salvo los años 1975 y 1979 ha sido continuado.

Llama la atención la carencia de exporta -- ciones de mineral a partir de 1975, esto seguramente -- fue debido a las razones de política económica ya expre -- sados en el punto anterior.

En el CUADRO N° 3.24, se indica que el -- consumo de filamentos y barras en el país --excluyendo -- los años 1977 y 1979- es menor a las 10 toneladas por -- año. En los años 1977 y 1979 las importaciones alcanza -- ron a 120,1 toneladas y 30,4 toneladas; valores atípi -- cos por lo que no se los tiene en cuenta en la conside -- ración realizada.

Hasta el año 1977 el ferrotungsteno, por la escasa producción nacional, ha sido importado pero --

3.3. AMBITO PROVINCIAL

3.3.1. Actividad extractiva.

Existen en la provincia de Catamarca más de 60 manifestaciones de wolframio declaradas. En su totalidad no tienen realizadas las tareas de prospección geológica que permitan afirmar la real significación de los yacimientos, sólo unos pocos han sufrido tareas de explotación sobre todo en la década de 1940 durante el auge de la exportación del mineral de tungsteno. Hoy en día prácticamente no se realiza ninguna explotación racional y continua y la producción se reduce a unos pocos kgs extraídos en forma precaria.

Entre los yacimientos de mayor significación merecen mencionarse:

- . San Antonio en la ladera de "Las Mulas" del cerro San Antonio, entre 1700 y 1800 m sobre el nivel del mar, al sudoeste de la localidad de Londres (22 km). La región está constituida por un cuerpo de granito intrusivo en esquistos filíticos y cuarcíticos. Las vetas

por no tener durante ese período una posición arancelaria específica no se lo ha podido detectar en el registro de importaciones. De todas formas el consumo en la industria de producción de acero es el más importante -- por lo que las importaciones no pueden diferir mucho de las recepciones en planta. Este consumo presenta muchas variaciones año a año y es debido fundamentalmente, a -- los stocks que se deben crear para solucionar los pro -- blemas de abastecimientos que se presentan cuando se -- trata de insumos importados.

El consumo anual promedio es de 36 toneladas aproximadamente que representa 0,015 kg por tonelada de acero. A partir del año 1978 la producción nacional se afirma y en las condiciones actuales puede -- abastecer a la industria siderúrgica nacional.

mineralizadas se encuentran casi únicamente en el grnito.

El yacimiento está representado por más - de 50 vetas situadas en un cuadrado de 500 m de lado.- Se hallan en fisuras bien definidas de pocos cm de espesor, llegando ocasionalmente a 1m. de potencia, siendo portadores de wolframita. Los filones a veces se cortan dando lugar a concentraciones apreciables de wolframita. La verdadera extensión y profundidad de los filones no es conocida, habiéndose explotado algunos de ellos hasta 60m.- En el material de relleno suele encontrarse cuarzo de wolframita de hasta 250 kgs y también se la encuentra diseminada.

El tenor de WO_3 en las vetas no ha sido - establecido, alguien la calculó en 8 por ciento. En el año 1942 el mineral extraído puesto en la planta de con-centración acusó 3.290 de OW_3 , en general se trata de -- trechos ricos seguidos por otros totalmente estériles.

Este yacimiento es el más importante, en cuanto a wolframita se refiere, y durante su mejor pe-

ríodo de explotación (1936-1941) se realizaron numerosas labores que alcanzan un desarrollo de 2.000 m.

Los Arboles, situado en el paraje La Agua dita a 50 km al noreste de Tinogasta y a una altura de 2.300 m. sobre el nivel del mar, es un yacimiento de --- tres vetas principales más o menos paralelas que poseen una potencia de 15 a 70 cm., la mineralización es wolframita diseminada en ganga flurítica. Su ley es relativa - mente baja aunque en teoría no ha sido bien precisada.- Existen trabajos de laboreo minero con 8 niveles abier - tos en las tres vetas, pero sin ninguna planificación.

Los Viejos, situada en el departamento de Tinogasta a 10 km al oeste de Fiambalá. El yacimiento se halla en la parte alta de la sierra de Fiambalá (3000 m. sobre el nivel del mar) y se trata de una veta de wolframita intercalada en granito y aflora por más de 1000m, - su espesor medio es de 15 cm. variando desde algunos cen - tímicos hasta 40 cm. Esta mina fue la más explotada y sus labores sobrepasan los 2.000 m. en la actualidad par - te de las galerías se han derrumbado.

Tres Sargentos, mina de wolframita situada a 25 km al noreste de Tinogasta y a una altura de -- 2.300 m. aproximadamente. Ubicada en el extremo sur de la sierra de Fiambalá. Consiste de una veta principal con una potencia que varía entre 10 y 30 cm y de variables de menor importancia con potencias de 5-10 cm.

La mineralización es cuarzo, mica y wolframita, estando esta diseminada en el cuarzo o en asociaciones de cristales tabulares sobre las fajas de mica. Esta mina también fue explotada en 1940-1944 habiéndose desarrollado más de 400 m. de galerías.

Andacolla, situada entre las quebradas de Agua de los Mineros y Andacolla a una altura de 2.000 m sobre el nivel del mar. El yacimiento consiste en un sistema de tres vetas con mineralización de wolframita y potencia que oscila entre 10 y 30 cm. La wolframita se presenta en filones constituyendo a veces concentraciones locales ricas en mineral. También fue explotada en el transcurso de la segunda guerra mundial.

Con la información disponible se ha confeccionado el CUADRO N° 3.25. que muestra la producción total de concentrados de tungsteno de la provincia de - Catamarca entre los años 1966 y 1980.

La producción total de los 15 años considerados alcanza a 7.847 toneladas de mineral concentrado que representa el 2.7 por ciento de la producción -- global del país en el mismo período. El pico de producción corresponde al año 1968 con 15,7 toneladas. En el país también se produjo el máximo del período en el mismo año.

Hasta el año 1976 la producción promedio es de alrededor de 6 toneladas por año cayendo sensiblemente en los últimos años, la producción de 1980 fue de media tonelada.

. Aspectos económicos.

Por lo ya expresado es muy difícil poder afirmar cual es el verdadero significado económico de -

CUADRO N° 3.25 - PRODUCCION DE CONCENTRADOS DE TUNGSTENO
DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA.
(En toneladas).

AÑO	PRODUCCION (t)
1966	4,9
1967	7,0
1968	15,7
1969	7,7
1970	5,0
1971	5,0
1972	3,0
1973	4,9
1974	5,1
1975	3,1
1976	8,57
1977	1,97
1978	5,6
1979	0,43
1980	0,5
TOTAL	78,47

sus yacimientos de tungsteno para la provincia. Por la información que se posee estos no adquieren relevancia, pero si puede esperarse que mediante estudios sistemáticos de prospección la situación pueda ser modificada en el futuro.

3.4. CONCLUSIONES.

El tungsteno, material considerado por los países desarrollados, como estratégico, no abunda en el mundo; sólo unos pocos países poseen reservas de importancia y son los abastecedores mundiales del metal. De acuerdo a los datos de reserva, explotación y consumo, aquellos alcanzarían a satisfacer las necesidades mundiales hasta fines de siglo.

Las aplicaciones de tungsteno son múltiples y de crecimiento sostenido y en algunos de ellos no existen sustitutos, por lo que no se espera que su demanda decaiga, lo que conduce a que las principales potencias tengan especial interés en controlar el mercado mundial del tungsteno.

En cuanto a la Argentina, sus reservas no son importantes comparadas con las mundiales, pero como el consumo nacional es pequeño, los recursos totales del país satisfacen las necesidades holgadamente.

A pesar de que los yacimientos conocidos son pequeños y de bajas leyes, pero dada la diversidad de manifestaciones, se puede vislumbrar que, desarrollando un plan coherente de prospección geológica el panorama nacional del tungsteno puede variar en el mediano plazo.

Desde el punto de vista de la provincia, los yacimientos no son de real significación, aunque algunos fueron o están en explotación, su producción no es pequeña, pero cabe lo expresado en el párrafo anterior, debido a las manifestaciones existentes en la provincia se debería dedicar algún esfuerzo en la prospección minera para saber con certeza las reservas que posee la provincia.

4 - LITIO.

4.1. AMBITO INTERNACIONAL.

4.1.1. Aspectos Industriales y Tecnológicos.

Definiciones.

El litio es el más liviano de los metales, siendo su densidad de solamente $0,53 \text{ g/cm}^3$. Es blanco - argentino, más duro que el sodio, se enmohece al aire, - aunque menos fácilmente que otros metales alcalinos, y - descompone el agua con desprendimiento de hidrógeno.

Este elemento, de la familia de los metales alcalinos, se encuentra presente en la corteza terrestre en una proporción de 20 a 23 ppm, resultando así más abundante que el plomo, el cobalto y el mercurio. Fue - descubierto por J.A. Arfwedson, químico sueco, en 1817, - al analizar una muestra de mineral petalita. Berzelio - lo denominó lithion, del griego "lithos" (piedra), porque se pensó inicialmente que el litio solamente se hallaba en el reino mineral, pero se verificó luego que se encuentra en las cenizas de las plantas.

En 1886 se inició en Francia la producción de ambligonita proveniente de la región de Montebrás. Es te país mantuvo su liderazgo mundial hasta 1900, cuando los EE.UU. pasaron a dominar el mercado internacional de minerales de litio. La primera producción comercial en los EE.UU. fue en 1898, con la extracción de 30 tn de es podumeno. Ya en 1901 se inició en dicho país la manufac tura de compuestos químicos del litio.

La producción mundial de compuestos de litio fue creciendo lentamente y se revitalizó a comienzos de la década del 40 cuando se patentaron, en Alemania y los EE.UU. simultáneamente, las grasas a base de litio, que presentan una viscosidad muy estable en un rango de temperaturas entre -50°C y 150°C y son resistentes al -- agua. También, durante la 2da. Guerra Mundial, los re- querimientos bélicos provocaron un gran aumento de la de manda, que decayó una vez finalizada la contienda.

Posteriormente, en la década del 50, las - grandes compras por parte de la Comisión de Energía Ató- mica de los EE.UU. del hidróxido de litio para la fabri- cación de bombas de hidrógeno, dio nuevo impulso a la in

dustria del litio. Actualmente los usos principales de los minerales y compuestos de litio están concentrados en las industrias del aluminio, la cerámica, el vidrio, los lubricantes y el caucho sintético, mientras que la fabricación de baterías de gran capacidad y el desarrollo de la fusión nuclear controlada se proyectan como los grandes demandantes del futuro.

Las fuentes de obtención de litio no son muy variadas y tampoco están muy difundidas en el mundo. Hasta el presente este elemento y sus compuestos se -- obtienen de dos maneras, a partir de minerales silicatos, presentes en pegmatitas, y a partir de salmueras -- extraídas mediante bombeo del subsuelo de lagos salados.

Las pegmatitas litíferas son las materias primas más utilizadas mundialmente para la obtención de compuestos de litio. Son rocas ígneas cuyos constituyentes más comunes son cuarzo, feldespato y mica, pero en ciertas áreas se encuentran también presentes minerales de litio, siendo los más importantes tres alúmino-silicatos: espodumeno, petalita y lepidolita.

Grados y especificaciones.

El espodumeno, que es el más abundante, - contiene generalmente impurezas siendo invariablemente acompañado por cuarzo, y generalmente por feldespatos. En los depósitos explotables el espodumeno constituye entre el 15 y 25 por ciento de la roca, y la ley de corte para una operación económica es generalmente del 1% Li_2O (equivalente a 0,46 % Li). Este mineral es el más importante del grupo también por su utilización directa como mineral concentrado y no solamente para la obtención de compuestos químicos del litio.

Los grados generalmente disponibles del espodumeno comercial, son el químico, para la producción de carbonato, con un contenido de óxido férrico de aproximadamente 2 por ciento (1,5 - 3,0% Fe_2O_3) y 2,8 por ciento de litio (5,5 - 6,5% Li_2O); el cerámico normal con aproximadamente 1 por ciento Fe_2O_3 (los tipos mejores contienen 0,7% Fe_2O_3) y 3,0 por ciento de litio (6,5 - 6,8% Li_2O), y el cerámico especial de bajo hierro, con alrededor de 0,1 por ciento Fe_2O_3 (máximo 0,15%) y 3,2 -

por ciento de litio (hasta 7,5% Li_2O). Todos estos grados se presentan en polvo, conteniendo espodumeno alfa. Este material experimenta un cambio irreversible de su estructura cristalina, del sistema monoclinico al triclinico, cuando se lo calienta a 1000°C . El espodumeno beta resultante posee un coeficiente de expansión térmica muy inferior y se obtiene comercialmente en la misma pureza de los grados cerámicos alfa.

La lepidolita es una mica rica en litio, que además contiene porcentajes significativos de flúor (2 a 4%), que aumenta el poder fundente del litio, haciéndola así muy útil en ciertas composiciones de vidrios y esmaltes especiales. Por ejemplo, es muy utilizada como fuente de litio para la fabricación del vidrio para tubos de T.V. en blanco y negro. Además la lepidolita contiene rubidio y generalmente se encuentra asociada con la polucita, mineral de cesio, de hecho resulta prácticamente la única fuente de obtención de estos elementos.-- La lepidolita abunda en Zimbabwe y Namibia, también se explota en Portugal y Brasil.

La petalita de Zimbabwe, por su bajísimo - contenido de hierro ($0,03\% \text{Fe}_2\text{O}_3$), fue durante muchos -- años el principal mineral de litio utilizado por las industrias del vidrio y la cerámica vítrea. Este mineral no experimenta cambios de volumen cuando se calienta, - transformándose en espodumeno beta.

Otro mineral de litio relativamente importante es la ambligonita, fluor-fosfato de aluminio y litio, ampliamente distribuida en pegmatitas pero que muy difícilmente llega a formar un 10 por ciento de un depósito de tamaño razonable. Es muy deseable como fuente - de litio por su elevado contenido en este elemento, y -- también porque puede utilizarse para la obtención simultánea de sales de litio, fosfato sódico y otros compuestos químicos, como se realiza en Brasil.

En general, revisten poca importancia como minerales de litio la eucryptita, producto de alteración del espodumeno, solamente explotada en Bikita, Zimbabwe, la zinnwaldita y la trifilina-litiofilita, encontrada es ta última como mineral accesorio en algunas pegmatitas de nuestro país.

En el Cuadro N°4.1 se indican las fórmulas teóricas de los mencionados minerales y los contenidos habituales de litio en los productos comerciales. Como complemento de las características y especificaciones -- mencionadas anteriormente, pueden citarse las especificaciones establecidas en el mercado del Brasil para los -- cuatro minerales principales del litio, de los cuales dicho país es un productor mediano:

- . Espodumeno: 6-6,5% Li_2O
 máximo 0,5 % Fe_2O_3
- . Petalita: 3,5-4% Li_2O
 máximo 0,5% Fe_2O_3
- . Lepidolita: 2,5 - 3% Li_2O
 máximo 0,5% Fe_2O_3
- . Ambligonita: 8 - 8,5% Li_2O
 máximo 0,5% Fe_2O_3
- . Ambligonita para uso químico:
 Li_2O mínimo 7%
 P_2O_5 mínimo 42%
 Al_2O_3 mínimo 29%
 SiO_2 máximo 6%
 Impurezas máximo 3%

CUADRO N° 4.1 - MINERALES DE LITIO MAS COMUNES.			
NOMBRE	Fórmula química	% Li según fórmula	% Li en productos comerciales
Espejumenno	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	3,75	1,4 - 3,6
Petalita	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$	2,27	0,9 - 2,2
Lepidolita	$\text{KLi}_2 \text{Al Si}_4 \text{O}_{10} \text{F}_2 *$	3,56	1,4 - 2,1
Ambligonita	$\text{LiAl} (\text{PO}_4) (\text{F}, \text{OH})$	4,73	3,0 - 4,6
Eucryptita	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$	4,42	2,5 - 3,0
* : Fórmula de uno de los componentes de los cristales mixtos, la politionita, ya que también están presentes la biotita y la muscovita.			

Se verifica que una de las preocupaciones permanentes en cuanto a la calidad de estos minerales es su contenido de hierro.

En los minerales es usual dar el contenido de litio como óxido, Li_2O (o también como Li), mientras que en los productos químicos la costumbre es referirse al -equivalente en carbonato (Li_2CO_3), principalmente para -medir producciones y capacidades.

El carbonato de litio se vende en polvo o en pelets, embolsado, con un contenido de +99% Li_2CO_3) es un compuesto muy poco soluble en agua y estable térmicamente hasta los 600°C . Es casi siempre la materia prima inicial para la obtención del resto de los compuestos --químicos del litio.

El hidróxido de litio monohidratado es --actualmente el segundo compuesto del litio en cuanto a --su importancia. Se comercializa en polvo, generalmente pasando malla 20 o malla 100, es razonablemente estable en aire, pero pierde su agua de hidratación calentándolo

a 100°C. El hidróxido anhidro se prepara en forma granular, con una gran superficie específica, y absorbe anhídrido carbónico de la atmósfera muy rápidamente.

El metal se obtiene en dos calidades, una corriente, con 99,8 por ciento de litio, y otra de muy bajo contenido de sodio, del orden de 0,005 por ciento o menor. Puede adquirirse en forma de alambre, cintas, -- lingotes, cilindros, perdigones o polvo. Este último en forma de pasta dispersada en algún aceite mineral, el -- resto puede ir también cubierto con derivados de petróleo o envasado en latas herméticamente cerradas, para -- evitar su oxidación y la reacción con el nitrógeno del -- aire.

Los halogenuros de alquilo, como el cloruro de n-butilo, reaccionan directamente en solución etérea o bencénica con el litio formando los compuestos organometálicos correspondientes, como el butillitio. Estos compuestos poseen una unión covalente más fuerte que las correspondientes combinaciones con el sodio y son -- por lo tanto solubles en hidrocarburos, lo que permite --

utilizarlos como catalizadores estereoespecíficos en la polimerización de isopreno, estireno y butadieno. El litio también reacciona con compuestos acetilénicos, -- formando acetiluros de litio, los cuales son necesarios en la síntesis de la vitamina A. Otros compuestos orgánicos importantes del litio son el estearato, el acetato, el formiato y la amida.

En el Cuadro N° 4.2 se dan las fórmulas de los compuestos más usuales del litio. Otros productos inorgánicos menos utilizados son el borato, el fluoruro, el ioduro, el nitrato, el perclorato, el peróxido, el silicato, el sulfato, el cromato, el molibdato, el aluminato, el titanato y el zirconato.

Usos.

Los usos del litio, sus compuestos y sus minerales, en bruto o concentrados, son muy variados y se encuentran distribuidos en los más diversos mercados: industrias de la cerámica y el vidrio, industria metalúrgica, petroquímica, farmacéutica, electrónica, nuclear

CUADRO N° 4.2. - COMPUESTOS QUÍMICOS MÁS USADOS.		
NOMBRE	Fórmula Química	Contenido Teórico de Li (%)
Carbonato	Li_2CO_3	18,8
Hidróxido monohidrato	$\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	16,5
Cloruro	LiCl	16,3
Bromuro	LiBr	8,0
Metal	Li	100,0
Butillitio	$\text{C}_4\text{H Li}$	10,83
Estearato	$\text{Li C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2$	2,39
Hipoclorito	Li O Cl	11,89
Hidruro	Li H	8,

etc. Debe tenerse en cuenta además, que muchas de las potenciales aplicaciones no se han desarrollado aún plenamente.

Aparte de la producción de los compuestos químicos y el metal, los minerales de litio tienen numerosas aplicaciones directas. Aproximadamente un 20 por ciento de la producción mundial de estos minerales es utilizada en la fabricación de vidrios especiales, vidrios cerámicos, esmaltes vitrificables para cerámica y enlozados para acero porcelanizado, fritas, cerámica blanca, principalmente vajilla para cocinar y servir, y refractarios.

Las ventajas de las adiciones de litio en la fabricación de vidrio incluyen la reducción de la viscosidad, de la temperatura de fusión y de la expansión térmica, y aumentos en la densidad, la resistencia química y en la dureza superficial, con mejoras en las propiedades eléctricas. Así se utilizan los minerales de litio en vidrios de alta resistencia a los choques térmicos, como los empleados en la fabricación de lentes especiales, unidades selladas para faros de automotores

y material de laboratorio. Por sus propiedades químicas y eléctricas se utilizan vidrios con litio para electrodos y para capacitores, donde sustituyen a la mica como dieléctrico. En la fabricación de vidrios ópticos con alto contenido de bario, para tubos monocromáticos de televisión, y también para aparatos de transmisión ultravioleta, el uso de minerales de litio, como fundentes, es indispensable, empleándose el espodumeno concentrado o la lepidolita. La producción de vidrios opales, de espuma de vidrio y de fibra de vidrio también requieren cantidades crecientes de litio. Asimismo se agrega litio a la composición de vidrio para fundir grandes espejos para telescopios, ya que permite que éstos soporten los prolongados procesos de templado requeridos para la eliminación de tensiones internas. Una aplicación exclusiva del litio es en los vidrios fotocromáticos para lentes para sol. El ión litio en combinación con un haluro de plata colorea el vidrio, en forma reversible, - bajo la acción de la luz ultravioleta. Estos vidrios - llevan 12,5 por ciento de Li_2O , 0,03 por ciento de plata y otro tanto de oro.

Los vidrios cerámicos son materiales -- cristalinos, no porosos, derivados de vidrios, no crist

linos, que contienen agentes de nucleación (desvitrificantes), los cuales al ser calentados en forma controlada actúan como centros de crecimiento de cristales. Estas formulaciones, de gran resistencia a las fluctuaciones bruscas de temperatura, alta conductividad térmica y elevada resistencia a la abrasión, requieren la utilización de minerales de litio de excelente calidad.

Las propiedades de los vidrios debidas al uso del litio también se pueden impartir a los esmaltes para vitrificación y enlozados, utilizados como decoración y como revestimientos anticorrosivos sobre metales, incluso en intercambiadores de calor. Con la tendencia a eliminar el óxido de plomo de las fritas y vidriados debido a su toxicidad, ha habido un continuado crecimiento del empleo del litio en su fabricación, ya que por el menor punto de fusión y la baja viscosidad obtenida se logra mayor brillo, lustre y lisura superficial.

El problema de lograr fritas de muy bajo coeficiente de dilatación, que permitan la monococión rápida de productos cerámicos, se ve solucionado más fá

cilmente con el uso de petálita. En porcelana eléctrica la introducción de litio aumenta la resistencia a la meteorización. También se utiliza abundantemente este mineral, sobre todo en Japón, en la fabricación de vajilla para horno.

Finalmente, también se agrega espodumeno a ciertos refractarios y en piezas de soporte de cocción.

Estimaciones de 1976 llevaban la demanda de los países occidentales para los minerales de litio a ser utilizados en forma directa, a unas 8000-12000 tn. de lepidolita, a 40.000-50.000 tn de petalita y/o espodumeno, principalmente de bajo contenido de hierro, y a algunos cientos de toneladas de ambligonita. Pueden -- además usarse mezclas de minerales intercrecidos, principalmente espodumeno y cuarzo, con una composición química similar a la petalita, conteniendo 4,5 por ciento Li_2O (en vez de 6-7% como un buen espodumeno), siempre que posean un bajo contenido de hierro. Esto ofrece -- una perspectiva interesante para el aprovechamiento de ciertas pegmatitas.

Con respecto a los compuestos principales del litio y al metal, sus usos más significativos - se indican a continuación, sin que este listado pretenda ser exhaustivo.

El carbonato es el más importante de todos los compuestos. La elaboración de aluminio primario consume más del 30 por ciento de la producción mundial de esta sal que se agrega en un 3,5 por ciento al electrolito con objeto de bajar la temperatura de electrólisis, disminuir la viscosidad del baño, reducir la emisión de productos fluorados, como consecuencia de la -- disminución de la temperatura, y mejorar la eficiencia de la corriente eléctrica. La utilización de litio para este fin se inició en 1960. El consumo específico actual se estima en 4,6 kg de carbonato por tonelada de aluminio.

Cuando no se dispone de los minerales de litio en las calidades adecuadas para los usos mencionados anteriormente en cerámica y vidrio, se utiliza también el carbonato como fuente de litio exenta de impurezas, si bien más costosa.

En los países desarrollados, el 55 por ciento de las grasas lubricantes contienen estearato de litio, en cuya preparación se utiliza hidróxido de litio hidratado. Estas grasas llevan aproximadamente 10 por ciento de estearato, ó 0,2 por ciento de litio (0,13% a 0,25%). Con el aditamento de litio a las grasas se logra que las mismas sean resistentes al agua y utilizables adecuadamente a temperaturas entre -50°C y 150°C . Los estearatos de litio han reemplazado a los estearatos sódicos, cálcicos y de aluminio y las grasas líticas se han impuesto en casi todos los equipos de transporte y máquinas herramientas especiales. Se usa también en todos los aceites denominados "multigrado".

El hidróxido de litio se adiciona en pequeñas cantidades al electrolito en baterías alcalinas de níquel-hierro y níquel-cadmio para aumentar su capacidad y prolongar la vida.

El bromuro de litio en solución reemplaza con ventajas al amoníaco y al freón en sistemas de gran tamaño para refrigeración y acondicionamiento de

aire domiciliario, en escuelas, hospitales, etc. El cloruro de litio tiene su principal aplicación en el acondicionamiento de la humedad, en la industria farmacéutica, barcos, salas de cirugía y cervecerías. Este compuesto es también usado como decapante y fundente en soldadura de aluminio. Además es la materia prima para producir el litio metálico, por electrólisis.

El uso del litio metálico, es aún bajo mundialmente, del orden de los cientos de toneladas anuales. Sin embargo, las perspectivas indican que existen mercados potenciales que dependen de evoluciones tecnológicas en pleno desarrollo.

La utilización del litio en los ánodos de baterías primarias (no recargables) es ya popular para calculadoras, marcapasos, aparatos auditivos, relojes, etc., y se ensayan actualmente acumuladores a base de litio para automóviles eléctricos con mayor capacidad, autonomía y duración que los disponibles hoy en día.

Además, el litio metálico se utiliza como aleante en ligas de aluminio, magnesio y plomo. La tecnología aeroespacial ha introducido en los últimos años el uso de aleaciones de Al-Li y Al-Li-Mg que ofrecen características mecánicas semejantes a las aleaciones de aluminio normalmente usadas en estructuras altamente exigidas, teniendo en cambio la ventaja de su menor peso específico (2,46 y 2,7 respectivamente). En EE.UU. se ha desarrollado y usado en aviones supersónicos (recubrimiento de ala y estabilizadores horizontales) la aleación X2020 con un contenido de 4,5 por ciento de Cu; 1,1 por ciento de Li; 0,5 por ciento Mn y 0,2 por ciento de Cd.

También las aleaciones de magnesio, que poseen baja densidad (1,35 g/cm³), se utilizan en la industria aeroespacial y en la de vehículos militares. La importancia de todas estas aleaciones quedó evidenciada en la "Primera Conferencia Internacional Aluminio-Litio" celebrada en el año 1980 en los EE.UU. propiciada por la Fuerza Aérea de dicho país.

Una aleación de litio y plomo se utiliza como metal de cojinetes y para cubiertas de cables; una

aleación de cinc con aluminio y litio tiene propiedades mecánicas parecidas a la fundición de acero; la aleación de litio con calcio se usa para purificar el cobre de alta conductividad. La Unión Soviética parece haber desarrollado numerosas aleaciones conteniendo litio, además de las con aluminio y magnesio, otras con plata, boro, - silicio, indio, etc.

Un uso importante del litio es la producción, a partir del metal, de catalizadores de procesos químicos. Entre los de mayor uso se pueden citar los empleados en la producción de elastómeros sintéticos como el butadieno, isopreno y estireno para la fabricación de cubiertas y cámaras de uso en el transporte. Este rubro ocupa el primer lugar en la utilización del metal -- que es la materia prima para la preparación del butil-litio.

Otros compuestos orgánicos del litio se emplean como intermediarios en la manufactura de tranquilizantes, vitamina A, anticonceptivos y antihistamínicos.

A título de ejemplo en los Cuadros N°s. 4.3 y 4.4 se resumen los consumos mundiales estimados - de compuestos de litio (están excluidos los minerales), calculados como carbonato de litio, por países y por - tipo de mercado.

Usos futuros.

Para concluir con el tema de los usos del litio debe señalarse que a raíz de la crisis energética, que ha afectado a prácticamente todo el mundo en los últimos años, el litio ha adquirido súbitamente una gran - importancia estratégica. Es el metal con mayor potencial de oxidación-reducción y en esta propiedad se basa su -- aplicación en la construcción de superacumuladores livianos, utilizables en la propulsión de vehículos eléctri--cos y en la acumulación de energía eléctrica de base para emplear en las horas pico. Además, constituye la materia prima fundamental de uno de los combustibles de -- los reactores de fusión, que están en fase de desarrollo experimental y prevista su operación para el próximo si--glo.

CUADRO N° 4.3 - ESTIMACION DEL CONSUMO MUNDIAL DE LITIO (toneladas métricas de carbonato de litio equivalente)						
PAISES	1971	1972	1973	1974	1975	1976
EE.UU.	8.775	11.700	13.730	14.400	12.600	13.770
Europa Occidental	3.150	2.700	3.150	3.285	2.700	2.925
Japón	900	900	1.800	1.620	1.350	1.440
Unión Soviética	450	450	2.700	3.600	3.600	3.600
Otros	540	450	900	1.125	1.350	1.575
TOTAL	13.815	16.650	22.275	24.030	21.600	23.310

CUADRO N° 4.4 - ESTIMACION DEL CONSUMO DE LITIO SEGUN DESTINO FINAL EN 1976. (toneladas métricas de carbonato de litio equivalente)						
I T E M S	EE.UU.	Europa Occidental	Japón	Unión Soviética	Resto del mundo	TOTAL
Producción de aluminio	6.750	720	180	1.080	180	8.910
Cerámica y vidrio	4.230	720	405	540	450	6.345
Lubricantes	1.260	720	270	900	450	3.600
Acondicionamiento de aire	630	180	270	270	270	1.620
Cauchos sintéticos	540	360	225	450	180	1.755
Otros usos	360	225	90	360	45	1.080
T O T A L	13.770	2.925	1.440	3.600	1.575	23.310

Los sistemas más avanzados de acumuladores y baterías, que comenzarían a ser utilizados en --- 1985, son los de litio-aluminio/sulfuro metálico, y los de litio-agua-aire, cuyo éxito y difusión provocarán -- una gran demanda de litio. Se han realizado estimaciones del consumo acumulado de litio según varias alternativas de duración y grado de reciclaje del litio, para los superacumuladores y las baterías de gran potencia -- específica, juntamente con las baterías para vehículos eléctricos, llegándose a cifras del orden de las 800000 a 900,000 t solamente para los EE.UU. y hasta el año -- 2000. Para el resto del mundo no existen proyecciones de la demanda en estas aplicaciones pero es evidente -- que, desarrollada la tecnología en los EE.UU., se podría difundir rápidamente a otros países, y las necesidades mundiales de litio llegar a ser mucho mayores.

Por otra parte, como ya se mencionara, el litio está señalado como el metal del futuro en el campo de la generación eléctrica termo-nuclear en los reactores de fusión. La fusión nuclear es considerada una de las soluciones más atractivas para el problema del -- suministro energético mundial por razones de seguridad

natural del proceso y de costo, y por resultar un proceso no contaminante. El desarrollo de esta tecnología, que se prevé en operación comercial entre los años 2015 y 2025 provocará también una importante demanda de litio, difícil de cuantificar en este momento porque dependerá en gran parte del diseño que finalmente se adopte para el reactor.

Todo esto está demostrando la enorme importancia estratégica que adquirirá el litio en las próximas décadas.

Reservas y Recursos.

Existen muchas informaciones acerca de las reservas y recursos de minerales de litio, algunas contradictorias. Las estimaciones difieren según los distintos autores y además muchas veces resulta algo confusa la terminología usada al referirse a recursos minerales.

En el Cuadro N° 4.5 se dan las cifras obtenidas de las fuentes más confiables para los recur-

CUADRO N° 4.5 - RECURSOS IDENTIFICADOS DE LITIO PEGMATITAS. (Toneladas métricas in situ, de litio contenido).					
P A I S	Reservas Medidas	Reservas Indicadas	Reserva Base	Recursos Inferidos	Total Recursos
EE.UU.	329.100	47.300	376.400	2.780.900	3.157.300
Canadá	158.400	65.400	223.800	92.000	315.800
Brasil	5.100	12.200	17.300	17.800	35.100
Australia	29.700	-	25.700	24.500	54.200
Namibia	2.100	4.200	6.300	9.100	15.400
Zaire	210.000	510.000	720.000	2.400.000	3.120.000
Zimbabwe	63.000	12.600	75.600	75.600	151.200
Unión Soviética (E)	Sin datos		240.000	240.000	480.000
China (E)	Sin datos		-	60.000	60.000
TOTALES	797.400	651.700	1.689.100	5.699.100	7.389.000
(E): Estimación del U.S. Bureau of Mines, del orden de magnitud de los recursos.					

sos en pegmatitas. No se incluyen las cifras para la Argentina porque ellas serán comentadas más adelante.

Debe tenerse en cuenta que los tonelajes mencionados se refieren al material en el depósito, y que las recuperaciones en la extracción pueden estimarse entre el 75 por ciento y 50 por ciento según la explotación sea a cielo abierto o subterránea, y otro 20 por ciento de pérdidas puede adoptarse para la concentración y procesamiento, con lo cual las reservas en pegmatitas, para los países occidentales, pueden estimarse en unas 900,000 toneladas de litio contenido en productos químicos finales, o en metal.

En el Cuadro N° 4.6 se indican los recursos de litio presentes en salmueras conocidas, no incluyéndose las de Argentina, Bolivia y China por no estar cuantificadas. Es evidente que las salmueras se presentan como los grandes recursos litíferos del futuro, si bien su explotación se lleva a cabo hoy en día solamente en Silver Peak, Nevada, EE.UU., y en un futuro próximo en el Salar de Atacama, en Chile. No obstante la relativa magnitud de las reservas mencionadas, sigue sien

CUADRO N° 4.6. - RECURSOS RECUPERABLES DE LITIO EN SALMUERAS (toneladas métricas)						
P A I S	Reservas Medidas	Reservas Indicadas	Reserva Base	Recursos Inferidos	Total Recursos	
Chile: Salar de Atacama	1.290.000	-	1.290.000	3.000.000	4.200.000	
EE.UU.:						
• Silver Peak	40.500	-	40.500	77.300	117.800	
• Searles Lake	-	23.700	23.700	-	23.700	
T O T A L E S	1.330.500	23.700	1.354.200	3.077.300	4.431.500	

do válida la clasificación del litio como metal estratégico ante las perspectivas de la demanda comentadas anteriormente, e incluso, podrá tornarse un recurso escaso y crítico, y todo país que desee poseer autonomía -- energética deberá explorar, cuantificar y explotar sus yacimientos de litio.

Tecnología de extracción y procesamiento.

La explotación de espodumeno en Carolina del Norte, EE.UU., que se considera la mayor del mundo, es llevada a cabo por las dos principales empresas del ramo, la Foote Mineral Company y la Lithium Corporation of America. La explotación se realiza a cielo abierto, en bancadas de 6m de altura, llegando la cantera hasta una profundidad de 150 m. Se utiliza perforación y voladura para extraer el mineral y remover el estéril, consistente éste en una anfibolita cuya relación con la pegmatita -- es de 2 a 1 hasta 4 a 1. El mineral típico contiene -- 20 por ciento de espodumeno ($1,5\% \text{Li}_2\text{O}$), 40 por ciento de feldespato, 33 por ciento de cuarzo y el resto diversos minerales, principalmente muscovita. El mineral y el estéril desmontados son cargados, con palas cargado-

ras, sobre camiones basculantes y transportados hasta las trituradoras. Por ejemplo, en 1977 la Lithcoa extraía anualmente 1 300 000 t de roca, para alimentar 450 000 t de espodumeno, con 1,4 - 1,6 % Li_2O , a la planta de concentración.

La mayoría de las explotaciones en pegmatitas litíferas, en otros países, como Brasil, Namibia y Zimbabwe, son asimismo llevadas a cabo a cielo abierto. La mina canadiense de Val d'Or, Quebec, hoy inactiva, era explotada en forma subterránea.

La flotación es el método generalmente utilizado para la concentración del mineral. En los EE.UU. se obtiene un concentrado con un 80 por ciento de espodumeno, y subproductos que son vendidos para diversas industrias, cuarzo, feldespatos, mica y feldespato cuarzoso con algo de litio. Debe destacarse que allí también el estéril, triturado, se vende como piedra para la construcción de caminos.

Se empleaba la flotación también en Canadá, y se la utiliza actualmente para la concentración

de lepidolita en Namibia y Zimbabwe, si bien en estos últimos países se practica además la selección manual para petalita y lepidolita. En Brasil, en Minas Gerais, se recupera espodumeno como subproducto de la obtención de casiterita, tantalita y berilo de pegmatitas.

La separación térmica, o decrepitación, es otro método usual de concentración del espodumeno. Consiste en un calentamiento a la temperatura adecuada para lograr una transformación cristalina con disminución de la densidad, y consecuentemente aumento de volumen, del espodumeno. De esta manera, el espodumeno beta, que se pulverizó con la expansión, puede separarse del resto de los minerales de la pegmatita, por una posterior molienda suave y tamizado. La posibilidad de realizar el enriquecimiento del espodumeno por este método depende fundamentalmente de la disponibilidad de combustible barato. Para pequeñas explotaciones puede resultar un método simple y económico.

La separación por líquidos densos ha sido probada en los EE.UU. pero la pequeña diferencia de densidad entre la anfibolita y el espodumeno llevaba a rendimientos muy bajos.

El espodumeno concentrado normal, denominado grado químico, puede ser purificado para obtener el grado cerámico por medio de separadores magnéticos, llegándose, en los EE.UU. a un 90 por ciento de espodumeno y 0,7% Fe_2O_3 . Una mayor reducción del contenido de hierro, que se encuentra principalmente dentro de la estructura cristalina del espodumeno, se logra por calcinación a 1.100°C en atmósfera de cloro, produciéndose simultáneamente la transformación a espodumeno beta, -- con decrepitación y aumento de la superficie específica que facilita la cloruración, y la volatilización del -- cloruro férrico.

La extracción del litio de sus minerales silicatados se efectúa por procesos químicos ácidos o -- alcalinos.

En los procesos ácidos el mineral espodumeno se calcina primeramente en un horno rotativo a -- $1.075 - 1.100^\circ\text{C}$, para obtener la forma beta, más reactiva. Luego se aumenta aún más su susceptibilidad a las reacciones químicas subsiguientes por medio de una mollienda en molino a bolas. El mineral enfriado es mezcla

do con exceso de ácido sulfúrico concentrado, y alimentado a hornos rotativos especiales, de acero inoxidable, donde a 250°C tiene lugar la sustitución del litio por el hidrógeno, con formación de sulfato de litio. La -- descarga del horno, formada por el residuo del mineral, Li_2SO_4 y el exceso de ácido, es lixiviada con agua, en tanques verticales de madera tipo Pachuca. El sulfato de litio se disuelve y el ácido es neutralizado con cal. La suspensión resultante es bombeada, a una serie de -- filtros rotativos al vacío en los cuales el lavado con agua permite recuperar prácticamente toda la solución -- rica en litio. Los sólidos removidos de la torta, suelen ser utilizados por industrias cerámicas y para la -- fabricación de ladrillos. La solución de sulfato de li t*io* es purificada por el agregado de cantidades controladas de cal hidratada y carbonato de sodio, precipitando así hidróxido de magnesio y carbonato de calcio.

Otros elementos contaminantes pueden ser eliminados por control de pH y temperatura, o mediante otros precipitantes. Se filtra nuevamente, lavando, y se concentra por evaporación, antes de precipitar el -- carbonato de litio con carbonato de sodio. El carbona-

to de litio es finalmente separado por centrifugación - del licor madre, el cual es luego enfriado para recuperar el sulfato de sodio por cristalización. La solución final que aún contiene iones litio, sodio y carbonato es recirculada.

Este proceso puede aplicarse también a la petalita, que al calcinarse se transforma en espodumeno beta y cuarzo.

En el proceso alcalino el espodumeno o la lepidolita se pulverizan y se calcinan, con tres partes aproximadamente de piedra caliza por cada parte de mineral de litio, a $900 - 1000^{\circ}\text{C}$ (proceso "lime-sinter"). La lixiviación con agua del producto del horno da lugar a la formación de hidróxido de litio, que queda en la solución, la cual es separada por filtración. La solución es evaporada cristalizando el hidróxido monohidratado. Actualmente este proceso se ha dejado de utilizar y el hidróxido se obtiene tratando el carbonato, en solución acuosa, con cal, precipitando carbonato de calcio y quedando el hidróxido de litio en solución, de la cual se lo cristaliza por evaporación.

Los haluros de litio se preparan a partir del carbonato o del hidróxido, por reacción con el ácido correspondiente, por ejemplo, el cloruro de litio se -- obtiene reaccionando el carbonato de litio con ácido --- clorhídrico.

El cloruro de litio seco es la substancia base para la obtención de litio metálico por electrólisis. El baño utilizado es una mezcla fundida de cloruros de litio y de potasio, a 420 - 460°C, con un voltaje a través de la celda de 8 - 9 V. El consumo de corriente en la celda es de unos 40 Kwh por kg de litio obtenido.

Cuando la materia prima utilizada para -- obtener los compuestos de litio es una salmuera, como la extraída en los EE.UU., ésta es concentrada por evaporación solar, durante la cual van precipitando el cloruro de sodio y el cloruro de potasio; el magnesio se precipita como hidróxido con el agregado de cal, y finalmente, -- cuando el contenido de LiCl alcanza al 3 por ciento, se precipita el carbonato por agregado de soda Solvay, procediéndose luego con centrifugación y lavado.

Este parece ser el procedimiento que resultará más económico para las grandes producciones futuras, mientras que las pegmatitas, excepto explotaciones de gran magnitud ya existentes, se dedicarán a las producciones en pequeña escala y a la obtención de minerales de uso directo, por lo menos hasta que una gran demanda mundial plantee problemas de escasez.

El aprovechamiento integral de las pegmatitas, con una recuperación de otros minerales valiosos, como el berilo, columbita-tantalita y casiterita, además del espodumeno y los subproductos cuarzo, feldespato y mica, puede llevar la economía de su explotación a ser competitiva con las grandes producciones a partir de las salmueras.

4.1.2. Aspectos de Mercado y Comercialización.

Productores y capacidades.

Aproximadamente 70 ciento de la capacidad mundial de producción de litio (contenido en minerales concentrados para uso directo, en el metal y en productos químicos) se encuentra ubicada en los EE.UU., en Carolina del Norte, proveniente de los depósitos de espodumeno, y en Nevada, derivada de la explotación de salmueras.

La mayor parte del restante 30 por ciento de la capacidad instalada mundial se concentra entre la Unión Soviética, Zimbabwe y China Continental.

En el Cuadro N° 4.7 se dan las capacidades de producción, expresadas en litio contenido en productos químicos y en minerales de uso final, estimadas por el U.S. Bureau of Mines para 1979 y las proyectadas hasta 1985 según las mejores informaciones disponibles.

CUADRO N° 4.7 - CAPACIDADES DE PRODUCCION DE LITIO (En toneladas métricas).		
	1979	1985
América del Norte:		
. EE.UU.	6.350	7.260
. Canadá	-	910
Sudamérica:		
. Argentina	20	20
. Brasil	150	150
. Chile	-	1.020
Africa:	1.090	1.090
. Unión Soviética	1.270	1.270
. China	450	450
. India	90	90
. T O T A L E S	9.420	12.260

En el Cuadro N° 4.8. se detallan

todos los países y empresas productoras de minerales y compuestos de litio. Pequeñas producciones de minerales de litio se han registrado esporádicamente en Surinam, España, Ruanda y Uganda. En Holanda, Italia, Bélgica y Luxemburgo se producen también cantidades reducidas de compuestos de litio.

Puede observarse que algunos productores están totalmente integrados, como las dos grandes empresas de los EE.UU.. Una buena proporción de ellos solamente extraen los minerales, principalmente obtienen los productos químicos, a partir de minerales comprados, o de otros compuestos, primordialmente carbonato de litio. Estos productores son principalmente los del Japón y de los países europeos, que importan sus materias primas.

En los EE.UU. la Foote Mineral Co. puede obtener a partir de pegmatitas un equivalente, en productos químicos, de 8.165 toneladas de carbonato, y unas 50.000 toneladas de espodumeno concentrado de varios tipos. A partir de salmueras su capacidad actual es de 7.250 toneladas anuales de carbonato, lo que implica un bombeo diario de unos 40.000 m³ de salmuera con 0,023 % de litio.

CUADRO N° 4.8 - PRODUCTORES DE MINERALES DE LITIO Y SUS COMPUESTOS.

PAIS Y EMPRESA	LOCALIZACION	MINERALES PRODUCIDOS	PRODUCTOS QUIMICOS OBTENIDOS
•ALEMANIA Metalgesellschaft AG	Langelshelm	-----	Muy diversos, incluido metal.
•BRASIL Arqueana de Minerios e Metais Ltda.	Minas Gerais	Petalita, espodumeno, ambli- gona y lepidolita.	-----
Cia. Estanífera do Bra- sil (Patiño)	Minas Gerais	Petalita, lepidolita	-----
Nuclebrás de Monazita e As. Ltda.	Santo Amaro, R.J.	-----	Varios
Sandpar Minérios Ltda.	Minas Gerais	Lepidolita	-----
•CHINA POPULAR Estado	Pcia. de Tsinghai Montañas Altai, en el Sinkiang	Salmueras con LiCl, subproduc- tos de la explotación de K y bórax Pegmatitas	Varios, principalmente carbonato hidróxido, pero también metal de alta pureza
EE.UU. Foot Mineral Co.	Kings Mountain, N.C. Silver Peak, Nev. Frazer, Pa. New Johnsonville, Tenn. Sunbright, Va	Esodumeno Salmuera con LiCl ----- ----- -----	Varios Carbonato Haluros y varios Butil-litio Hidróxido
Lithium Corporation of America	Bessemer City, N.C.	Esodumeno	Varios (unos 100 productos), Principalmente hidróxido.
•FRANCIA Rhône-Poulenc	París	-----	-----
GRAN BRETAÑA		-----	-----
Lithium Corp. of Ameri- ca	Liverpool	-----	LiCl y alquiles de litio para cata- lizadores
•INDIA S. Prabhakarrao and Co.	Aalur, Nellore	Esodumeno	-----
•JAPON Asahi Glass Honjo Chemical Co Asia Lithium Corp.	Kyushu Osaka Tokio	----- ----- -----	LiBr Varios, principalmente LiBr
Japan Lithium Corp Nihon Lithium Nippon Chemical Indus- trial Co	Osaka ----- Toquio	----- ----- -----	Butil-litio Varios Varios Varios
•MOZAMBIQUE Empresa Mineira do Alto Ligorá Ltda.	Zambesia	Lepidolita	-----
•NAMIBIA South West Africa Li- thium Mines (Pty) Ltd.	Karibib	Petalita, lepidolita, ambli- gona.	-----
•PORTUGAL Sociedad Mineira Caroli- nas Ltda.	Seixo Amarelo, Gardá	Lepidolita	-----
•UNION SOVIETICA Estado	Península de Kola; Urales; Tranbaikal	Principalmente esodumeno, algo de petalita, lepidolita.	Varios (principalmente carbonato hidróxido).
•ZAMBIAWKE Bikita Minerals (Pvt)		Petalita, lepidolita, esodume-	

Parte del carbonato de estas dos plantas primarias de la Foote es tratado en las restantes tres fábricas de la empresa para la obtención de los otros compuestos. La fábrica de Sunbright tiene una capacidad de 4.080 toneladas de hidróxido monohidrato por año.

La Lithium Corp. of America (Lithcoa), empresa perteneciente a la Gulf Resources and Chemical Corporation, es la primera productora mundial de compuestos químicos de litio, con una capacidad actual de 16.330 toneladas de carbonato equivalente por año, y proyecta una expansión hasta 19.960 toneladas para 1985. La producción anual de espodumeno concentrado puede estimarse en unas 130.000 toneladas, con 6 por ciento de Li_2O .

No hay informaciones fidedignas sobre la producción en la Unión Soviética, las estimaciones para 1980 fueron de un consumo de 680 a 1.020 toneladas de litio contenido en los compuestos químicos y en el metal; por otro lado la capacidad de producción de litio contenido en minerales se ha estimado en 1.270 toneladas. Las exportaciones de

carbonato e hidróxido son del orden de 260 a 340 toneladas, por lo que puede suponerse una producción de minerales de litio de unas 53.000 toneladas (concentrados).

La firma de Namibia es una subsidiaria de la Metranco (Pty) Ltd. (antes Premier Kiln Products), de Sudáfrica, a su vez perteneciente a la Kloeckner GmbH, - de Alemania. Las capacidades se estiman en 15.000 toneladas de lepidolita bruta; 3.000 toneladas de petalita - concentrada a 3,0 - 3,5 por ciento de Li_2O , y 1.500 toneladas a 4,0-4,5 por ciento de Li_2O y ambligonita 100 toneladas con 7-9 por ciento de Li_2O .

En cuanto a Bikita, de Zimbabwe, controlada por Selection Trust Ltd., de Gran Bretaña, tendría una capacidad total de diversos minerales de litio, de unas - 40.000 toneladas anuales si bien la producción ha sido - muy variable en los últimos años.

Refiriéndose a China, informaciones recogidas por viajeros occidentales indican que la capacidad de producción es de 2.000 toneladas de hidróxido de litio monohidratado, y 200 a 500 toneladas de carbonato, obtenidas

de pegmatitas (lo que significaría una producción de 25.000 t de concentrados de espodumeno) más unas 100 toneladas de carbonato recuperado a partir de salmueras de salares.

Producción y consumo.

Con respecto a la producción de minerales y compuestos de litio las estadísticas disponibles son escasas, y en algunos casos discrepantes. Para los minerales hay algo más de información. Las cifras del Cuadro N° 4.9 fueron adaptadas principalmente de la publicación de la Oficina de Minas del Departamento del Interior de los EE.UU., "Bureau of Mines Minerals Yearbook Volumen I - Metals and Minerals", de los años 1975 a 1980. Las producciones australianas se verificaron de los "Australian Mineral Industry Annual Review". Para el Brasil se consultó el "Anuario Mineral Brasileiro", D.N.P.M. Para Zimbabwe, las cifras de producción, que se habían mantenido secretas durante los años de la guerra, han sido publicadas en enero de 1982 por la revista "Industrial Minerals", y se incluyen también en el Cuadro. Algunas cifras, como las de la India, son estimadas.

CUADRO N° 4.9 - PRODUCCION MUNDIAL DE MINERALES DE LITIO. (Toneladas métricas redondeadas a las 10 t)									
P A I S	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
ARGENTINA (espodumeno)...	100	160	490	680	410	800	110	80	
AUSTRALIA (petalita).....	200	-	-	-	-	-	-	-	
BRASIL (petalita, espodu- meno, ambignonita, lepidolita).....	4.130	4.200	5.110	2.900	2.210	2.000	2.100	3.570	
CANADA (espodumeno).....	190	710	-	60	-	-	-	-	
CHINA (espodumeno).....	9.070	9.070	9.070	9.070	10.000	10.000	10.000	13.610	
EE.UU. (espodumeno concen- trado).....	109.000	123.500	100.600	113.300	162.900	162.900	166.000	163.000	
INDIA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	
MOZAMBIQUE (lepidolita)...	-	-	750	750	-	-	-	-	
NAMIBIA (petalita, lepidu- lita).....	5.360	37.750	51.560	5.910	2.550	2.600	2.720	2.700	
PORTUGAL (lepidolita)....	1.200	1.200	1.100	1.180	1.180	1.180	1.000	950	
RUANDA (ambignonita).....	20	30	30	30	30	30	30	30	
UNION SOVIETICA (espodume- no, lepidolita).....	45.350	45.350	45.350	45.350	45.350	50.000	50.000	50.000	
ZIMBABWE (petalita, lepi- dolita, espodumeno).....	12.990	37.870	880	40.720	8.050	16.690	13.200	15.000	
T O T A L	190.670	262.840	217.940	222.950	235.680	249.200	248.160	251.940	

La producción de los EE.UU. no se informa, por razones de confidencialidad, desde 1954, por lo cual se ha debido estimar sobre la base de los datos publicados del consumo de litio contenido en los productos finales, y teniendo en cuenta las incompletas cifras de importación y exportación, más las liberaciones de la reserva estratégica (también para algunos años se pudo comparar las cifras calculadas con estimaciones del Departamento de Energía del Canadá, y con la producción propia publicada por la Lithcoa). Para obtener únicamente la producción de minerales pegmatíticos se dedujo del consumo la producción estimada de litio a partir de las salmueras de Silver Peak y Searles Lake, y finalmente se consideró un rendimiento del 85 por ciento en el proceso de transformación del mineral concentrado, con 6,3 por ciento de Li_2O , a carbonato de litio.

Del cuadro anterior se deduce que la producción mundial ha sido bastante variable en la última década, pero la gran cantidad de cifras estimadas y la irregular producción de Zimbabwe y Namibia, derivada de la inestable situación en ambos países, hacen que sea difícil sacar conclusiones en cuanto a tendencias, incluso

ve las cifras de los años 1974/1975 parecen muy exageradas para este último país, no descartándose la posibilidad de que en 1974 estén duplicando producción no declarada originalmente por Zimbabwe. No pueden definirse tendencias con claridad.

En el Cuadro N° 4.10 se dan algunas estimaciones de la producción mundial de litio contenido en productos químicos y en minerales, obtenidas de varias publicaciones y de resúmenes anuales aparecidos en diversas revistas (Engineering and Mining Journal; Mining Engineering; Mining Annual Review; U.S.B.M. Mineral Surveys; Mineral Yearbook). La información se ha complementado con los datos del Cuadro N° 4.9 calculando el contenido del litio en los minerales, considerando que los concentrados de espodumeno de los EE.UU. contienen un promedio de 6,3 por ciento Li_2O , y adicionando las producciones estimadas del litio contenido en salmueras de los EE.UU. Estos últimos valores (columna 5) resultan en general algo más elevados que los de la columna 3 (U.S.B.M.), sobre todo en el período 1974/76, debido probablemente a las distorsiones señaladas anteriormente para esos años. Aquí puede apreciarse una tendencia al -

CUADRO N° 4.10 - PRODUCCION Y CONSUMO MUNDIAL DE LITIO (Toneladas Métricas)					
AÑO	1. Estimación de Foote y Lithcoa consumo de Li contenido solamente en productos químicos finales.	2. Calculado de 1: Li contenido en minerales y salmueras para producir los compuestos químicos (rendimiento de 85%).	3. Estimaciones del U.S.B.M.: Producción total de Li contenido en minerales y salmueras.	4. Li contenido en los minerales indicados en el Cuadro N° 4.9	5. Estimación de la producción de Li total contenido en minerales y salmueras
1972	3.150	3.710	5.340	4.715	5.350
1973	4.220	4.965	6.160	4.930	6.200
1974	4.550	5.350	6.780	6.585	7.300
1975	4.090	4.810	5.950	5.295	6.750
1976	4.410	5.190	6.350	5.650	7.200
1977	4.700	5.530	7.800	6.415	8.000
1978	4.700	5.530	7.515	6.595	8.040
1979	5.150	6.060	7.710	6.600	8.050
1980	5.480	6.450	8.120	6.755	8.150
Crecimiento Anual Acumulado %	7,2	7,2	5,4	4,6	5,4

crecimiento de la producción mundial, del orden del 5-7 por ciento anual acumulativo.

Comercio Mundial y Precios.

Los EE.UU. son el principal productor y - consumidor de minerales y compuestos químicos de litio, resultando auto suficientes al respecto. Este país produce un 70 por ciento del total mundial y consume aproximadamente un 50 por ciento de la producción mundial. Sus importaciones de estos materiales son mínimas, y alrededor de 30 por ciento de su producción es exportada, principalmente a Alemania y Japón, con cantidades también - significativas a Canadá y Sudamérica.

Las exportaciones más importantes son como carbonato y como hidróxido. Por ejemplo, de este último compuesto, en 1980, se exportaron 3030 toneladas por valor de 9,6 millones de dólares, frente a un total de exportaciones de productos químicos de litio de 9.320 toneladas, por 24,1 millones de dólares. El probable creci-

miento de la demanda interna en los EE.UU. ha llevado a una de las firmas del sector a instalar una planta para la producción de 5.440 toneladas anuales de carbonato de litio en Chile, a partir de las salmueras del salar de Atacama. Esta planta, que entraría en operación en 1984 y requiere una inversión de U\$S 61 millones, suministraría el carbonato para los mercados mundiales, fuera de los EE.UU., principalmente Alemania, Japón y Venezuela.

La Unión Soviética es también un proveedor importante de compuestos de litio. Este país vende frecuentemente a precios inferiores a los corrientes del mercado, cantidades importantes y variables de compuestos de litio al que se le ha extraído la mayor parte del litio-6 (acumulado para la fabricación de bombas de hidrógeno). Estas ventas de material algo impuro, pero utilizable en general para diversas aplicaciones, provocan desequilibrios en el mercado internacional.

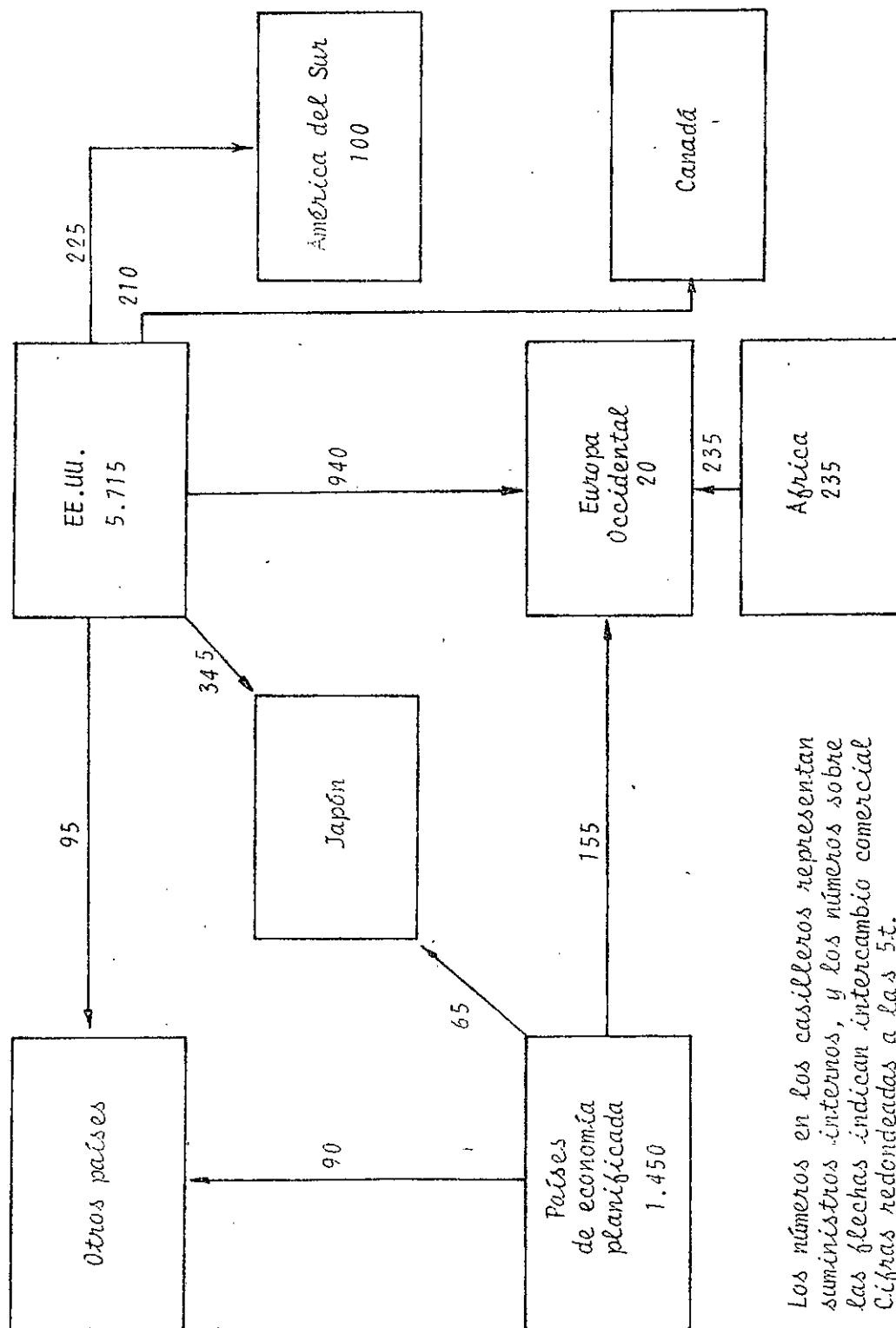
Alemania Federal es el principal importador mundial. En 1979 importó unas 1.060 toneladas de li

tio contenido en su mayor parte en carbonato, que utilizó como materia prima para obtención de otros compuestos. La Metallgesellschaft AG es el mayor productor europeo, mercado al que atiende en competencia con los EE.UU., y está en una permanente búsqueda de nuevas fuentes de materias primas.

En la Figura N° 1 se resumen las estimaciones de las cifras del comercio, el suministro y la demanda mundiales de minerales y compuestos de litio, expresada en toneladas métricas de litio contenido en concentrados minerales y productos químicos, para el año 1978.

Con respecto a los precios de los minerales de litio hay pocas informaciones sobre los vigentes en los mercados mundiales, generalmente aplicados a petalita lepidolita y espodumeno provenientes de países africanos, de bajo hierro y para uso directo en las industrias cerámica y del vidrio, mercados que han experimentado un aumento en su demanda ante las necesidades de ahorrar energía. En el Cuadro N° 4.11 se dan los pre-

FIGURA N° 1 - COMERCIO MUNDIAL DE MINERALES Y COMPUESTOS DE LITIO EN 1978. (Toneladas Métricas de litio contenido).



Los números en los casilleros representan suministros internos, y los números sobre las flechas indican intercambio comercial. Cifras redondeadas a las 5t.

CUADRO N° 4.11 - PRECIOS DE LOS MINERALES DE LITIO EN EL MERCADO EUROPEO. (CIF puertos europeos, en libras - esterlinas por tonelada métrica).

FECHAS O PERIODOS	PETALITA (3,5-4,5 % Li_2O) (base 3% Li_2O)	ESPODUMENO (4,0-7,0 % Li_2O) (base 6 % Li_2O)
. Diciembre 1970	147,6/162,4	113,2/118,1
. Mayo 1972.....	108,3/128,0	152,1/177,2
. Agosto 1972.....	132,9/162,4	152,1/177,2
. Enero 1975.....	118,1/147,6	152,1/177,2
. Mayo 1975	177,2	152,1/177,2
. Agosto 1975 hasta Abril 1979	118,1/147,6	118,1/147,6
. Mayo 1979 hasta Mayo 1981	165/205	185/235
. Junio 1981 hasta Febrero 1982	125/165	185/235

cios publicados por la revista Industrial Minerals, que reflejan una gran variabilidad, pero se muestran siempre muy superiores a los pagados en el mercado de los EE.UU. como se aprecia en el CUADRO N° 4.12.

En el Cuadro N° 4.12 se dan los precios del carbonato del hidróxido monohidratado y del litio metálico en los EE.UU., a valores corrientes y en dólares constantes de 1978. Puede observarse que desde 1958 hasta 1973 hubo una continuada reducción de los precios para los dos primeros productos, a partir de 1974 aquellos experimentaron una recuperación como resultado del aumento de precio de la energía. El metal no ha mostrado una tendencia definida. Resulta interesante comparar los precios del litio contenido en los diversos productos comerciales en dicho mercado, por ejemplo a fines de 1979, ellos resultaron, en U\$S por tonelada:

Esposdumeno grado químico (6,35 % Li_2O)	5.070
Carbonato de litio 99 %	13.740
Hidróxido de litio 99 %	20.650
Litio Metálico 99 %	34.850

CUADRO N° 4.12 - PRECIOS DEL ESPIDUMENO CONCENTRADO EN EL MERCADO DE LOS EE.UU. (U\$S por tonelada métrica).

	Producto Local	Precio de Mineral Importado (CIF)
Fin 1972	88	S.D.
1973	97	S.D.
1974	118	S.D.
1975	136	S.D.
1976	S.D.	168 (Brasil)
1977	122	S.D.
1978	129	S.D.
1979	148	153 (Africa)
1980	S.D.	164 (Africa)

CUADRO N° 4.13 - PRECIOS DEL LITIO Y SUS COMPUESTOS PRINCIPALES EN LOS EE.UU. (U\$S por libra).

A Ñ O	PRECIOS CORRIENTES			BASADOS EN DOLARES CONSTANTES DE 1978		
	Li_2CO_3	$\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$	Li	Li_2CO_3	$\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$	Li
1958	0,67	0,64	-	1,54	1,47	
1959	0,67	0,72	-	1,51	1,62	
1960	0,67	0,72	-	1,48	1,59	
1961	0,62	0,63	-	1,36	1,38	
1962	0,53	0,54	-	1,14	1,16	
1963	0,53	0,54	-	1,13	1,15	
1964	0,52	0,56	-	1,09	1,17	
1965	0,49	0,54	-	1,00	1,10	
1966	0,46	0,55	-	0,91	1,09	
1967	0,43	0,55	-	0,83	1,06	
1968	0,45	0,54	-	0,83	0,99	
1969	0,46	0,55	-	0,81	0,96	
1970	0,52	0,59	8,17	0,87	0,98	13,67
1971	0,51	0,61	8,17	0,81	0,97	12,98
1972	0,52	0,63	8,43	0,79	0,96	12,81
1973	0,55	0,63	8,53	0,79	0,91	12,25
1974	0,78	0,87	9,38	1,02	1,14	12,27
1975	0,77	1,18	11,30	0,92	1,41	13,50
1976	0,83	1,27	11,60	0,94	1,44	13,14
1977	0,88	1,35	13,30	0,94	1,45	14,21
1978	1,02	1,40	13,20	1,02	1,40	13,20
1979	1,16	1,53	15,65	1,06	1,41	14,30
1980	1,30	1,72	17,15	1,09	1,44	14,39
1981	1,41	1,84	19,67	-	-	-

Es pertinente señalar que si los vehículos eléctricos se desarrollan realmente en una forma masiva, será necesaria una significativa reducción del precio del metal para que pueda competir con otros materiales alternativos para la fabricación de los ánodos para las baterías recargables, porque el costo de éstas tendrá una participación muy importante en el costo total del vehículo.

Proyecciones de la demanda.

Sobre la base de análisis de los diversos componentes del mercado se han realizado, en los EE.UU., pronósticos de la demanda de litio contenido en sus compuestos y en el metal (no de los minerales), hasta el año 2000, tanto para dicho país como para el resto del mundo. En el Cuadro N°4.14 se muestran las cifras para los EE.UU., distribuidas por tipos de mercado, y en el Cuadro N° 4.15 se dan las cifras mundiales, incluyendo el consumo acumulado. La proyección estadística para los EE.UU. se calculó por correlación de los datos históricos para los diversos usos, con indicadores económicos -

CUADRO N° 4.14 - PROYECCIONES Y PRONOSTICOS DE LA DEMANDA DE LITIO METALICO Y CONTENIDO EN SUS COMPUESTOS, EN LOS EF.UU. (En toneladas métricas)						
U S O F I N A L	1978	2 0 0 0				
		Proyección Estadística	F R O N C S T I C O			
			Bajo	Alto	Probable	
Producción de aluminio..	1.090	3.810	910	9.070		2.720
Cerámica y vidrio.....	815	1.450	1.180	1.815		1.360
Lubricantes.....	455	815	725	1.180		910
Otros	725	2.360	1.360	2.270		1.905
Nuevos Usos	-	-	1.360	22.680		3.630
T O T A L	3.085	8.435	5.535	37.015		10.525

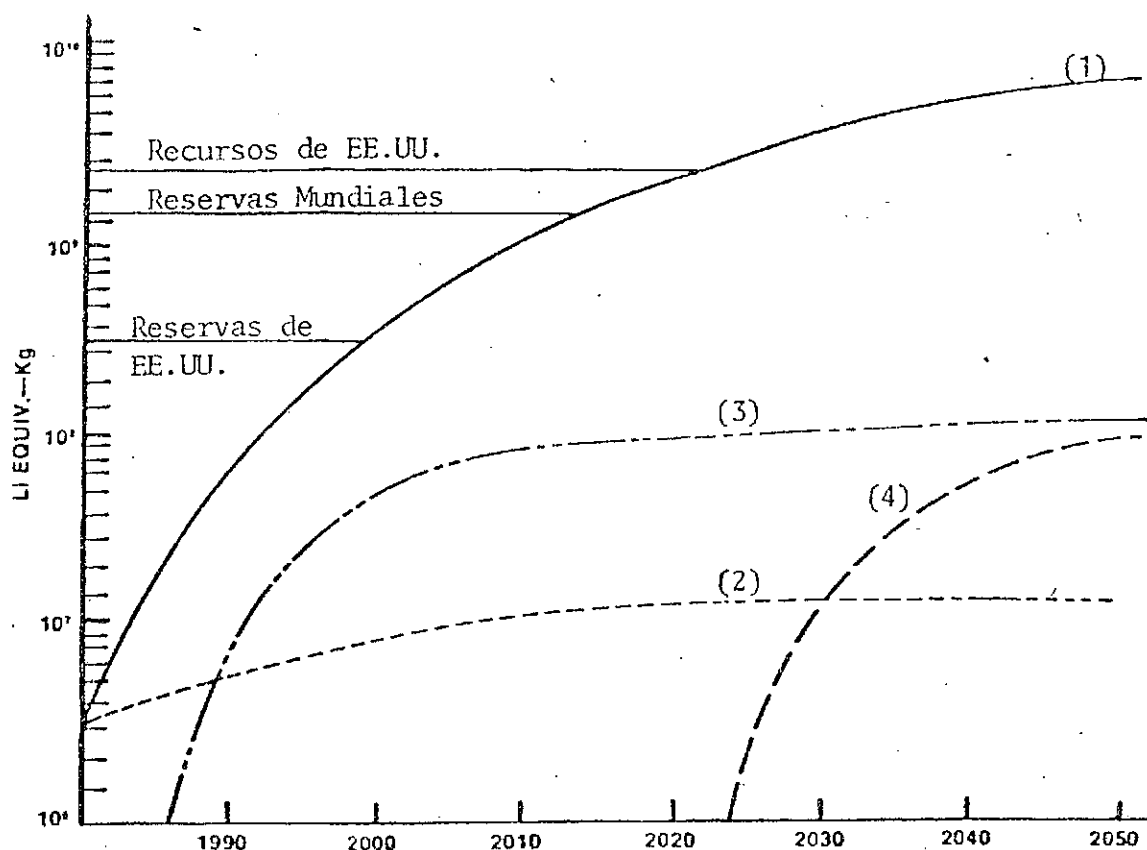
CUADRO N° 4.15 - RESUMEN DE LAS PROYECCIONES MUNDIALES DE LA DEMANDA DE LITIO (En toneladas métricas)						
	1978	RANGO DEL PRONOSTICO PARA EL AÑO 2000		DEMANDA PROBABLE		CRECIMIENTO ANUAL ACUMULATIVO 1978-2000 (%)
		Bajo	Alto	1990	2000	
EE.UU.						
Total anual.....	3.085	5.535	37.015	5.990	10.525	5,7
Acumulado.....	-	93.440	319.335	54.435	136.445	-
RESTO DEL MUNDO:						
Total Anual	3.355	3.630	27.215	6.805	12.340	6,1
Acumulado.....	-	77.295	263.630	60.420	156.400	-
MUNDIAL:						
Total Anual	6.440	9.165	64.230	12.795	22.865	5,9
Acumulado.....	-	170.735	582.965	114.855	292.845	-

seleccionados y extrapolando al año 2000. Cambios -
tecnológicos y otras contingencias se utilizaron para
modificar esas proyecciones y establecer un rango de
variación del pronóstico para cada uso final principal.

Los pronósticos muestran un crecimiento de
la demanda que superará en pocos años las capacidades de
producción instaladas actualmente, más las nuevas que se
están adicionando o se han anunciado para un futuro más
o menos próximo (Chile, EE.UU., Canadá). O sea que aparece
como evidente la necesidad de contar, a mediano plazo, -
con mayor capacidad de producción de compuestos de litio.
A esto debe agregarse que otros autores, con estimacio--
nes algo menos conservadoras para las proyecciones de -
los usos actuales del litio y sus compuestos, y de su -
utilización en superacumuladores y en baterías, llegan a
la conclusión que, como se muestra en la Figura 2 , -
las reservas recuperables de los EE.UU. se agotarían an-
tes de fin de siglo, y que hasta sus recursos recupera--
bles identificados actuales se habrían terminado antes -
de que el desarrollo de la fusión nuclear llegue a su -
etapa comercial. Esto no significa que esta última tec-
nología vaya a quedar paralizada, porque existen recur--

FIGURA N° 2

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE LITIO CONTENIDO EN COMPUESTOS
Y METAL PARA LOS EE.UU.



- (1): Demanda acumulada total.
- (2): Demanda anual para usos actuales.
- (3): Demanda anual para super-acumuladores y baterías.
- (4): Demanda anual para fusión nuclear.

sos en el resto del mundo, como los de nuestro país, que deben desarrollarse.

Pueden citarse aquí las palabras de James D. Vine, del Servicio Geológico de los EE.UU. quien ha llegado a decir, que "el fracaso en la identificación de nuevos recursos de litio podrá ser juzgado como una irresponsabilidad nuestra, por parte de las futuras generaciones".

4.2. AMBITO NACIONAL.

4.2.1. Aspectos Industriales y Tecnológicos.

Yacimientos argentinos.

Como resultado de la búsqueda de berilo en las pegmatitas de San Luis en 1935, se comprobó la existencia de espodumeno en nuestro país, comenzándose la producción en el siguiente año, con 60 toneladas de mineral con una ley media de 5,8 por ciento de Li_2O .

Todos los minerales de litio conocidos en yacimientos locales, se encuentran en cuerpos pegmatíticos. Las pegmatitas litíferas conocidas se sitúan en el ámbito de las sierras Pampeanas y corresponderían al Precámbrico.

En su mayoría son cuerpos alargados, lenticulares o tabulares, alojados en fracturas o fallas que afectan las rocas del basamento cristalino precámbrico, esencialmente metamorfitas y plutonitas. Los intrusivos, en la mayoría de los casos, son concordantes con la esquistosidad de la roca huésped. El rumbo pre-

dominante es NS y la inclinación oscila, en general, entre subvertical y alrededor de 35°. Las longitudes de los cuerpos varían generalmente entre unos 300 m y alrededor de 50m. Las potencias oscilan entre 2m y 25m aproximadamente, pero en la mayoría de los casos son de 5m a 8m. La relación entre la longitud y el espesor tiene valores comprendidos entre 10:1 y 50:1.

La estructura interna y la mineralogía de estas pegmatitas es bastante similar en todos los cuerpos presentándose por lo común una zonalidad definida, que comprende una zona marginal, una externa, una intermedia y una central, o núcleo. La zona marginal, de grano fino a muy fino (menos de 2,5cm), está compuesta por plagioclasa, muscovita, microclino y cuarzo, siendo los minerales accesorios más frecuentes turmalina, berilo, casiterita, tantalita-columbita y apatita. La zona externa que sigue está constituida casi siempre por cuarzo y albita o por cuarzo, microclino y albita. En algunos cuerpos aparecen las dos zonas mencionadas, siendo en este caso la unidad citada en segundo término una zona de transición adosada a la primera. Siguen luego las zonas intermedias de espodumeno, que contie--

nen además cuarzo, albita y, generalmente, en menor proporción, microclino. El espodumeno se presenta en cristales idiomorfos incluidos en una matriz formada por los otros minerales. Son cristales de dimensiones variables, chicos de 2 a 10 cm medianos de 10 a 50 cm, y grandes, de más de 50 cm, hasta gigantescos de 2 m en algunos casos. La forma es prismática, el ancho de estos cristales puede alcanzar 20 ó 30 cm y, en casos excepcionales 50 cm. En algunas pegmatitas la distribución del espodumeno dentro de la zona portadora es irregular, pero en otras aparece orientada. El color es predominantemente blanco verdoso o grisáceo. Análisis de numerosas muestras de cristales de espodumeno fresco, de depósitos de San Luis, oscilaron en un rango de 5,1 a 8,1 por ciento Li_2O , y con valores de Na_2O de 0,05 por ciento a 0,83 por ciento. En gran parte de los yacimientos el espodumeno está alterado en mayor o menor grado. En algunos casos se presenta transformado en una mezcla de albita y muscovita, como un agregado compacto, verdoso, de grano muy fino, relativamente blando cuando no está silificado. Análisis químicos de espodumenos alterados dan resultados muy variables en cuanto a contenido de litio, desde 0,3 por ciento hasta 5,1 por

ciento Li_2O . En general, durante la alteración del espodumeno por los agentes meteóricos se realiza un proceso de substitución del litio por el sodio. En otro tipo de alteración los cristales tienen una coloración -- blanco amarillenta o grisácea, se disgregan con facilidad y conservan rastros de clivaje en superficies que muestran un brillo sedoso intenso. El examen microscópico demuestra que este material está compuesto en más de un 90 por ciento por pequeños prismas o láminas de clivaje de espodumeno. El resto es un agregado muy fino de arcillas, con muy poca albita y muscovita, que tapiza los trozos de espodumeno.

Las zonas intermedias pueden ser varias, pero la mayoría de las pegmatitas contienen sólo una, con espesores de 0,5 m a 3 m. Los minerales acceso -- rios más frecuentes en esta zona son muscovita, escasa y de grano fino, berilo, ambligonita, triplita, trifilina-litiofilita, casiterita, apatita y turmalina. En la pegmatita San Elías, San Luis, se observan dos zonas intermedias, una de características generales muy similares a las de la zona externa, con cuarzo, microclino y plagioclasa y otra, compuesta de dos unidades, una sub-

zona con plagioclasa, ambligonita y cuarzo, y la segunda subzona con plagioclasa y lepidolita, constituyendo la mica litífera aproximadamente un 60-70 por ciento de la misma, los análisis revelan un 3 por ciento a 3,3 -- por ciento Li_2O . La lepidolita se encuentra presente -- además en las pegmatitas portadoras de columbita-tantalita y minerales de bismuto, de la región del basamento cristalino de El Quemado, en la Puna salteña. También -- se comprobó su presencia en Manuel Choique, en los alrededores de Ing. Iacobacci, Río Negro, informándose un -- contenido de 2,8 por ciento Li_2O , pero sin conocerse -- las reservas.

La ambligonita (fluorfosfato de aluminio y litio), se presenta distribuída en forma errática y -- en porcentajes bajos dentro de la masa pegmatítica, con -- formando nódulos o "papas" de variado tamaño, no supe -- rior a los 50 cm de diámetro. En estado fresco, su co -- loración es blanca a grisácea, a veces teñida por óxi -- dos de hierro. El mineral de los yacimientos San Elías, La Totorá y La Viquita, en San Luis, únicos en los que ha sido explotada hasta ahora, mostró análisis de 8,9 -- por ciento a 10,1 por ciento Li_2O .

El núcleo se halla ubicado, en la mayoría de las pegmatitas tabulares o lenticulares, más o menos simétricamente con respecto a los contactos laterales, y su forma refleja aproximadamente la del cuerpo que la contiene, si bien en algunos casos de pegmatitas bulbosas puede ocupar una posición asimétrica (San Elías y San Luis). En algunos núcleos puede faltar el espodumeno, estando entonces constituidos por cuarzo, o por microclino y cuarzo. En algunos casos falta el núcleo y la unidad central tiene entonces una composición similar a las de las zonas intermedias. Los minerales accesorios son la muscovita, el berilo, la apatita y tantanita-columbita.

En todas las pegmatitas aparece una fase de reemplazo sódico que origina unidades de albita, -- ubicadas la mayoría en las zonas intermedias y núcleos de cuarzo y microclino.

La participación global de los minerales de litio en la masa total de las pegmatitas es muy variable, alcanzando para el espodumeno un 10 a 35 por --

ciento, con los valores más frecuentes entre 15 y 25 -- por ciento. La proporción de la ambligonita es en general menor. Las leyes de las partidas comerciales de espodumeno son del orden del 5-7 por ciento Li_2O , pero -- hay variedades de muy baja ley, en particular aquellos espodumenos que sufrieron un proceso de alteración.

Los yacimientos conocidos actualmente, -- según un relevamiento realizado por la Gerencia de Minería del Banco Nacional de Desarrollo, luego de desestimar algunas manifestaciones que fueron consideradas interesantes anteriormente, serían los siguientes, agrupados por áreas geográficas:

- . Zona La Florida-Paso del Rey (Provincia de San Luis):
San Luis, Don Fernando, Diana, Don Roque, Luis Fernando, Don Manuel, Cachito, Don Benjamín, José, Nilda, -- Justaló, Independencia Argentina.
- . Zona Sierra de La Estanzuela (Provincia de San Luis):
La Viquita (pertenencias La Viquita y Cerro Cantera -- de Cuarzo), San Elías, Cerro Colorado, Cerro Nuevo, --

Don Rolando, Don Carlos, El Cabro, La Esperanza, Piedra del Aguila.

- . Zona Carolina - San Francisco del Monte de Oro (Provincia de San Luis):
Géminis, Puesto Sarmiento.

- . Zona Norte de la Sierra de San Luis (Provincia de San Luis):
La Meta, María del Huerto, Cabeza de Novillo, Cema (C. Las Cañas), La Totora, La Rosada, Las Cuevas, León Herido, Don Pancho, Agua Dorada.

- . Zona Villa Dolores (Provincia de Córdoba):
Las Tapias.

- . Zona Vilisman (Provincia de Catamarca):
Reflejos de Mar, La Culpable, Loma Pelada, La Herrumbra, Campo El Abra, Joyita, Juan Carlos, Pampa El Coco.

- . Zona Ancasti (Provincia de Catamarca):
Ipizca I, Ipizca II, Santa Gertrudis.

Reservas Nacionales.

En el Cuadro 4.16 se describen 20 yaci -
mientos para los que se cuenta con estimaciones de las
reservas realizadas por diversos autores. Hay que con -
siderar que la distribución irregular, carácter intrín -
seco de los componentes pegmatíticos hace muy dificulto -
sa la previsión de cifras exactas de reservas del mine -
ral.

Las reservas totales inferidas, (habría -
que hablar en realidad de recursos totales, ya que sola -
mente una fracción de ellas serían reservas medidas) pa -
ra esos yacimientos resultarían de 98.200 toneladas de
espodumeno "in situ", con un contenido total de litio -
de 2.600 toneladas. Pero a esta cifra, que debería ser
ajustada por cubicaciones posteriores, es necesario in -
troducirle un factor de recuperación, característico pa -
ra cada yacimiento, pero que en la generalidad de los -
casos resultaría bajo dadas las particularidades de la
distribución del mineral, principalmente en los minera -
les de grano fino. Además, si se tiene en cuenta la --

CUADRO N° 4.16 - YACIMIENTOS CUBICADOS DE MINERALES DE LITIO.					
YACIMIENTO	RESERVAS (t)	LEYES (% Li ₂ O)	Porcentaje de mineral	Grado de Alteración	Tamaño de los cristales
La Torora	150 (1)	Espod. : 8,7 Ambl. : 9,8	20-30	Semifresco	Grueso
María del Huerto	350 (1)	Espod. : 7,2	15	Semifresco	Fino
La Culpable	600 (4)	Espod. : 5,8	10	Semialterado	Grueso
San Luis	600 (1)	Espod. : 6,6	20		Muy grueso
Las Tapias	700 (1)	Espod. : 4,0	10-15	Alterado	Muy grueso
Justalú	750 (4)	Espod. : 2,4	10	Alterado	Fino
Reflejos de Mar	1.000 (4)	Espod. : 6,8	15	Semialterado	Muy grueso
La Herrumbrada ..	1.700 (3)	Espod. : 5,5	10-15	Semialt rado	Grueso
Don Carlos	1.725 (2)	Espod. : 5,35	15	Semialterado	Fino
Ipizca II	2.000 (4)	Espod. : 4,7 Ambl. : 8,5	10	Semialterado	Muy grueso
León Herido	2.300 (4)	Espod. : 6,5	25	Fresco	Muy grueso
Cabeza de Novillo	3.200 (1)	Espod. : 5,8	15	Fresco	Fino
Las Cuevas	5.700 (2)	Espod. : 6, 5	10-15	Semialterado	Muy grueso
Géminis	6.000 (4)	Espod. : 5,2 Ambl. : 8,0	20-25	Semialterado	Muy grueso o gigantesco
Don Rolando	6.725 (2)	Espod. : 6,75	10-20	Semifresco	Grueso
Juan Carlos	7.200 (4)	Espod. : 6,2	25	Semialterado	Grueso
Co. Cant. Cuarzo	8.000 (4)	Espod. : 5,6 Ambl. : 8,6	10-15	Semifresco	Grueso
Campo El Abra ..	10.500 (3)	Espod. : 5,8	15	Semialterado	Grueso
Santa Gertrudis.	13.000 (4)	Espod. : 5,8	35	Semifresco	Medio
Loma Pelada	26.000 (3)	Espod. : 5,5	15	Semialterado	Grueso
FUENTES: (1): Angelelli, V. y Rinaldi, C.A. (1962); (2) Angelelli, V. y Rinaldi, C.A. (1966); (3): Marconi, C. (1972); (4): Estimación de Lorefice, J.D. y Sabio, D.A. (1975) según apreciación de las labores.					

propensión del espodumeno a alterarse químicamente, se puede suponer que del tonelaje arriba indicado, una determinada proporción no ha de alcanzar los tenores mínimos comerciales.

Haciendo ciertas especulaciones sobre el contenido de material alterado, estimado en forma optimista, entre 5 y 20 por ciento del total del espodumeno, considerando una recuperación del 50 por ciento en el mineral de grano fino y del 75 por ciento en el de grano medio y grueso, relativamente elevadas para las condiciones normales de explotación de nuestros yacimientos, y aún adicionando un 25 por ciento de reservas adicionales provenientes de los 26 yacimientos no incluidos en el Cuadro 4.16 se obtendría un total de espodumeno recuperable de 77.000 toneladas, con un promedio de 5,8 por ciento Li_2O , o sea unas 2.050 toneladas de litio contenido en el espodumeno extraído.

Puede aceptarse que esta situación de reservas tiene reales posibilidades de verse mejorada ya -- que, como aún no se han realizado muchos reconocimien --

tos sistemáticos de todas las áreas favorables, es de prever el descubrimiento de nuevos depósitos en el futuro si se llevan a cabo intensas tareas de prospección de las pegmatitas de Catamarca, Salta, La Rioja, Córdoba, San Juan e, inclusive, de San Luis, no obstante ser el área más conocida en este sentido.

Tecnologías de extracción.

Los yacimientos trabajados en nuestro país son de mediana a pequeña magnitud, en lo que se refiere a la factibilidad de recuperación de los minerales de litio, comparados con otras explotaciones existentes en el mundo y que fueran mencionadas anteriormente. Si bien la producción básica de minerales de litio ha estado centrada en la extracción de espodumeno, al tratarse casi siempre de pegmatitas de rendimiento mixto, aquellos minerales pueden recuperarse conjuntamente con cuarzo, feldespato, mica o berilo, y éste es el concepto que debería prevalecer en el futuro, el aprovechamiento integral de la pegmatita, ya que la explotación -

de las especies individuales reduce la economía de la operación y, además provoca una degradación del yacimiento.

De las 46 manifestaciones litíferas mencionadas anteriormente, poquísimas registran actividad extractiva actualmente, la gran mayoría, incluyendo varias con características que las tornarían rentables, se encuentran paralizadas. Las causales son variadas y radican fundamentalmente en el pequeño tamaño de muchos de los depósitos, en problemas para la concentración -- del mineral hasta leyes comerciales, deficiente laboreo, recesiones temporarias del mercado consumidor y épocas -- en que el precio no redituaba la explotación.

El registro de productores de minerales de litio en el país incluye 13 firmas y personas, entre las provincias de Catamarca y San Luis.

Las tareas de explotación fueron, o lo son hoy en día, en los yacimientos activos, de características rudimentarias. Se trabaja en forma manual, --

con punta y maza, siendo pocos los yacimientos donde --
las tareas han sido parcialmente mecanizadas, mediante --
la incorporación de compresores y martillos neumáticos.
La selección del mineral, en mina, también es manual, --
zarandeándose, en algunos casos, para eliminar las --
partículas finas, que generalmente corresponden al miner
al alterado y disgregado, que puede constituir una im-
portante porción del yacimiento. En algunos depósitos,
como las minas, Las Cuevas, Géminis, Ipizca II y León -
Herido, el espodumeno se presenta en cristales muy grues
os a gigantescos, lo que facilita la selección y permit
e una recuperación aceptable. Pero en muchos casos el
mineral posee una granulometría fina, no resultando rent
able, debido a las dificultades que ofrece su selecc --
ción y separación del resto de los componentes pegmatí-
ticos.

El número de personas ocupadas en la ex-
tracción de los minerales de litio es un reflejo de la -
precariedad de estas explotaciones y del bajísimo rendim
iento de la mano de obra. En 1974 trabajaban 21 person
as, cifra que fue variando en los años siguientes a --

23, 39, 22, 16, 9 y finalmente solamente 4 operarios en 1980.

Algunos productores han tratado de concentrar el espodumeno de cristales finos mediante una adecuada molienda y un lavado posterior en corriente de agua, con el objeto de separar el espodumeno del cuarzo, feldespatos y mica, pero en virtud de la escasa diferencia de peso específico que hay entre el mineral de litio y la ganga, no se obtuvieron resultados prácticos.- En el yacimiento Cabeza de Novillo se pretendió someter la mena a concentración en maritatas, pero sin éxito.

Unos pocos ensayos de flotación de espodumeno, realizados hace algunos años en el INTI, indicaron la posibilidad de utilizar este método de concentración, pero con relativamente baja recuperación debido seguramente a la presencia de mineral alterado. El empleo de la flotación debería ser precedido, en el caso de una significativa proporción de espodumeno alterado, por una molienda suave y un tamizado en húmedo que permitiría separar el material fácilmente disgregable del

espodumeno fresco. Debe tenerse en cuenta que una instalación de flotación requerirá, para resultar rentable, una producción substancialmente mayor que la total lograda hasta ahora en nuestro país, aún en los mejores años.

Usos e industrialización.

Las industrias usuarias locales destinan los minerales de litio preferentemente para la elaboración de productos cerámicos y esmaltes, en una proporción estimada de 30 por ciento y 70 por ciento, respectivamente.

La industria química, la cual constituye en otros países, la mayor consumidora de minerales de litio para la elaboración de sus compuestos, no se ha desarrollado en ese sentido en la Argentina, importándose aún todos los productos químicos, principalmente hidróxido y carbonato. Cabe destacar que en 1961, se instaló en la localidad de La Población, provincia de -

Córdoba, la firma Dixon Sudamericana S.A., con una planta que procesaba espodumeno de la mina Las Tapias, empleándose el método ácido para la obtención de carbonato de litio, y a partir de éste también hidróxido y cloruro de litio. Esta planta debió suspender su producción ante la imposibilidad de competir en calidad y, sobre todo en precios, con los compuestos importados. Otro proyecto privado para la radicación de una planta elaboradora de sales de litio en la localidad de Tilisarao, provincia de San Luis, no llegó a concretarse. Se estimaba una producción de 100 toneladas anuales de hidróxido de litio y otros subproductos derivados del tratamiento de la mena.

Hace unos años Química Atalaya elaboraba a partir de carbonato importado, cloruro y fluoruro de litio con destino a fundentes para soldadura de aluminio.

El hidróxido de litio se destina a la fabricación de estearato de litio que se utiliza en las grasas a base de litio. El carbonato de litio se em --

pleaba principalmente en las industrias cerámicas, para elaboración de fritas y esmaltes, pero últimamente la producción de aluminio primario en el país demanda cantidades crecientes de este compuesto.

Especificaciones.

Las especificaciones utilizadas corrientemente por los consumidores de minerales, en la industria de la cerámica blanca (porcelana eléctrica, vajilla, sanitarios) y de los esmaltes (para vidriado y enlozado), son las siguientes:

<u>E S M A L T E S</u>				
M I N E R A L	Ley Mínima (en % Li_2O)	Impurezas de Ca y Mg	Máximo Fe_2O_3 (%)	Granulometría
. Espodumeno	5,0	Sin contenido	0,4	Malla 300
. Ambligonita	7,5	o solamente	0,4	Malla 300
. Lepidolita	2,5	vestigios	0,4	Malla 300

C E R A M I C A

M I N E R A L	Ley Mínima (en % Li_2O)	Impurezas de Mn y Fe	Granulometría
. Espodumeno	5,0	Sin contenido	Malla 200
. Ambligonita	7,5	o solamente -	Malla 200
. Lepidolita	2,5	vestigios	Malla 200

En algunos casos se admite espodumeno -- con 4,5 por ciento de Li_2O y un máximo de 0,15 por ciento Fe_2O_3 , y la ambligonita con 6,5 por ciento de Li_2O .

El Banco Nacional de Desarrollo adquiere espodumeno con fines promocionales, sujeto a las siguientes condiciones:

- . Ley mínima de Li_2O 4,0%
- . Granulometría mínima 5 mm.

Los compuestos químicos del litio, importados, se compran regularmente según las características informadas por los fabricantes del exterior, siendo

normalmente productos de alta pureza. Para el hidróxido de litio usado en la elaboración de grasas lubricantes, - Y.P.F. requiere los siguientes contenidos:

- . LiOH mínimo 55%
- . Li_2CO_3 máximo 1%
- . Al_2O_3 máximo 0,2%
- . Fe_2O_3 máximo 0,2%
- . Cl máximo 0,5%
- . Otros álcalis máximo 1,0%.

Si se pensara en la exportación de espumeno de alta calidad para cerámica deberían adoptarse especificaciones aproximadamente del tipo dado a continuación:

- . Li_2O mínimo 6%
- . Fe_2O_3 máximo 0,15%

4.2.2. Aspectos de Mercado y Comercialización.

Producción local.

La primera extracción comercial de minerales de litio en nuestro país fue realizada en el año 1936, aunque en el año anterior se produjo cierta recuperación de minerales, a título de ensayo, en la provincia de San Luis. En realidad la presencia de minerales de litio fue comprobada en forma casual, pues lo que se pretendía hallar eran pegmatitas portadoras de berilio, finalidad a la que se añadió luego la explotación de minerales litíferos.

La producción, que en los primeros tiempos (1936-1938) se realizó ininterrumpidamente, pasó en los años posteriores a ser esporádica, para recién a -- partir de 1954 lograr una cierta estabilidad, con dos -- fuertes incrementos, en los períodos 1961-1965 y 1975-1978. Las estadísticas anuales, del Cuadro N° 4.17 evidencian marcadas fluctuaciones atribuidas a una conjunción de factores, bajo precio del mineral, irregularidad de las explotaciones mineras, mercado interno muy --

CUADRO N° 4.17 - PRODUCCION DE MINERALES DE LITIO EN LA ARGENTINA.			
AÑO	Producción total de minerales (t)	Contenido de Li_2O (t)	Ley Media del mineral (% Li_2O)
1936	60	3,48	5,80
1937	184	10,10	5,50
1938	169	9,30	5,50
1941	50	2,75	5,50
1943	75	4,12	5,50
1946	1,7	0,11	5,50
1951	1	0,05	5,50
1954	38	2,09	5,50
1955	100	5,50	5,50
1956	150	8,25	5,50
1957	20	1,10	5,50
1958	159	9,59	6,03
1959	155	10,00	6,44
1960	139	7,96	5,73
1961	402	24,75	6,16
1962	450	24,38	5,42
1963	1.436	79,62	5,50
1964	725	43,03	5,93
1965	622	37,32	6,00
1966	270	14,76	5,47
1967	247	12,03	4,87
1968	127	5,50	4,33
1969	352	19,87	5,64
1970	245	12,52	5,11
1971	81	4,04	4,99
1972	49	2,45	5,00
1973	100	5,00	5,00
1974	164	7,45	4,54
1975	487	23,04	4,73
1976	675	37,96	5,62
1977	412	23,08	5,60
1978	803	48,42	6,03
1979	106	6,41	6,05
1980	80	4,70	5,88
Totales	9.134,7	510,73	5,59

disperso y de bajo consumo individual, y una notoria --
disminución de las exportaciones, las cuales en la pri-
mera década de producción representaban un 85 por cien-
to del total extraído, y hasta el año 1965 absorbieron
un 52 por ciento de la producción acumulada. Las expor-
taciones alcanzaron su pico máximo en 1964, con 933 to-
neladas para luego caer a niveles insignificantes a par-
tir de 1966.

Las últimas exportaciones se registraron
en 1975 y 1976 con 45 toneladas y 50 toneladas respecti-
vamente.

Los principales países compradores de --
nuestros minerales de litio han sido Italia, EE.UU., --
Gran Bretaña, Chile y Brasil.

La provincia de San Luis ha sido la que --
ha demostrado mayor continuidad en la producción de mi-
nerales litíferos, no habiéndola interrumpido desde --
1954. Córdoba inició la extracción en 1959, alcanzando
un máximo de 779 toneladas en 1963 y registrándola por

Última vez en 1970. Ultimamente la producción litífera nacional tiene sus fuentes en las provincias de San -- Luis y Catamarca, no existiendo noticias de su explotación en otras áreas.

Si se considera el período 1973-1980 y -- se compara la producción total argentina con la mundial indicada en el Cuadro N° 4.9 puede verificarse que -- nuestro país contribuyó con aproximadamente un 0,15 por ciento a la disponibilidad mundial de minerales de li - tio, proporción realmente muy baja pese a ser sus reser - vas comparables a las de Namibia, por ejemplo.

La producción básica está centrada en la extracción de espodumeno, que constituye la fuente de -- litio más frecuente de nuestras pegmatitas, si bien varios yacimientos presentan, en forma subordinada, ambli - gonita, que se ha recuperado en cantidades del orden de las decenas de toneladas anuales en ciertos períodos de la década del 60. También en esa época se extrajeron -- toneladas similares de lepidolita en la mina San Elías, de San Luis, donde se encuentra en masas compactas de --

apariencia escamosa fina, con coloración violeta a blanquecina.

Mercado interno.

Como ya se comentó, el mercado local de minerales está constituido por las industrias de la cerámica blanca y de fabricación de esmaltes. Esporádicamente se produce alguna demanda por la industria de los materiales refractarios. Este mercado, pese al evidente desarrollo experimentado por las mencionadas industrias en los últimos años, no ha crecido, y aún se ha reducido, en lo que se refiere a la demanda de minerales portadores de litio, pudiendo atribuirse esta retracción a la falta de seguridad en el abastecimiento regular de esas materias primas, con una calidad constante que asegure un contenido de litio elevado y un bajo tenor de hierro, el cual podría ser reducido por un tratamiento químico adecuado.

En 1966 se estimaba un consumo local aparente del orden de las 480 toneladas, basado en la evo-

lución experimentada en el período 1959-1965, desde 135 toneladas a 440 toneladas, que permitía pronosticar para 1970 un consumo de 700 toneladas. No obstante eso, una consulta a los principales consumidores realizada en 1972, arrojó las siguientes necesidades (en toneladas anuales):

	Esposdumeno	Ambligonita
. Ferrum	30	-
. Porcelana Americana	70	9
. Ferro-Enamel ..	90	36
. Capea	60	10
. Lozadur	40	-
<hr/>		
. TOTALES	290	55

O sea que el mercado era de solamente -- 345 toneladas, y se pronosticaba un crecimiento para 1978 hasta 444 toneladas (372 toneladas de esposdumeno y 72 toneladas de ambligonita).

691

CUADRO N° 4 15 - IMPORTACIONES DE COMPUESTO DE LITIO.														
	1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980	
	t	US\$	t	US\$	t	US\$	t	US\$	t	US\$	t	US\$	t	US\$
28.28.00.01.02 Hidróxido de litio	136,6	218.405	78,2	310.593	119,7	347.673	389,8	1.103.159	76,6	241.506	31,3	109.245	65,2	221.343
28.30.00.01.14 Cloruro de litio	0,4	4.762	0,1	586	1,2	7.788	1,4	5.779	13(kg)	516	4(kg)	1.940	1,3	5.502
28.42.02.03.00 Carbonato de litio	131,4	209.470	5,4	16.164	0,8	4.485	24,0	54.417	11,5	11.803	5,9	18.387	40,8	78.225
TOTALES	268,4	432.637	83,7	327.343	12,7	359.946	415,2	1.163.355	88,1	253.825	37,2	129.572	107,3	505.070

En 1975, nuevas estimaciones del Banco Nacional de Desarrollo, colocaban el mercado interno - en las 300 toneladas, con lo cual se habría retrocedido a los consumos de 1962.

Actualmente el mercado nacional es prácticamente nulo, si bien el mercado potencial, de contarse con un suministro regular de espodumeno de bajo hierro y calidad constante, puede evaluarse en el orden de las 700 toneladas métricas anuales y podría llegar hasta 1.000 toneladas. Si se dispusiera de espodumeno, o, mejor aún, de ambligonita, de calidad controlada y reducido contenido de hierro, puede pensarse en la exportación principalmente a Japón, Italia y Francia.

Con respecto a los compuestos químicos del litio, que se importan totalmente, el hidróxido monohidratado fue tradicionalmente el más significativo con tonelajes que en los últimos años han sido muy variables, como puede observarse en el CUADRO N° 4.18, el cual muestra las importaciones realizadas desde 1974. Una estimación de la demanda actual del hidróxido para la fabricación de grasas, con un mercado en condiciones económicas normales, no suvesivas, según información de proveedores, indica la siguiente distribución:

Y.P.F.	150 t
ESSO	45 t
SHELL	20 t
KORAL PETROQUIMICA	15 t
RAGOR	5 t
CAMPLEJOGAR Y OTRAS	5 t
<hr/>	
TOTAL	240 t
<hr/>	

Un consumo de esta magnitud significaría, a los precios actuales una erogación en divisas del orden de los 900.000 dólares.

El carbonato de litio se importó anteriormente en pequeñas cantidades, para empleo en cerámica y vidrios especiales, para elaboración de otras sales de litio y para usar en soldadura, pero en los últimos años la industria del aluminio ha comenzado a utilizarlo regularmente. La planta de aluminio primario de Puerto Madryn (ALUAR S.A.I.C.) en su régimen actual de

producción, agrega carbonato de litio al 25 por ciento de sus cubas electrolíticas. En este régimen su consumo anual sería de unas 160 toneladas, y podría alcanzar las 640 t/año si se llegara a utilizar el litio en la totalidad de las cubas. Al precio de las últimas cotizaciones la importación de carbonato de litio demandaría, para este fin, unos U\$S 2.000.000.- (Valor FOB).

. Algunas empresas cerámicas, como Ferrum y Ferro-Enamel, al no poder obtener espodumeno o ambli-gonita en cantidad suficiente y calidad adecuada, importan de 4 a 12 toneladas anuales de carbonato, equivalente a 30-90 toneladas de espodumeno de 5,5 por ciento Li_2O , pero que contiene solamente 0,0013 por ciento de hierro. Su demanda potencial es muy superior a los citados tonelajes.

Los principales proveedores de compuestos de litio a nuestro país son los EE.UU., la Unión Soviética y Alemania Occidental.

4.3. AMBITO PROVINCIAL.

4.3.1. Actividad Extractiva.

El primer registro estadístico de producción de minerales de litio en la provincia de Catamarca es de 1959, con 4 toneladas extraídas, pero la producción en forma continuada solamente se inició en el año 1963, con algunos yacimientos de la sierra de Ancasti, -- próximos a la localidad de Vilisman, Departamento de El Alto, como la mina Reflejos de Mar. Este depósito es -- del que mayor tonelaje de espodumeno se ha extraído, -- unas 1.000 toneladas en los primeros años de explota -- ción. La Mina Juan Carlos, en la misma área, también -- ha experimentado una explotación superficial, así como La Culpable, Loma Pelada, La Herrumbra y Campo El -- Abra.

La producción catamarqueña de minerales -- de litio se muestra en el CUADRO N° 4.19, en el cual se puede apreciar que hubo continuidad en la explotación -- hasta 1970, recomenzando muy lentamente en 1973 y que -- dando paralizada en 1979; en 1976 y 1977 se alcanzaron --

CUADRO N° 4.19 - PRODUCCION DE MINERALES DE LITIO EN CATAMARCA.

AÑO	Producción total de minerales (t)	Contenido de Li_2O (t)	Ley media del mineral (% Li_2O)
1959	4	0,26	6,44
1963	127	6,99	5,50
1964	402	23,84	5,93
1965	353	21,18	6,00
1966	47	2,57	5,47
1967	102	4,97	4,87
1968	10	0,43	4,33
1969	13	0,65	5,00
1970	129	6,85	5,31
1973	3	0,15	5,00
1974	14	0,70	5,00
1975	47	2,84	6,04
1976	278	16,34	5,88
1977	252	15,04	5,97
1978	80	5,04	6,30
TOTALES	1.861	107,85	5,80

niveles algo más significativos de extracción, concor -
dantes con la mayor producción que hubo en todo el país.
Esta producción fue incentivada por las compras del Ban -
co Nacional de Desarrollo, que en 1977 tenía acumuladas
alrededor de 400 toneladas de mineral, solamente en sus
depósitos de Catamarca. En este período estuvieron --
activas principalmente las minas Santa Gertrudis e Ipiz -
ca II, próximas a la localidad de Ancasti, en el Depar -
tamento del mismo nombre.

Comparando la producción provincial del -
Cuadro N° 4.19 , con la producción del país, resumida -
en el Cuadro N° 4.17 , se aprecia que Catamarca ha su -
ministrado algo más del 20 por ciento (y más del 21 por
ciento considerando el litio contenido), y si se toman -
en cuenta solamente los años en que la provincia mantu -
vo sus yacimientos activos se concluye que llegó a pro -
veer casi el 30 por ciento del litio en esos períodos.

Es interesante observar que estos magros resultados productivos se han alcanzado a pesar de contar la provincia con un 63 por ciento de los recursos -- inferidos totales del país, tales como figuran en el -- Cuadro N° 4.16, y ser la mayoría de sus yacimientos conocidos (20) de un volumen superior al de los de otras provincias.-- También el tamaño de los cristales de espodumeno presente en ellos es generalmente mayor (de medio a muy grueso), lo que facilita la selección manual.

Otras estimaciones de reservas superiores a las del Cuadro N° 4.16 , para las Minas Juan Carlos, 19.000 toneladas, y Santa Gertrudis, 25.000 toneladas (Revista Panorama Minero N° 39, Julio 1980), harían subir las principales reservas de litio contenido en el mineral recuperable a unas 1.500 toneladas, las que explotadas racionalmente brindarían una producción de espodumeno -- con un mínimo de 5,5 por ciento Li_2O , a un nivel de las 200 toneladas mensuales por 25 años, lo que permitiría encarar exportaciones, probablemente al Japón. Un aprovechamiento integral de las pegmatitas resultaría además en tonelajes significativos de espodumeno y cuarzo, mate --

rias primas para la industria cerámica, y también mica, de múltiples usos.

Al igual que en el resto del país, las tareas de explotación en los yacimientos provinciales se han llevado a cabo en forma manual, con una recuperación en mina estimada en un 15 por ciento. Es evidente que en una futura reactivación de la minería del litio se deberán adecuar las técnicas de explotación mecanizando las tareas, y utilizar procesos de concentración que tendrán que ser estudiados en laboratorio y planta piloto.

Las operaciones de beneficio podrán incluir calcinación y molienda diferencial, flotación, separación magnética y tratamiento químico para reducir el contenido de hierro, ya que hay minerales con más de 2 por ciento de Fe_2O_3 .

Se aconseja realizar un estudio regional del área localizada entre los Departamentos Ancasti y El Alto, en una faja de 50 km de largo por 10 km. de

ancho, que permita localizar nuevos cuerpos pegmatíti -
cos portadores de litio y aumentar el número de yaci --
mientos conocidos (unos 20 actualmente).

No pueden dejar de mencionarse aquí las
investigaciones realizadas por el Departamento de Geolo -
gía Económica de la Comisión Nacional de Investigacio -
nes Espaciales, que han permitido localizar importantes
acumulaciones de salmueras ricas en metales alcalinos, -
principalmente litio y potasio, en la región de la Puna.

Uno de los rasgos más característicos de
las áreas deprimidas de la Puna, es la presencia de "sa -
lares". En general, se trata de lagos salados, en la -
mayoría de los casos completamente secos y cubiertos --
por una costra salina superficial (principalmente de --
cloruro de sodio) cuyo espesor varía entre unos centíme -
tros y más de un metro. Debajo de esta costra existen -
variedades de sedimentos lacustres y otras capas de sal.
No se conocen los espesores de dichas capas, pero las -
dimensiones superficiales de los salares varían desde -
unos pocos kilómetros cuadrados hasta 1.500 km². Los se

dimentos, o las capas salinas porosas, contienen salmueras saturadas o casi saturadas en cloruro sódico. Estas salmueras son portadoras de otros iones, tales como HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$, $\text{B}_4\text{O}_7^{=}$, K^+ , Li^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , etc.

El Departamento de Geología Económica de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, inició un muestreo indicativo de salmueras superficiales y de profundidades someras en marzo de 1979. De los numerosos salares existentes en la Puna argentina fueron seleccionados, en la primera etapa de prospección, los 14 principales, con el objeto de efectuar un muestreo indicativo. Luego de esta etapa de muestreo intensivo y análisis químicos completos, surgió como primera prioridad el estudio de la cuenca del salar del Hombre Muerto, en su sector occidental, el cual se destaca netamente del resto de los salares estudiados, ya que los contenidos absolutos de litio son 2,5 a 3 veces los de una salmuera que se explota comercialmente en los EE.UU. Además, las proporciones de litio y potasio, en un lote de muestras suficientemente representativas de la salmuera del salar del Hombre Muerto, son las más elevadas que se hallaron en la región de la Puna.

Un muestreo sistemático en dicho salar - verificó que los contenidos más frecuentes de Li^+ en la salmuera, se encuentran en un rango de 0,7 - 0,8 g/l -- confirmándose las expectativas creadas alrededor de este recurso. Si bien aún faltan realizar diversos ensayos de bombeo y de concentración de la salmuera, además de otras prospecciones complementarias para cuantificar las reservas y verificar la factibilidad de su explotación, puede estimarse la existencia de varios centenas de miles de toneladas de litio en solución, lo que sería muy ventajoso para su recuperación como carbonato de litio y su posterior transformación en otros productos químicos.

Esta situación de existencia en la misma provincia de un recurso litífero de gran magnitud, que podrá ser utilizado en el futuro para la obtención de compuestos químicos del litio, hace que por lo menos en una primera etapa, y hasta conocer cómo evoluciona el conocimiento de dicho recurso, se encare la explotación del espodumeno en Catamarca exclusivamente para su utilización como mineral, en el mercado nacional e incluso para exportación. En función de la marcha de los estu

dios y proyectos que puedan surgir vinculados con el Sal lar del Hombre Muerto, y de la evolución del mercado interno de los compuestos del litio podrá, en una segun da etapa, encararse la fabricación de carbonato e hi dróxido de litio a partir del espodumeno.

4.3.2. Aspectos económicos.

Para determinar con certeza los posibles rendimientos económicos de los yacimientos conocidos se aconseja la práctica de labores de exploración que permitan evidenciar la constancia de composición a lo largo de las corridas y en profundidad. Estos conocimientos permitirían establecer programas de extracción racionales y estimar los costos de explotación.

La mayoría de los yacimientos provinciales presentan reservas interesantes y una localización relativamente favorable con respecto a las rutas de -- acceso.

De mediar una demanda económicamente favorable de las industrias cerámicas y del vidrio, sería factible la reactivación de algunos de estos yacimientos siempre que se realizara una explotación racional, con un -- aprovechamiento integral de los varios minerales componentes de las pegmatitas, utilizando en lo posible, medios mecanizados para la extracción y efectuando concentración de los minerales por los métodos más adecuados para lograr la máxima recuperación y obtener las calidades requeridas -- por los usuarios a costos aceptables.

Como medida previa a la realización de -- inversiones, que en el caso de una planta de concentración pueden ser importantes, debería realizarse un relevamiento de todos los yacimientos de la provincia para -- confirmar y precisar las estimaciones de recursos, tratando de transformarlas en "reservas medidas" en el mayor grado, e incorporar nuevas reservas.

Verificada la existencia de reservas, un muestreo representativo de los yacimientos más importantes, con el análisis químico y mineralógico de las mues

tras, seguidos de ensayos de beneficio en planta piloto, permitirá realizar una estimación de inversiones, de costos y de los subproductos recuperables. Con esta información podrá finalmente evaluarse la factibilidad económica de instalar una planta regional para el tratamiento del mineral de diversos yacimientos, considerando que todos ellos se encuentran en un área restringida y que no se incrementarían exageradamente los costos -- del transporte si se seleccionara una localización óptima de la planta tomando en cuenta los tonelajes a transportar de cada yacimiento, la disponibilidad de agua, infraestructura y mano de obra.

El precio actual en el mercado local es puramente nominal, ya que el Banco Nacional de Desarrollo tiene suspendidas sus compras desde hace algunos -- años ante la cantidad de espodumeno acumulada en sus depósitos. El precio publicado, que se mantiene desde hace unos cinco años es de 23.180 \$/t, para 5 por ciento Li_2O , en agencia del B.N.D.

4.4. CONCLUSIONES.

Del panorama anterior puede apreciarse que las reservas mundiales de minerales de litio no resultan demasiado grandes frente a una demanda para la cual se prevé un explosivo crecimiento. El carácter de material estratégico asumido por el litio, que podrá además transformarse en crítico en un futuro más o menos próximo, ha hecho surgir un gran interés en diversos países por aumentar las reservas conocidas de los minerales litíferos. También se han planteado dudas sobre las posibilidades de la industria actual del litio de satisfacer un gran aumento de la demanda mundial, diversificada en un gran número de industrias pero con enormes perspectivas de desarrollarse fundamentalmente en el sector de generación y conservación de la energía.

Existiendo un mercado mundial de minerales de litio de alta calidad, del orden de las 60.000 toneladas anuales de espodumeno equivalente, y poseyendo nuestro país reservas bastante significativas, resultaría razonable que participara de dicho comercio inter-

nacional, máxime cuando además existe una demanda interna no satisfecha por falta de continuidad de suministro.

La provincia de Catamarca cuenta con las mayores reservas identificadas del país, las que asegurarían, bien explotadas, una producción de concentrados de espodumeno, con un mínimo de 5,5 por ciento Li_2O , de 200 t mensuales por 25 años. Esta producción permitiría desarrollar suficientemente al mercado interno y exportar, si la calidad fuera consistente y se redujera el contenido de óxido férrico a niveles del 0,15 por ciento. Considerando los precios internacionales más bajos actualmente, los del mercado americano, una producción como la mencionada significaría ingresos del orden de los U\$S 400.000 anuales.

Se aconseja realizar un estudio regional, con el relevamiento de todos los yacimientos de la provincia y la posible localización de nuevos cuerpos - pegmatíticos, para lograr una cuantificación precisa de las reservas. Estas tareas deberían incluir labores de exploración que permitan evidenciar la constancia de -

composición a lo largo de las corridas y en profundidad. Estos conocimientos permitirían establecer programas de explotación racionales, con un aprovechamiento integral de los varios minerales componentes de la pegmatita, utilizando en lo posible medios mecanizados para la extracción, y además estimar los costos de explotación.

Verificadas las reservas, un muestreo representativo de los yacimientos más importantes, con el análisis químico y mineralógico de las muestras, seguidos de ensayos de beneficiación, en laboratorio y - planta piloto, permitiría realizar una estimación de inversiones, costos y subproductos recuperables. Todas estas informaciones constituirían los datos básicos para un análisis de la factibilidad técnica y económica de la instalación de una planta regional para el tratamiento de minerales de diversos yacimientos, considerando que todos ellos se encuentran en un área relativamente restringida.

Es evidente que la utilización de técnicas modernas de explotación y el empleo de procesos de concentración, que incluyeran un tratamiento químico para reducir el tenor de hierro, permitirían un aprovechamiento de la mayor parte del mineral, incluyendo aquél de granulometría fina, evitándose la degradación del yacimiento.

En una primera etapa, y hasta que se defina la futura exploración del Salar del Hombre Muerto para la obtención de carbonato de litio, debería encararse el aprovechamiento de los yacimientos catamarqueños de espodumeno, exclusivamente para su utilización como mineral de alta calidad.

5 - BERILIO

5.1. AMBITO INTERNACIONAL.

5.1.1. Aspectos industriales y tecnológicos.

Definiciones.

El berilio (Be), llamado en Francia también glucinio, por el sabor dulce de sus sales, pertenece a los metales alcalinotérreos, del grupo principal - II del sistema periódico. El metal tiene color gris -- acerado, es resistente bajo una fina capa de óxido y tiene las siguientes características principales:

Número atómico ..4	Calor específico:	Conductividad eléctrica 1/12 Cu,
Peso atómico.....9,0122	a 0°C.....0,3756	
Volumen atómico..4,94	a 1000°C.....0,4702	Soluble en álcalis - en solución acuosa
Temperatura de/ fusión1287,0°C	a 500°C.....0,6206	
Temperatura de/ ebullición....2970,0°C		
Densidad..... 1,846	Forma cristalina: hexagonal	Insoluble en HNO ₃

Descubierto por Vauquelin, en 1798 en el mineral berilo, fue obtenido el berilio metálico por primera vez por Wöhler, en 1828, en forma de polvo impuro -

reduciendo el cloruro de berilio con potasio metálico.- En Francia, en 1899, Lebeau obtuvo pequeños cristales hexagonales de berilio por electrólisis y preparó por primera vez aleaciones de cobre y berilio, por reducción directa del óxido de berilio con carbón en presencia de cobre. En Alemania, Osterheld, publicó en 1916, los diagramas de equilibrio del berilio con cobre, aluminio, plata e hierro. En ese mismo año se produjeron las primeras cantidades comerciales de berilio metálico en lingotes, en los EE.UU. El descubrimiento de que la adición del berilio al cobre forma una aleación que presenta propiedades mecánicas notablemente superiores a las del cobre puro llevó en 1926, al desarrollo de los primeros usos industriales significativos de este metal liviano.

Hasta después de la 2da. Guerra Mundial - el crecimiento en la utilización del berilio metálico o de los compuestos químicos del berilio, fue muy pequeño debido a que los métodos de extracción son muy difíciles y costosos, y a que el metal producido inicialmente presentaba una estructura de granos gruesos, muy frágil y difícil de maquinar. No obstante, el mercado para las

aleaciones de cobre-berilio se desarrolló aceleradamen -
te.

Luego de la 2da. Guerra Mundial, las muy especiales propiedades de este metal liviano, su alta re sistencia mecánica y excelentes características antico - rrosivas, llevaron a dedicarle grandes esfuerzos de in - vestigación para aumentar su disponibilidad y desarro -- llar técnicas para extraerlo, refinarlo, maquinarlo y -- utilizarlo en diversas industrias, tales como la nuclear, aeroespacial, eléctrica y electrónica. Pero aún así el alto costo del berilio y sus derivados hace que se los - emplee solamente allí donde resulta indispensable por sus características únicas. Mejoras en las tecnologías de - procesamiento y conformación, con reducciones concomitan - tes en el costo de producción, ampliarían significativa - mente las áreas de aplicación del berilio.

El berilio y sus compuestos causan en las personas que trabajan con ellos enfermedades (beriliosis) perniciosas, a menudo mortales, cuya aclaración y reme - dio definitivos no han sido conseguidos todavía por la -

medicina. Se producen por absorción de berilio, por los pulmones o por la vía sanguínea, y los síntomas son cansancio, pérdida de peso, disnea y granulomatosis pulmonar con afecciones cardíacas secundarias; también se señalan afecciones de la piel, granulomas subcutáneos y úlceras. El efecto tóxico es debido a los iones de Be que desplazan a los iones de Ca y Mg en los fluidos del cuerpo, y se supone que influyen en el metabolismo de los hidratos de carbono; este efecto es aumentado por aniones nocivos (F). Por consiguiente, al tratar con berilio, se deben considerar a conciencia las medidas preventivas correspondientes (ventilación, máscaras, limpieza, y vigilancia médica). Adicionalmente, se piensa que el berilio y algunos de sus compuestos son carcinógenos.

El berilio es uno de los metales más livianos, y sus propiedades físicas y químicas lo hacen muy útil para muchas aplicaciones, tanto en la forma directa como metal, así como en la forma de óxido cerámico. El metal posee una gran rigidez, que excede la de los otros metales, incluido el acero, también su alto calor específico y elevada conductividad térmica, unidos a la baja densidad, resultan en muy útiles propiedades de di-

sipación del calor; la relación resistencia mecánica: -
peso es muy alta. El berilio actúa como un dispersor -
de neutrones, cambiando su dirección y reduciendo su --
energía si ésta es apreciable. De esta manera puede --
actuar como moderador de neutrones y como reflector en
los reactores nucleares. La resistencia a la corrosión
del berilio es muy elevada, superficies pulidas retie -
nen su brillo por años; la oxidación en aire comienza a
los 700°C, y en ausencia de oxígeno, el nitrógeno lo --
ataca por sobre los 900°C con formación de nitruro ---
(Be_3N_2).

El óxido de berilio, llamado berilia, po
see gran resistencia al choque térmico y propiedades de
aislación eléctrica, es muy refractario (P.F. 2570°C) y
presenta una elevada transparencia a las micro-ondas.-
También es de gran resistencia mecánica, baja densidad -
y buena conductividad térmica.

. Minerales de berilio.

El contenido de berilio en las rocas de la corteza terrestre se ha estimado entre 4 y 6 ppm, pero se considera que es una estimación baja, debido a que la limitada demanda ha brindado pocos incentivos para la exploración. Si la demanda se incrementara, el berilómetro se constituiría en un poderoso instrumento de campo en futuras exploraciones. De los 45 minerales identificados que lo contienen solamente el berilo y la bertrandita tienen importancia comercial hoy en día.

El mineral más importante de berilio, y durante muchos años el único explotado, es el berilo, -- complejo alúmino-silicato, que, cuando puro, contiene -- 14 por ciento de berilia, o alrededor de 5 por ciento de berilio. Este mineral se encuentra ampliamente distribuido en pegmatitas no zonadas de grano fino, y en pegmatitas zonadas de grano grueso, cuyas texturas varían marcadamente según las zonas de los cuerpos mineralizados. Los minerales que lo acompañan son el cuarzo, la plagioclasa sódica y el microclino, con o sin espodumeno, muscovita y lepidolita. Es muy estrecha la asociación en

tre el berilo y el espodumeno, en general son pocas las pegmatitas portadoras de espodumeno en las que falta el berilo. En las pegmatitas, no zonadas el espodumeno y el microclino, en cristales desde pocos centímetros hasta algunos metros, están rodeados por una matriz de finos granos de albita, cuarzo, muscovita y berilo, constituyendo este último alrededor del 0,5 por ciento de la pegmatita. El bajo contenido y el pequeño tamaño de los cristales ha impedido su recuperación a partir de estas pegmatitas, aún por medio de flotación. Las pegmatitas zonadas, gruesas, son las que han producido casi todo el berilo utilizado por la industria. Aquí los cristales de berilo pueden llegar a medir 6m de longitud y 1m de ancho, y generalmente se ubican en las márgenes de los núcleos de la pegmatita.

Muestras de berilo comercial, normalmente obtenidas por selección manual de grandes trozos o cristales, generalmente contienen alrededor de 11 por ciento BeO , debido a la presencia de componentes accesorios como álcalis, óxidos de hierro, cal, magnesia, fósforo y azufre; además la substitución parcial del berilio por sodio, litio o cesio en la red cristalina hace

que el contenido de berilio en los minerales comerciales puede ser hasta de 3,4 por ciento.

El berilio está contenido además, en depósitos no pegmatíticos, de origen hidrotermal. En estos depósitos también se encuentra la bertrandita, $4\text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, que está presente en grandes cantidades en Spor Mountain, Utah, EE.UU., en mantos de ceniza riolítica, donde una gran parte de los clastos de calcáreos y de lomita en ellos contenidos han sido reemplazados por montmorillonita, sílice, fluorita y bertrandita. Los depósitos, descubiertos en 1959 y explotados desde 1969, constituyen la principal fuente de berilio para los EE.UU. Se los supone de origen epitermal, derivados de soluciones hidrotermales ricas en flúor que actuaron a poca profundidad. Las reservas de este mineral promedian un contenido inferior al 1%BeO, y si bien se presenta con un grano más fino que lo que lo hace normalmente el berilo (3,2 a 0,025 mm) no pudiendo ser beneficiado por métodos físicos convencionales, tiene la ventaja que puede ser explotado, a cielo abierto, en "open pit", y luego ser tratado por lixiviación ácida para extraerle el berilio.

Otros minerales de berilio, tales como --
crisoberilo, barilita, fenacita y helvita, no revisten -
actualmente importancia económica ni pueden ser tratados
en las plantas de extracción existentes. Pero debe seña
larse que la búsqueda de nuevas fuentes de berilo, u ---
otros minerales de berilio se ha incrementado últimamen
te, dando como resultado un aumento significativo de los
precios de berilio en el mercado mundial. Se presentan
también pequeñas cantidades de Be en las bauxita, y po -
dría obtenerse en la extracción de la alúmina. El análi
sis de diversos carbones indica un contenido de 3 ppm Be
que se llega a concentrar hasta 0,1 - 1,0% en las cení -
zas volantes, éstas podrían representar una importante -
reserva en el futuro si la demanda excediera la disponi
bilidad de los minerales comunes. En el CUADRO N° 5.1.
se resumen las propiedades de los minerales más comunes.

. Grados y especificaciones.

La bertrandita, producida únicamente en -
los EE.UU., no se comercializa, por ser una producción -
cautiva, pero el berilo es comprado sobre la base de uni

CUADRO N° 5.1 - CARACTERISTICAS DE LOS MINERALES DE BERILIO.					
MINERAL	FORMULA	CONTENIDO USUAL de BeO (%)	DUREZA	DENSIDAD (g/cm3)	TAMAÑO DE LOS CRISTALES (CM)
BERILO	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} \\ (3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2) \end{array} \right\}$	12 - 13,5	7,5	2,6 - 2,9	< 0,2 - 60
BERTRAN DITA	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_2 \\ (4\text{BeO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) \end{array} \right\}$	42	6	2,6	< 0,002 - 0,3
FENACITA	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Be}_2\text{SiO}_4 \\ (2 \text{ BeO} \cdot \text{SiO}_2) \end{array} \right\}$	45	7,5	2,9 - 3,0	< 0,2 - 5
CRISOBE- RILO	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Al}_2\text{BeO}_4 \\ (\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) \end{array} \right\}$	19,8	8,5	3,5 - 3,8	< 0,2 - 5
HELVITA	$(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})_4 \text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}$	11 - 14	5,5-6,5	3,16 - 3,66	< 0,2 - 7,5
BARILL- TA	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ba Be}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \\ (\text{BaO} \cdot 2\text{BeO} \cdot 2 \text{ SiO}_2) \end{array} \right\}$	16	7	4	< 0,2

dades de tonelada corta (20 libras) de óxido contenido.-
En los EE.UU. la especificación de compra, P-6-R4 (10-3-1972), de la Reserva Estratégica (National Stockpile) -- exige un mínimo de 10 por ciento Beo.

Los grados comerciales de berilo contie -
nen 70-90 por ciento de ese mineral, con 10-13% Beo, y -
además 16-19% Al_2O_3 , 64-70% SiO_2 , 1-2 por ciento óxidos -
alcalinos y 1-2 por ciento de óxido de hierro y otros --
elementos (composición teórica 14%BeO, 19% Al_2O_3 , 67% SiO_2).

La aleación madre de cobre-berilio contie -
ne normalmente 4%Be, y en el uso es fundida con cantida-
des adicionales de cobre para obtener las aleaciones más
comunes, que generalmente contienen 2%Be. La especifica
ción para compra, por la mencionada Reserva de los EE.UU.
de aleación madre (N.S.P.E.P-94-R2, del 17-11-1970), exi
ge un contenido de Be entre 3,75 por ciento 4,50 por --
ciento, así como un máximo de 0,72 por ciento de otros -
elementos; generalmente hay presente 0,1 por ciento, o -
menos, de Fe, Si y Al.

En cuanto al metal, la especificación P-110-R1 (31-1-1971) exige un mínimo de 99%Be, con un máximo de óxido y nitruro de berilio de 1 por ciento, y los otros elementos totalizando no más de 0,6707 por ciento. Metal refinado electrolíticamente cumple normalmente las siguientes especificaciones de impurezas máximas:

. hierro.....	300 ppm
. aluminio	100 ppm
. silicio	100 ppm
. carbono	300 ppm
. níquel	200 ppm
. magnesio	60 ppm
. cobre	50 ppm

Como referencia adicional, la Reserva Estratégica de los EE.UU. tiene en depósito 16.330 t de berilio (11% BeO), 7.170 t de aleación madre de cobre-berilio, y 360 t de berilio metálico.

El óxido de berilio, o berilia, en polvo, para sinterizar en piezas cerámicas y refractarias altamente especializadas, se produce con un mínimo de 99,8 -

por ciento de pureza, en diversos grados, con granulometría muy fina.

. Reservas y recursos.

Los depósitos pegmatíticos de berilo son los más frecuentes, resultando los del Brasil los más importantes del mundo. En ese país el berilo está presente en dos zonas principales, una central, en Minas Gerais y sur de Bahía, y otra en los Estados del Nordeste (Ceará, Río Grande do Norte, Paraíba y Alagoas). En el Brasil son también abundantes las variedades usadas en joyería, esmeralda y aguamarina. Pegmatitas zonadas del Africa frecuentemente resultan portadoras de berilo, en algunos casos son las mismas que contienen minerales de litio, en Sudáfrica, Zimbabwe, Namibia, Zaire, Mozambique, Uganda y Ruanda. También se encuentra berilo en Kenya, Angola y Madagascar. En ciertos casos se explota conjuntamente con columbita-tantalita, estaño, bismutinita y espodumeno.

La Argentina posee también significativas reservas de berilo en las pegmatitas de las Sierras Pampeanas y llegó a ser un importante proveedor mundial. La India, Portugal, Marruecos, Afganistán y Australia son, o fueron, países productores de berilo, en algún caso importantes, si bien numerosos depósitos están hoy agotados.

Las reservas de la Unión Soviética estarían constituidas por berilo presente en depósitos no pegmatíticos ubicados al sur de los Urales y en pegmatitas de la península Kola y otras varias regiones. Las reservas de los EE.UU. son también de yacimientos hidrotermales, principalmente los mencionados de bertrandita. También existen en ese país recursos berilíferos no pegmatíticos en Nuevo México (helvita), Colorado (berilo, bertrandita, euclase), Nevada (fenacita, bertrandita) y Alaska (crisoberilo y bertrandita). En el Canadá se conocen depósitos de barilita, presente en vetas de cuarzo y albita.

En el CUADRO N° 5.2. se dan las estimaciones realizadas por el U.S. Bureau of Mines, basadas en -

CUADRO N° 5.2 - RECURSOS MUNDIALES DE BERILIO. (En toneladas métricas de metal contenido).			
	RESERVAS	RECURSOS	TOTAL
AMERICA DEL NORTE			
EE.UU.	25.400	47.200	72.600
Canadá	-	22.700	22.700
México	-	1.800	1.800
AMERICA DEL SUR			
Argentina	25.400	46.300	71.700
Brasil	139.700	256.700	396.400
AFRICA			
Mozambique	5.400	11.800	17.200
Ruanda	10.900	20.000	30.900
Sudáfrica	15.400	29.000	44.400
Uganda	14.500	26.300	40.800
Zaire	7.300	13.600	20.900
UNION SOVIETICA	60.800	111.600	172.400
AUSTRALIA	10.900	19.000	29.900
INDIA	64.400	118.800	183.200
<u>TOTAL MUNDIAL</u>	<u>380.100</u>	<u>724.800</u>	<u>1.104.900</u>

las mejores informaciones disponibles sobre yacimientos conocidos, si bien con un alto grado de incertidumbre dadas las dificultades para determinar los contenidos de minerales en pegmatitas. La estimación global puede considerarse conservadora.

. Tecnologías de extracción y procesamiento.

En la mayoría de los yacimientos del mundo el berilo es recuperado como uno más de varios minerales presentes en las pegmatitas, tales como feldespatos, mica, minerales de litio, columbita-tantalita y casiterita. Los rendimientos en berilo son muy variables, dependiendo de los yacimientos, pero la recuperación suele ser muy baja, generalmente inferior al 30 por ciento del berilo presente en las pegmatitas zonadas de grano grueso.

La explotación de las pegmatitas es generalmente iniciada en los afloramientos, donde pueden ser rápidamente evaluadas en cuanto a su contenido de minerales

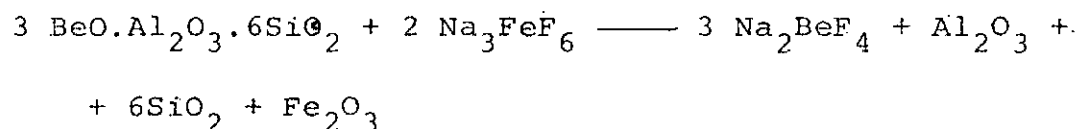
les comercializables, abriéndose cortes de cantera, trincheras y pozos. Estos trabajos son realizados por perforación y voladura, cuidando en lo posible que los disparos no destrocen los cristales de berilo presentes. Se procede luego a una separación y selección manual del berilo y otros minerales valiosos; muchos trozos de roca son rotos con martillos para limpiar y separar estos minerales, produciéndose gran cantidad de estériles. En algunas explotaciones mayores, la roca volada es triturada y pasada por correas transportadoras de manera que la selección pueda ser realizada más eficientemente, los trozos descartados en esta primera selección pueden aún ser molidos para una segunda selección. Cuando las condiciones del yacimiento lo permiten, la explotación puede ser mecanizada. En algún caso se ha utilizado la flotación para concentrar el berilo, moliendo a malla 35 para lograr la liberación de los cristales del cuarzo y del feldespatos; el agregado de jigs en el circuito permite separar minerales pesados como casiterita y columbita-tantalita. Como ejemplo, la Northwest Beryllium Corporation de EE.UU. hace unos años, producía a partir de una pegmatita de Dakota del Sur, seis productos comercializables que constituían de 75 a 85 por ciento del mineral -

de cabeza: mica, feldespatosódico, arena para fabricación de vidrio (con 0,004% Fe_2O_3), concentrado de columbita-tantalita (con 18-20% Ta_2O_5), concentrado de estaño (con 68% Sn) y un concentrado de berilo con 10,5% BeO . Actualmente pueden utilizarse selectores ópticos (Sortex) para separar el berilo aprovechando su color verdoso o azulado.

Para la extracción del berilio partiendo del berilo existen fundamentalmente dos procesos. El proceso Kjellgren-Sawyer, comprende la fusión completa del mineral a 1.625°C con un rápido enfriamiento en agua de la masa fundida para obtener un vidrio, que es secado, molido a malla 200 y lixiviado con ácido sulfúrico concentrado a $250-300^\circ\text{C}$, pasando el aluminio y el berilio a la forma de sulfatos. Estos sulfatos son disueltos con agua caliente, el aluminio se precipita luego con sulfato de amonio, y finalmente el berilio se separa como hidróxido con hidróxido de sodio. El hidróxido es calcinado a óxido de berilio. El berilio también puede ser separado de la solución ácida inicial por medio de extracción líquido-líquido.

Este método que consume grandes cantidades de energía, solamente se puede utilizar con berilo concentrado (BeO superior al 10%), de grano grueso; no se aplica a minerales pobres, o a concentrados, de grano fino, ni a minerales diferentes al berilo. El rendimiento del proceso es del 80 por ciento en berilio.

El proceso Copaux-Kawecki, o al fluoruro, consiste en el calentamiento del berilo con fluoruro férrico-sódico (Na_3FeF_6), a 750 °C por aproximadamente una hora, de manera de producir la reacción:



Para lograr esto se muele el mineral, se mezcla con la solución de fluoruro y la pasta se extrude para formar briquetas que son sinterizadas. Los productos de reacción se muelen en húmedo y el fluorberilato de sodio se extrae con agua, por ser insolubles todos los otros productos, que se separan por filtración. La solución filtrada se trata con hidróxido de sodio para formar berilato de sodio en solución, precipitándose hi-

dróxido de berilio por ebullición. Este proceso puede tratar minerales pobres, de grano fino, concentrados de flotación e incluso se aplica si el berilio está contenido en minerales que no son berilo. La presencia de apatita y fluorita, que frecuentemente acompañan a los minerales pegmatíticos y no pegmatíticos respectivamente, reducen la recuperación del berilio por el fluoruro, con lo cual es necesario verificar la aplicabilidad de los dos métodos disponibles, con sus variaciones, para cada mineral en particular antes de elegir alguno de ellos y seleccionar las condiciones de operación. El proceso al fluoruro, de no existir los contaminantes indicados, tiene un rendimiento del 90 por ciento.

En los EE.UU. la bertrandita, contenida en las tufitas de Utah, es extraída a cielo abierto y sometida a una molienda húmeda hasta 20 mallas, formándose una pulpa tixotrópica que es luego lixiviada con ácido sulfúrico al 10 por ciento, a temperaturas próximas a la ebullición. La solución de sulfato de berilo formada es separada de los sólidos no reaccionados a través de una serie de espesadores en contra corriente. El berilio en solución (0,4 - 0,7 g/l) es concentrado a través

de un proceso de extracción con solventes, utilizando un sistema orgánico consistente en ácido di(2-etil-hexil) - fosfórico, en querosen, que retiene selectivamente el berilio, dejando el aluminio, el magnesio, el hierro y otras impurezas menores, en la solución acuosa. El berilio es recuperado de la fase orgánica con una solución acuosa de carbonato de amonio, precipitándose de ella como hidróxido por calentamiento. El hidróxido es posteriormente procesado para obtener el metal, por redisolución con fluoruro de amonio, purificación y calentamiento para obtener fluoruro de berilio, que una vez seco es fundido en un horno de inducción con revestimiento de grafito, y reducido con magnesio. Se utiliza una cantidad de magnesio menor que la estequiométrica para que el exceso de fluoruro de berilio actúe como fundente permitiendo una menor temperatura de trabajo. El berilio flota sobre la escoria fundida permitiendo su separación luego de la solidificación.

El berilio es usualmente procesado por técnicas de metalurgia de polvos debido a que los productos fundidos tienen tendencia a desarrollar una estructura de granos gruesos, que resulta en fragilidad y baja resistencia.

cia a la tracción. El metal colado en lingotes al vacío se maquina para formar virutas que se muelen, en una atmósfera inerte, para obtener el polvo, el cual es compactado a su forma final, generalmente por prensado en caliente bajo vacío. La eficiencia total de la producción de los productos metálicos formados de berilio, partiendo del berilo, es aproximadamente del 60-65 por ciento.

Las aleaciones madre de cobre-berilio se fabrican en hornos eléctricos a 1.800 °C-2.000 ° C, en los cuales se carga el óxido con carbón y cobre, generalmente chatarra. En la reducción se obtiene la aleación con 4,0 4,25 por ciento de Be, que es luego refinada. La eficiencia para la obtención de aleación es del 70 por ciento.

Usos.

El berilio en sus múltiples formas y productos, tiene numerosos y diversificados usos, desde resortes en miniatura para interruptores electrónicos, has

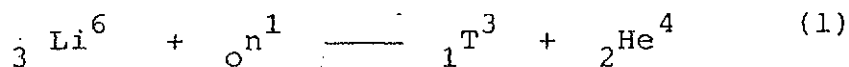
ta zapatas para frenos y corazas térmicas para aplicaciones aeroespaciales. No obstante, la mayoría de estas aplicaciones requiere cantidades relativamente pequeñas del metal. El CUADRO N° 5.3 muestra la distribución de los usos del berilio y sus compuestos en los EE.UU., principales productores y consumidores mundiales. Se estimó que alrededor del 70-80 por ciento del berilio consumido en ese país, lo es en forma de aleaciones de cobre-berilio, el 10-20 por ciento bajo la forma de óxido, y el resto 5-10 por ciento, como metal. Alrededor del 20 por ciento de la demanda es requerida para aplicaciones nucleares, donde se lo puede utilizar en todas sus formas para cumplir funciones diversas, como material de soporte de los elementos combustibles por su alto punto de fusión, y como moderador y reflector de neutrones por su bajo peso atómico y reducida sección de captura neutrónica. Pero debe tenerse en cuenta que los usos del metal en los reactores nucleares están limitados a las aplicaciones que no lo sometan a tensiones y a impactos, debido a que una exposición prolongada a cantidades importantes de radiación provoca fragilidad en el berilio. También su reactividad con el agua caliente limita su empleo en reactores.

CUADRO N° 5.3. - USOS DEL BERILIO EN LOS EE.UU. (En toneladas métricas de metal contenido).												
I T E M S												
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
Reactores nucleares ..	50	36	45	64	82	50	34	10	12	48	54	
Industria aeroespacial	50	27	50	69	68	41	29	8	11	44	50	
Electricidad	207	181	181	82	91	54	57	16	23	92	103	
Componentes electrón..	85	73	73	36	41	24	24	7	10	40	44	
Otros usos	34	27	27	32	35	21	16	5	5	22	24	
DEMANDA TOTAL	426	344	376	283	317	190	160	46	61	246	275	

Actualmente sus usos más significativos en este sector son en armas nucleares y en reactores de ensayo de alto flujo neutrónico. Un empleo futuro muy importante del berilio puede ser en los reactores de fusión nuclear, ya comentados en el capítulo sobre el litio.

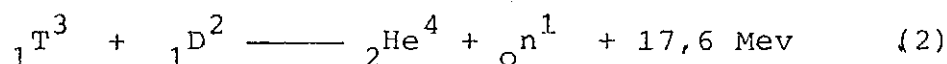
Las diferencias fundamentales entre el proceso de fusión y el de fisión, utilizado actualmente, nacen en que en la fusión, núcleos de elementos químicos livianos son forzados a combinarse formando nuevos elementos livianos, liberando significativas cantidades de energía en la reacción. En cambio, en el proceso de fisión se produce la desintegración de núcleos pesados, dando lugar a la formación de núcleos de elementos de peso intermedio, con desprendimiento de energía.

La primera generación de reactores de fusión estará basada en la reacción deuterio-tritio (D-T), dentro del ciclo de combustión deuterio-litio, que es considerado obtenible, desde el punto de vista físico y tecnológico, dentro de las próximas décadas, y cuyas ecuaciones serían una reacción del tipo (n, α) :



el núcleo residual es el tritio (${}_1\text{T}^3$) que tiene una vida media de 12 años.

Y la reacción termonuclear con el deuterio (${}_1\text{D}^2$), que es la siguiente:



Los neutrones producidos en esta última ecuación, son los que reaccionan con el isótopo 6 del litio según (1) manteniendo de esta manera el ciclo del combustible.

La fusión de los átomos de deuterio y tritio produce un núcleo de helio y un neutrón; la energía liberada en esta reacción es de 17,6 Mev, correspondiendo 3,5 Mev al núcleo de helio y 14,1 Mev al neutrón.

Tendiendo el núcleo de helio carga, queda confinado por el campo magnético que se aplica en el interior del reactor y su calor es transferido al combusti-

ble entrante (mezcla de deuterio y tritio) para mantener la reacción en cadena. El neutrón no tiene carga y escapa al campo magnético, entrando al manto del reactor, transformándose su energía cinética en térmica, la que es absorbida por el enfriador y convertida luego en energía eléctrica.

Con un adecuado diseño del reactor la suma de estas reacciones producirá más de un átomo de tritio por átomo fusionado. Si se desarrolla el concepto de reactor reproductor sólido, se utilizará aluminato de litio enriquecido en el isótopo 6, contenido en varillas de acero inoxidable rodeadas por tubos de berilio, el que actuará como reproductor de neutrones, por su capacidad para emitir neutrones cuando es bombardeado por partículas alfa.

El consumo de berilio en la industria aeroespacial cubre un 18 por ciento de la demanda. Las aplicaciones más conocidas son en misiles y cohetes, discos de freno de aeronaves militares (por ejemplo el Lockheed C5), en estructuras de aviones y satélites, en

sistemas ópticos para satélites y vehículos espaciales, en sistemas de control de tiro de aviones supersónicos como el F-4, y en sistemas inerciales de navegación para misiles y aeronaves comerciales y militares (misiles MX, aviones F12). En estos usos son fundamentales sus propiedades de disipación de calor, la baja densidad, - un alto módulo de elasticidad y su estabilidad dimensional (bajo coeficiente de dilatación térmica).

El berilio es utilizado casi exclusivamente como metal puro, en aleaciones con otros metales y como óxido, por la industria eléctrica, en una gran variedad de formas, desde aisladores fabricados de berilina sinterizada, hasta el metal y sus aleaciones en resortes y contactos para interruptores, disyuntores y - otros equipos eléctricos.

Las aleaciones de cobre-berilio poseen - características realmente únicas de elevadas conductividades, eléctrica y térmica, y de ser susceptibles de adquirir una muy alta resistencia a la tracción. Hay dos categorías principales de aleaciones de cobre-berilio,

las de alta resistencia, con un rango de 1,6-2,9 por ciento Be y adiciones de cobalto de aproximadamente 1 por ciento, y las de alta conductividad eléctrica, con contenidos de 0,3-0,8 por ciento Be, y niveles de cobalto de 1,4-2,7 por ciento; las impurezas principales son níquel, hierro, silicio y aluminio.

Encuentra también aplicación el metal puro, para evitar la oxidación mezclado con un poco de Ti o Zr, a causa de su permeabilidad a las radiaciones (diecisiete veces mayor que la del Al), para ventanas de tubos de rayos X, portaobjetos en los microscopios electrónicos, y para sondas en el trabajo con el ciclotrón. Por su gran reactividad, es utilizado en radio-técnica como material eliminador, y en la metalurgia como desoxidante para mejorar las propiedades mecánicas de metales y aleaciones.

Como componente de aleación, y por su solubilidad descendente con la temperatura, en el metal de fondo, permite templar las aleaciones de Fe, Cu y Ni. Así se consigue que los bronce de Cu (Ni, Co) con 1-2,5

por ciento de Be se puedan trabajar después del laminado en frío hasta una dureza aproximadamente cinco veces mayor, por temple a unos 320 ° C, a una resistencia a la flexión alternativa 10^4 mayor que muelles de acero del mismo tamaño, y a resistencia a la tracción de 130 Kg/mm². Estas propiedades en combinación con una buena resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica, hacen los bronce de CuBe especialmente apropiados para muelles de contacto y de instrumentos, tornillos, instrumentos libres de chisporroteo, electrodos para soldadura de puntos, moldes-prensa para plásticos y coquillas para la fundición de metales ligeros. Las aleaciones de Ni tratadas de manera análoga, sirven como muelles para relojes, agujas e instrumentos quirúrgicos. El Zn consigue con un poco Cu y Be la resistencia y conductibilidad del latón. De igual interés técnico y económico es la sustitución del Ir, caro, añadido al Pt para elevar la dureza y la resistencia, (5 a 20 por ciento) por pequeñas cantidades (hasta de 0,3 por ciento) de Be, teniendo una parte de Be el efecto de 125 ó 100 partes de Ir. La capacidad de ser elaborado y el comportamiento al calentamiento, la resistencia al arrastre y la volatilidad, su comportamiento catalítico y eléctrico, así como

su resistencia química, corresponden francamente a las del Pt puro o a las aleaciones de PtIr.

En el caso de aleaciones de metal ligero (Mg, Al, Zamak), una adición mínima de Be (0,0042 por ciento) permite la fundición directa en arena sin las medidas inhibitorias corrientes (mezcla de S/B₂O₃); al hacerse simultáneamente más grueso el granulado, queda reducida la adición de Zr. La influencia sobre las propiedades mecánicas puede resumirse considerando una aleación de AlCu templable con < 0,75 por ciento de Be; 4 horas de calentamiento, templado y recocido, a 450 °C 8 horas a 200 °C; obtiene la dureza Rockwell 55-57, un límite de proporcionalidad de 18, un límite de dilatación de 25, y resistencia a la tracción de 31 Kg/mm²; un estirado en frío del 36 por ciento entre el templado y el recocido a 150 °C, eleva estos valores a 23, 30 ó 32 kilogramos por milímetro cuadrado y rebaja la dilatación al 4 por ciento,

Debe mencionarse un posible uso de gran potencial para las aleaciones de cobre-berilio en forma de tubos y barras, en la industria del petróleo, donde

se necesita un material no magnético, de alta resistencia mecánica y resistente a la corrosión, para alojar - un nuevo mecanismo posicionador del barreno de perforación durante su operación. Esta aplicación está actualmente en estudio.

En los EE.UU. existe un gran interés gubernamental en asegurar un suministro ininterrumpido de berilio metálico de alta pureza, y el Departamento de Energía de ese país ha firmado en 1982 un contrato con una de las dos grandes empresas productoras locales, suministrando 3.400.000 U\$S para el diseño y desarrollo - de equipos y procesos en este sector.

5.1.2. Aspectos de Mercado y Comercialización.

- Productores y capacidades.

Los EE.UU. son los principales productores mundiales de berilio, sus aleaciones y compuestos y durante muchos años dependieron casi exclusivamente de la importación de berilo para su abastecimiento. En el CUADRO N° 5.4 se observa la evolución de las fuentes de abastecimiento de mineral berilo en ese país, hasta el año 1963 en que comenzó la producción local de bertrandita y las importaciones se redujeron drásticamente, de un máximo de unas 11.250 toneladas en 1956 hasta 680 toneladas en 1977, recuperándose algo en los últimos años. En los EE.UU. la Brush Wellman Inc. es la única empresa del mundo occidental que extrae mineral y lo transforma en hidróxido impuro, obteniendo luego el metal y los otros productos como aleaciones y óxido de berilio. Esta empresa explota los yacimientos de bertrandita en Spor Mountain y procesa el mineral, en la forma anteriormente descrita, en una planta próxima a Delta, Utah. A fines

CUADRO N° 5.4 - FUENTES DE OBTENCION DE BERILO POR LOS EE.UU. (Porcentaje del total)			
PAIS	P E R I O D O		
	1936-1951	1952-1959	1960-1968
BRASIL	49	27	32
SUDAFRICA	10	11	5
INDIA	8	11	13
ARGENTINA	12	15	10
MOZAMBIQUE	2	13	10
ZIMBABWE	4	7	3
AUSTRALIA	4	2	5
OTROS PAISES	1	9	18
T O T A L	90	95	96
AUTOABASTECIMIENTO	10	5	4
Tonelaje total acumulado hasta el fin del período	29.000	89.000 *	146.000
(*) : Esta cifra correspondía a aproximadamente un 82 por ciento del total extraído hasta esa fecha en el mundo occidental.			

de 1980, se completaron expansiones en esta facilidades que aumentaron la capacidad en un 25 por ciento; en 1982 se procesó también en esta planta, berilo concentrado de alta calidad, en gran parte para la Cabot Berylco (ex Kawecki-Berylco Industries, Inc), de la Cabot Corp., que es el otro productor de aleaciones de berilio, si bien a partir de 1979 dejó de producir el metal.

La Brush Wellman también está completando una nueva línea, en su planta de Delta, para procesar berilo pobre (7-8 por ciento BeO), lo cual está mostrando el interés de esta industria por aumentar su flexibilidad para procesar diversas materias primas.

El hidróxido producido en Utah es enviado a la planta de Brush Wellman en Elmore, Ohio, y a la de la Cabot Berylco, en Reading, Pensilvania. Esta última fábrica también cuenta con facilidades para procesar berilo, actualmente inactivas. La fábrica de Ohio se encuentra en fase de modernización, y cuen

ta con facilidades antiguas para procesar berilo por el método del sulfato que están inactivas. En 1981, la Brush Wellman adquirió una planta de productos cerámicos, en Newburyport, Mass, la cual está en expansión para la producción de soportes de óxido de berilio para microcircuitos. A su vez la Cabot Berylco - ha expandido su capacidad para producir aleaciones de cobre-berilio, instalando una laminación en caliente para chapas y flejes, en una planta de Kokomo, Indiana.

Los principales países productores del mineral, además de los EE.UU., son la Unión Soviética, Brasil, Argentina, Zimbabwe, Uganda y Angola. Hay un número de países que han sido productores de importancia, como la India, Sudáfrica y Australia que han cesado de producir berilo al reducirse las importaciones de los EE.UU.

Las capacidades de producción estimadas por el U.S. Bureau of Mines se dan en el CUADRO N° 5.5 medidas en berilio contenido en concentrados.

Además de las dos empresas mencionadas, en los EE.UU. actúa la Nuclear Metals Inc., Productora de tubos de berilio extrudados. En Japón la Nippon Kaishi Kaishi Indulators Ltd. fabrica cobre-berilio, otras aleaciones y óxido, la capacidad de producción de aleaciones sería del orden de 500 toneladas anuales, pero aparentemente habría interés en expandir substancialmente la producción, de contarse con una fuente segura de abastecimiento de materia prima en calidad y cantidad, negociaciones al respecto parecen haberse llevado a cabo con Brasil, pero sin resultados concretos.

La Cabot posee filiales en Europa. la Berylco Cabot Metaux Speciaux S.A. en Francia, la Deutsche Beryllium GmbH en Alemania y la Kaweck Bi-lliton Ltd en Gran Bretaña, algunas de las cuales producen aleaciones con berilio para las industrias eléc-

CUADRO N° 5.5 - CAPACIDADES DE PRODUCCION DE CONCENTRADOS DE BERILO O BERTRANDITA. (En toneladas métricas de berilio contenido).			
PAISES	1978	1979	1984
AMERICA DEL NORTE:			
EE.UU.	363	363	454
AMERICA DEL SUR:			
Argentina	45	45	45
Brasil	227	227	227
EUROPA:			
Unión Soviética.	227	227	227
AFRICA:			
Zimbabwe	23	23	23
Ruanda	18	18	18
Uganda	41	41	41
Otros	9	9	9
ASIA:			
India	136	136	136
OCEANIA:			
Australia	136	136	136
TOTAL MUNDIAL	1.225	1.225	1.316

tricas y electrónicas. En Gran Bretaña actúa una afiliada de la Brush Wellman, la Brush Matthey, y también la Telcon Ltd. Poco se conoce de los procesos de extracción del berilio a partir de sus minerales en otros países, si bien se supone que algún proceso es llevado a cabo (o lo era hasta hace poco) por lo menos en Japón y Francia. La Unión Soviética posee seguramente una industria bien desarrollada, basada en su producción relativamente elevada de berilo pero sin alcanzar el nivel de los EE.UU.

Manufacturan productos cerámicos de berillia, en los EE.UU., además de la Brush Wellman, que acaba de construir una nueva planta en Arizona exclusivamente para estos fines; la American Lava Division de la 3M Corp, y la National Beryllia. En Gran Bretaña lo realiza la Consolidates Berylliom.

- Producción y Consumo.

En el CUADRO N° 5.6 se resume la producción mundial de berilo desde 1967 hasta 1980, según datos recopilados principalmente del U.S. Bureau of Mines.

Puede observarse que ha habido una caída casi continuada en la producción desde el máximo de 1969. La razón ha sido el comienzo de la producción de bertrandita en los EE.UU. con la consiguiente reducción de sus importaciones. En el CUADRO N° 5.7 se dan las estimaciones de la producción de berilio contenido en la bertrandita extraída en los EE.UU., la demanda de la industria de dicho país y las importaciones equivalentes de berilio (considerando un contenido de 4 por ciento Be en el berilo). Se aprecia que la producción de concentrados locales, considerando un rendimiento promedio del proceso hasta productos finales del 80 por ciento, ha suministrado en el período considerado un 65 por ciento del consumo interno y del 95 por ciento en los últimos cinco años. Puede deducirse que

las importaciones han continuado fundamentalmente por ser los EEUU. importantes exportadores de productos -- de berilio, y también para la constitución de la Reserva Estratégica.

En el CUADRO N° 5.6 se aprecia que la Unión Soviética ha incrementado substancialmente su producción, pasando de representar un 24 por ciento del total mundial en 1967, a un 66 por ciento en los últimos años. La caída de la producción de berilo en los países occidentales ha sido dramática, estando hoy en día reducida a un 17 por ciento de lo que fue una década atrás. Actualmente sólo el Brasil es un productor significativo, y en menor grado Ruanda, Zimbabwe y Argentina. Comparando los datos de producción del CUADRO N° 5.6, -- con las capacidades potenciales indicadas en el CUADRO 5.5, se observa que en los últimos tres años con datos disponibles los EE.UU. trabajaron prácticamente a plena capacidad, y el resto del mundo, incluida la Unión Soviética, a menos del 15 por ciento, lo que hace suponer que las estimaciones dadas por el U.S. Bureau of Mines son demasiado elevadas, y en algunos casos pueden

CUADRO N° 5.6. - PRODUCCION MUNDIAL DE BIERO (toneladas métricas).

P A I S E S	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Angola	-	-	-	-	-	175	9	91	32	32	27	23	-	-
Argentina	269	593	518	302	253	187	185	269	167	112	165	22	12	31
Australia	56	15	2	18	73	62	64	79	-	-	-	-	-	-
Brazil	1.310	2.078	3.536	3.333	2.500	1.551	1.497	907	907	368	496	735	726	771
India	1.302	1.315	1.315	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kenya	17	11	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madagascar	30	77	75	52	60	9	9	13	15	17	15	11	10	10
Mozambique	169	95	122	33	13	8	1	8	9	4	-	-	27	20
Portugal	14	128	29	14	15	17	18	15	25	-	-	-	-	-
Ruanda	109	149	267	286	194	118	118	59	18	46	54	58	46	59
Sudáfrica	103	308	313	322	491	250	64	2	77	3	3	4	1	-
Uganda	314	361	287	362	220	62	59	54	54	54	50	23	-	-
Unión Soviética	1.200	1.200	1.250	1.270	1.270	1.360	1.450	1.560	1.600	1.650	1.705	1.790	1.810	1.810
Zaire	2	-	145	130	76	73	73	-	-	-	-	-	-	-
Zambia	-	-	-	-	-	187	200	200	200	-	-	-	-	-
Zimbabwe	43	88	91	91	91	59	59	63	63	63	63	45	45	45
T O T A L	4.938	6.418	8.013	6.222	5.256	4.118	3.906	3.300	3.167	2.354	2.578	2.715	2.677	2.737
TOTAL SIN UNION SOVIETICA	3.738	5.212	6.763	4.952	3.986	2.758	2.456	1.760	1.567	704	873	926	867	927

CUADRO N° 5.7. - SITUACION DE SUMINISTRO Y DEMANDA DE BERILIO EN LOS EE.UU. COMPARADA CON LA PRODUCCION MUNDIAL. (en toneladas métricas de Be contenido en los minerales concentrados, y considerando un rendimiento de 80% en el procesamiento).													
P A I S E S	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
Producción de Be / Estimada de EE.UU.	73	101	307	132	362	250	141	74	128	306	336	359	
Demanda de Be por la industria de EE.UU.	425	345	376	282	316	190	160	46	61	246	275	287	
Importaciones de berilo (en Be) de los EE.UU.)	233	180	146	122	59	50	54	38	27	37	38	62	
Producción mundial total de Be contenido en minerales...	394	350	517	297	518	382	268	168	231	415	443	468	

estar basadas en las máximas producciones obtenidas hace mucho años (por ejemplo la suma de los países africanos), pero que hoy en día serían difícilmente alcanzables, por lo menos en forma rápida.

De los cuadros anteriores se aprecia que entre los EE.UU. y la Unión Soviética consumen más del 90 por ciento del berilio contenido en los minerales producidos en todo el mundo. La distribución del consumo para el primero de los países se dio en el CUADRO N° 5.3., y puede suponerse una distribución similar en la Unión Soviética, tal vez con un menor peso de la industria electrónica y mayor de la aeroespacial.

- Comercio mundial y precios.

El volumen del comercio mundial de berilo, como se mencionó anteriormente, se redujo grandemente con el inicio de la producción de bertrandita en los EE.UU. y la caída en sus importaciones, que en el período 1952-1968 promediaron las 7.000 toneladas métricas anuales (unas 280 t de Be). Actualmente las importaciones oscilaron entre 900 t y 1.500 t (1981: 1.537 t), y la importancia relativa de los proveedores se ha modificado, dejando Brasil de ocupar el primer puesto, siendo desplazado por China. Este último país exportó a los EE.UU. en 1979, 1980 y 1981, 240 t, 782 t y 530 t respectivamente. Nótese que China no figura en el CUADRO N° 5.6 por falta de información, pero le hubiera correspondido aparecer, en el año 1980 por ejemplo, con un 6 por ciento por lo menos de la producción mundial de berilio contenido en minerales.

Los minerales no exportados a los EE.UU. serían, directa o indirectamente, enviados al Japón o Francia, pero las cantidades no representarían más

del 15 por ciento de la producción total de los países occidentales (fuera de los EE.UU.); el abastecedor principal de estos mercados sería el Brasil. Los precios del berilo han experimentado un marcado aumento en los últimos años, como puede apreciarse en el CUADRO N° 5.8, con una triplicación en menos de cinco años. El valor promedio de las importaciones de berilo de los EE.UU. en 1981, fue de 1.005 U\$S/t, para las 1.537 toneladas importadas, equivalente a 100 U\$S/shtu de 11 por ciento BeO, CIF puerto norteamericano.

En cuanto a los productos del berilio, los EE.UU. son el principal exportador, en cantidades que oscilan entre 26 t y 73 t, pero como las estadísticas comprenden tanto metal como aleaciones, chatarra, polvo, barras, chapas, alambre, monocristales, etc., no es posible discriminarlas. Los principales compradores son Japón, Francia, Canadá y Gran Bretaña, en general para reprocesar y obtener las pequeñas piezas que constituyen los productos finales. Los precios son muy variables, dependiendo de los productos, en el CUADRO N° 5.8 se dan los precios para barras de berilio refi-

CUADRO N° 5.8. - PRECIOS DE PRODUCTOS DE BERILIO EN LOS E.E.UU. (E.M.J.)		
FECHA	Barras de Berilio (5") (U\$S/16)	Berilio (10-12% BeO) (U\$S/Shtu, CIF U.S.A.)
03/78	154,56	40-42
03/79	154,56	50-55
03/80	207,92	75-85
03/81	241,90	90-110
03/82	241,39	100-130
10/82	241,39	110-135

nado al vacío, de 5" de diámetro. Otros precios, al mes de diciembre de 1981 son, aleación cobre-berilio 25 (con 2 % Be) 6,61 U\$S/lb; berilio metálico de 97 por ciento en lingotes colados al vacío 173 U\$S/lb; el óxido de berilio, 37,5 U\$S/lb.

El consumo de las aleaciones de cobre-berilio está ligado generalmente a las fluctuaciones económicas normales, mientras que el consumo de metal se vincula estrechamente con los programas aeroespaciales y de defensa.

- Proyecciones de la demanda.

En el CUADRO N° 5.9 se dan las proyecciones de la demanda elaborada por el U.S. Bureau of Mines en el año 1979, sobre la base de las informaciones hasta 1978, y realizando un análisis de contingencia de los distintos sectores que contribuyen a la demanda del berilio y sus derivados. Puede observarse que los pro-

nósticos de crecimiento son relativamente pesimistas, y podrían ser mejorados ante nuevos desarrollos tecnológicos, tanto en sus aplicaciones convencionales y actuales, como en otras áreas, como las ya comentadas para perforación de pozos de petróleo.

Una comparación de las cifras de reservas del CUADRO N° 5.2 con los pronósticos de máximo consumo acumulado hasta el año 2000, indica que las reservas mundiales son adecuadas, y que no deberían producirse situaciones de escasez. Aún con desarrollos tecnológicos adicionales que incrementaran la demanda substancialmente, los recursos disponibles podrían satisfacerla, aunque probablemente a mayor costo, caso que se daría principalmente en los EE.UU. Los países con mayores recursos de berilo tendrían que intensificar sus esfuerzos en la localización y evaluación de nuevos depósitos, para estar en condiciones de competir en un mercado mundial difícil, con suministro regular de mineral de alto tenor y operando a bajo costo.

CUADRO N° 5.9. - RESUMEN DE LAS PROYECCIONES MUNDIALES DE LA DEMANDA DE BERILIO (toneladas métricas de berilio contenido).

CUADRO N° 5.9. - RESUMEN DE LAS PROYECCIONES MUNDIALES DE LA DEMANDA DE BERILIO (toneladas métricas de berilio contenido).						
	1978	RANGO DEL PRONOSTICO PARA EL AÑO 2000		DEMANDA PROBABLE	CRECIMIENTO ANUAL ACUMULATIVO	1978-2000 (%)
		Bajo	Alto			
EE.UU.:						
Primario	246	91	354	254	263	0,30
Secundario	-	9	27	-	9	-
TOTAL ANUAL	246*	100	381	254	272	0,46
ACUMULADO (Primario).....	-	3.493	6.604	2.994	5.597	-
RESTO DEL MUNDO:						
TOTAL ANUAL (Primario).....	112	73	181	118	122	0,39
ACUMULADO	-	1.978	3.211	1.361	2.595	-
MUNDIAL:						
Primario	358	164	535	372	385	0,33
Secundario	-	9	27	-	9	-
TOTAL ANUAL:	358	173	562	372	394	0,44
ACUMULADO (Primario).....	-	5.471	9.815	4.355	8.192	-
(*) En 1981 el consumo ya fue de 308 toneladas, superando el probable del 2000.						

5.2 AMBITO NACIONAL.

5.2.1 Aspectos Industriales y Tecnológicos
Yacimientos Argentinos.

Si bien se reconoció la presencia de berilo en nuestro país ya afines del siglo pasado, encontrado por el geólogo alemán Stelzner en 1873, su búsqueda y explotación se inició recién alrededor del año 1932, en forma precaria. En 1935 comienza a ser registrado en las estadísticas mineras, y en 1941, por decreto 12709 se incluye el berilo entre los minerales de Primera Categoría del Código de Minería. En ese año se obtuvo la producción récord del país, con 2.186 toneladas, y la Argentina se constituye en el segundo proveedor mundial de berilo.

El berilo, mineral accesorio de las pegmatitas, se ha encontrado en nuestro país también en algunos depósitos de wolframita y scheelita, en pequeñas cantidades.

Su participación en las pegmatitas es - muy variable y no todas lo contienen. Se presenta por lo general en cristales prismáticos hexagonales, aislados o agrupados, del más variado tamaño. Los ejemplos mayores se explotaron en el cerro Blanco, cerca de Tanti, provincia de Córdoba y en las minas de feldespatos y berilo Ranquel y Santa Ana de San Luis. Según comunicación de mineros, el cristal del cerro Blanco tenía más de un metro de diámetro por unos cuatro metros de largo. En Santa Ana existe una impronta de un individuo de un metro de diámetro. También se le encuentra en masas o "bolsones" de algunos decímetros hasta casi un metro de espesor, como en el caso de la mina Las Tapias (Córdoba), como asimismo en guías definidas de 15-20 cm de potencia, por ejemplo, en la pegmatita portadora de columbita y minerales de uranio de la mina Angel, de la misma provincia.

Los colores predominantes son: amarillo, azulado y verdoso, los hay también blancos y hasta rojizos y grisáceos. En un mismo yacimiento suele presentarse berilo de distintas coloraciones. A veces los cristales se hallan fracturados y soldados por el cuarzo.

El aprovechamiento del berilo como piedra semipreciosa, ha sido en nuestro país casi nulo, dado que este mineral, aún en las variedades adecuadas para ese uso, se presenta frecuentemente con rupturas internas. Se ha intentado su utilización partiendo de material azulado procedente de Catamarca y San Luis.

A continuación se da el análisis de algunos berilos de diversos colores correspondientes a distintas pegmatitas de la sierra de San Luis:

Muestra	Color	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	B ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Total %
1.....	Claro	66,07	19,30	13,60	0,44	99,41
2.....	Blanco	65,34	18,20	13,50	0,48	97,52
3.....	Celeste	65,62	18,20	13,80	0,52	98,14
4.....	Celeste (saguamarina)	66,08	19,33	13,24	0,39	99,04
5.....	Verde claro	66,02	18,60	13,50	0,60	98,72
6.....	Amarillo	64,80	19,12	12,60	2,40	98,92
7.....	Rojizo	64,38	18,00	12,80	1,40	96,58
	Tenor teórico	67,00	19,00	14,00	—	100,00

Análisis de cuatro muestras procedentes de la mina Las Tapias, efectuados por el Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, Museo Bernardino Rivadavia, son los siguientes:

	1	2	3	4
SiO ₂	61,08 %	62,11 %	60,31 %	61,95 %
Al ₂ O ₃	20,24	19,31	23,59	22,10
BaO.....	8,63	11,80	9,24	11,00
Fe ₂ O ₃	0,61	0,76	0,35	0,76
CaO.....	vest.	vest.	vest.	vest.
MgO.....	1,11	0,27	0,28	1,10
Na ₂ O.....	2,35	3,05	3,95	0,35
Pérdida al rojo.....	2,22	2,25	2,27	1,97
	99,89	99,85	100,19	99,32

1. Aguamarina; 2. Azul verdoso; 3. Amarillento;
4. Blanco (contiene además 0,3 por ciento de Cu).

Por lo general, las variedades más puras son las encontradas en el cuarzo, no así las intercaladas en feldespato y mica, debido en gran parte a la contaminación de este último silicato, que suele observarse a veces en la zona periférica de los cristales. En ciertas pegmatitas el berilo se encuentra atravesado por venitas de cuarzo y también de feldespato (Las Tapias), cuando no incluye en su masa hojuelas de mica.

Las concentraciones de berilo son en términos generales pequeñas y su distribución sumamente irregular, salvo excepciones. En la mayoría de los casos, la producción de berilo de las explotaciones de las diversas pegmatitas asciende a pocas decenas de toneladas. Una excepción de la regla lo constituyó la mina Las Tapias, donde este silicato se presentó en una faja superior más o menos continua, integrada por masas o "bolsos", en un área aproximada de 5,000 m². Este yacimiento, el más grande registrado hasta el presente en nuestro territorio, ha producido alrededor de 3,200 t de berilo. Aún cuando la faja citada se halla agotada, existe otra inferior cuyas características se desconocen. Se lo consideró probablemente el mayor del mundo.

El berilo corresponde a uno de los primeros minerales de las pegmatitas en depositarse, pero en ciertas ocasiones se halla vinculado a una generación de cuarzo que en forma de filones ocupa la parte central de las mismas, como ser en el extremo norte de la mina Angel. Generalmente las pegmatitas portadoras de berilo suelen contener triplita, apatita, columbita-tantalita, minerales de bismuto, etc.

Las pegmatitas portadoras de berilo que se explotan o que han sido explotadas, se hallan distribuidas ampliamente en las sierras de San Luis, Córdoba y Catamarca, existen además en algunas sierras de la provincia de La Rioja, pero su aprovechamiento no revistió mayor importancia, así como el de San Juan y Río Negro, como se verá más adelante.

La mayoría de las pegmatitas berilíferas se encuentran emplazadas en las metamorfitas que constituyen el elemento principal del basamento cristalino de las Sierras Pampeanas. El resto, entre los cuales se pueden mencionar especialmente las de la sierra de Velázco, están ubicadas en rocas intrusivas, esencialmente granitos. Las formas predominantes son las tabulares o lenticulares, aunque también se encuentran cuerpos globulares, ovoides, ramificados, o totalmente irregulares. Los rumbos de los cuerpos tabulares o lenticulares son en general NNE o NNW, pero hay excepciones, como el caso de la pegmatita Las Tapias, cuyo rumbo es EW. Muchos de estos cuerpos son concordantes con la esquistosidad, y la posición de la mayoría está controlada por fracturas.

Las dimensiones son muy variables, pero la mayoría de los cuerpos tienen longitudes comprendidas entre los 30 y los 200 m de potencias que oscilan entre los 2 ó 3 y los 30 metros.

La mineralogía y la estructura interna de estas pegmatitas son muy uniformes en toda el área de las Sierras Pampeanas. Sus características esenciales son siguientes: en contacto con la roca de caja presentan una zona marginal de grano fino a muy fino compuesto esencialmente por plagioclasa, cuarzo y muscovita y que contiene, como accesorios principales topacio, turmalina, berilo y apatita. En algunos cuerpos sigue luego la zona externa de grano fino a medio, discontinua, de poco espesor, raramente excede los 0,3 m compuesta por plagioclasa y cuarzo, en la cual el feldespato constituye entre el 60 y el 70 por ciento del volumen. Una zona compuesta por microclino, cuarzo y plagioclasa ocupa a veces el lugar de la que acabamos de describir, o es la que sigue hacia el interior del cuerpo. La composición global de esta zona es variable, pero predomina siempre el feldespato potásico, que puede constituir entre el 60 y el 90 por ciento de la unidad. Es de espesor muy variable, entre pocos centímetros

y 1 ó 2 metros, y en general discontinua. Estas dos zonas faltan muchas veces, y entonces las pegmatitas están compuestas casi exclusivamente por la zona de cuarzo y microclino que aparece a continuación en la secuencia, y por el núcleo de cuarzo. Aún en los casos en que se encuentran esas zonas, la unidad de cuarzo y microclino es siempre la más importante cuantitativamente, constituyendo por lo menos el 60 por ciento del volumen de los cuerpos. Es de grano muy grueso y el feldespató, que forma entre el 60 y el 90 por ciento de la unidad se presenta en cristales subhedrales o anhedrales cuyas dimensiones superan con frecuencia el metro. El cuarzo ocupa los intersticios entre los cristales de microclino y aparece también incluido en el feldespató, formando a veces granito gráfico. La mayor parte del berilo de las pegmatitas se encuentra en el borde interno de esta zona, en el contacto con el núcleo. Forma cristales prismáticos, hexagonales, imperfectos en detalle y dimensiones que oscilan entre unos pocos centímetros de largo hasta varios metros en casos excepcionales. En algunos casos, como en Las Tapias, aparece en masas. Los colores predominantes son verdosos, azulados, amarillo claro y blanque

cino. Otros minerales que intervienen en estas zonas, aunque siempre en pequeña cantidad, son: muscovita, triplita, trifilita, litiofilita, turmalina y apatita. En la mayoría de los cuerpos aparece, finalmente, una unidad central de cuarzo. Cuando ésta falta, la zona de cuarzo y microclino constituye el núcleo.

En estas pegmatitas se presenta también una importante fase de reemplazo sódico-potásico. Los cuerpos de reemplazo resultantes se encuentran casi siempre en las partes internas de la zona de cuarzo y microclino. Son predominantemente tabulares, de grano fino, y están compuestas por cleavelandita, cleavelandita y muscovita, cleavelandita y cuarzo, y muscovita. El volumen de las unidades de reemplazo no excede nunca del 5 por ciento del volumen total de los cuerpos.

Todas las pegmatitas consideradas son de edad precámbrica.

Con respecto a los yacimientos conocidos de berilo una revisión de las firmas inscriptas en el Registro Nacional de Productores Mineros (Buenos Aires - 1981), muestra 43 productores para Córdoba, 38 en San Luis, 3 en Catamarca, 3 en La Rioja y uno en San Juan, con unas 50 minas para la primera provincia (sin figurar en la lista algunos yacimientos que por su producción pasada han revestido gran importancia, como Las Tapias, La Magdalena, El Criollo, El Gaucho, La Victoria). En San Luis se registran unas 43 minas (no aparecen citadas Santa Ana, Las Palomas, La Violeta, Santa Teresita, Piedra del Aguila, La Berta, La Negrita, San Cayetano, Aquelarre, que han tenido producciones significativas); en Catamarca, La Rioja y San Juan se indican 9 minas. En 1958 existían registrados 152 yacimientos en actividad en el país y en 1959, 111; si bien se suponía que el número real era superior, al haber en esos años, numerosas explotaciones no denunciadas e intensa actividad de los pirquineros.

De acuerdo con las informaciones de los últimos años, los yacimientos que han presentado alguna

actividad han sido La Primera y La Viquita en San Luis, La Beatriz, Lux, San Francisco, Del Buen Retiro y Santa María del Valle, en Córdoba, y El Quebracho en Catamarca.

La distribución de las pegmatitas berilíferas es muy amplia en toda la sierra de San Luis; sin embargo, parecen delimitarse ciertas zonas donde su número es mayor que en otras. Se pueden agrupar desde el punto de vista de sus proximidades hacia centros poblados, en tres distritos: occidental, central y oriental, este último, el de menor importancia, corresponde a la vertiente occidental de la sierra de Comechingones.

Los dos primeros distritos abarcan la sierra de San Luis; el occidental, con acceso a las poblaciones de El Trapiche, Paso del Rey y La Carolina, en tanto que el central, se halla próximo a las poblaciones de Quines, Santa Rosa, San Martín, Tilisarao, Nashedel, La Toma, etc.

Con respecto a Córdoba, acerca de esta provincia no existe estudio alguno de carácter general, como en el caso de San Luis, si bien normalmente se agrupan las pegmatitas berilíferas de Córdoba en siete distritos principales, comprendidos en los departamentos de San Javier, San Alberto, Punilla, Calamuchita, Minas, Pocho y Cruz del Eje, vale decir a lo largo de las sierras de Córdoba. Hace pocos años existían en esta provincia 329 minas registradas.

El área berilífera de Catamarca se encuentra emplazada en la sierra de Ancasti, en su vertiente oriental, departamentos Santa Rosa, El Alto, Ancasti y La Paz.

La sierra de Velazco (departamento Sañagasta y Capital), en la cual se sitúan las pegmatitas productoras de berilo de La Rioja, resulta relativamente pobre en esta clase de roca, si se la compara con las de San Luis, Córdoba y Catamarca.

Las pegmatitas de San Juan, sitas en la sierra de Valle Fértil (departamentos de Jáchal y Valle Fértil), son explotadas casi exclusivamente por mica y algunas por vermiculita. Se conoce la existencia de berilo, pero vagos son los datos que se tienen sobre la riqueza de las pegmatitas y su verdadera producción.

En Río Negro hasta el presente sólo se conoce la existencia de berilo en algunas pegmatitas emplazadas en una zona próxima a Cañadón Chileno, mina Las Dos Vetas, en el departamento Pilcaniyeu.

Finalmente, nada en concreto se sabe acerca de las posibilidades que pueden ofrecer ciertas pegmatitas de las sierras de Calchaquies (Tucumán) y también de la Región de la Puna salteña.

En el CUADRO N° 5.10, a título de ejemplo, se indican las características de diversos yacimientos pegmatíticos de berilo, todos de edad precámbrica. Lamentablemente en ningún caso se dispone de información sobre leyes de mineral.

- Reservas nacionales.

Debido a las características tan peculiares del tipo de yacimiento en que se presenta el berilo, resulta prácticamente imposible definir con un razonable grado de certeza, las reservas berilíferas de nuestro país. En efecto, si bien se conoce en muchos casos, el desarrollo y potencia de las pegmatitas, se carece de información acerca de la distribución de las concentraciones de berilo, esto es, de su frecuencia y volumen, y, por ende, de su ley media. En esto estriba la mayor dificultad para llevar a cabo la estimación del tonelaje de berilo que puede contener cada depósito. Sólo en contadísimos casos se tiene una idea aproximada al respecto. Así, se ha calculado que la ley media de la mina Las Tapias fue superior al 5 por ciento de berilo, en tanto que el tenor de La Esmeralda - La Violeta, yacimiento explotado por feldespatos y cuarzo, es de más o menos 1 a 1,5 por ciento.

Si bien no se pueden dar cifras concretas sobre las reservas de berilo en el país, las explotaciones intensas realizadas principalmente en los períodos 1938-1943 y 1952-1960, demostraron que la potencialidad de nuestro país era muy grande, al contar con numerosas pegmatitas berilíferas, cuyo número se fue incrementando cuando su búsqueda se intensificó como consecuencia de la demanda internacional y precios compensatorios. Hace unos 20 años se realizaron estimaciones de las reservas por comparación entre la producción y reservas mundiales, y la producción potencial de la Argentina. Así, con un alto grado de especulación se llegó a que las reservas aprovechables de nuestro país serían un 15 por ciento de las entonces estimadas 200.000 toneladas de reservas mundiales económicamente explotables (ley superior a 1 por ciento de berilo, considerada relativamente abundante en pegmatitas con estructura zonal). O sea que, cuando ya se habían extraído unas 18.500 t de berilo en nuestro país, se consideró que se podía contar con una producción de 1.500 t anuales durante 20 años. Se admitía que esa cifra era conservadora, y que las reservas efectivas que podían proporcionar nuestros =

CUADRO N° 5.10 - DESCRIPCION SOMERA DE ALGUNOS YACIMIENTOS IMPORTANTES DE BERILIO (Según recopilación de V. Angelelli).

MINA	UBICACION	CARACTERISTICAS DEL DEPOSITO	MINERALIZACION	OBSERVACIONES
"Buena Estrella"	5 km al NW de El Alto, depto. El Alto, Catamarca.	Son cuerpos tubulares o lenticulares, de rumbo general N-S emplazados en esquistos micáceos, de rumbo general N-S e inclinación al E.	Cuarzo, microclino, muscovita, plagioclasa, apatita, granate, berilo.	Diversas labores superficiales.
"Eduardo José"	5 km al NW de Ancasti, depto. Ancasti, Catamarca.	Se trata de un gran cuerpo globular o lenticular acostado, de unos 30 m de diámetro encajado en esquistos micáceos, de rumbo general N-S e inclinación al W.	Cuarzo, microclino, muscovita, turmalina, triplita, berilo.	Ha sido trabajado en una gran cantera, especialmente por feldespato.
"El Quimil"	A 8 km. al N de El Alto, depto. El Alto, Catamarca.	Es un cuerpo alargado de rumbo NNW que aflora en esquistos micáceos de rumbo general N-S e inclinación al W, en unos 160 m.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo, turmalina, apatita.	Varios trabajos superficiales.
"Virgen del Socavón de Oro"	A 7 km al NE de La Merced, depto. Puelín, Catamarca.	Un cuerpo lenticular de rumbo N150W y posición casi vertical, de una potencia máxima de aproximadamente 6 m emplazado en esquistos micáceos, de rumbo general NS.	Microclino perfitico, cuarzo, muscovita, plagioclasa, berilo.	Como los depósitos anteriores, sin datos acerca de la producción de berilo. Labores a cielo abierto.
"Domingo F. Sarmiento"	A 9 km al SW de Cosquín, depto. Punilla, Córdoba.	Son dos cuerpos alargados, de rumbo general NNW, emplazados en el borde oriental del batolito granítico de Achala. Los afloramientos del primero (septentrional) cubren unos 10.000 m ² y los del segundo unos 5.000 m ² .	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo en cristales de 15-20 cm, tantalita-columbita.	Diversas labores superficiales. Hasta 1951 habría producido 50 t de berilo, 1.000 de cuarzo y 60 de microclino.
"El Criollo"	9 km al W de Tanti, depto. Punilla, Córdoba.	Las pegmatitas están emplazadas en la zona marginal del gran batolito granítico de Achala. Constituyen cuatro grandes afloramientos de forma circular a elíptica, de hasta 60 m de largo por 40 m de ancho.	Microclino, cuarzo, muscovita, berilo, triplita, apatita, tantalita-columbita, minerales oxidados de uranio y de cobre.	Cuatro grandes canteras. Se han explotado principalmente por cuarzo y feldespato. Se han extraído unas 160 t. de berilo y 50 t de material uranífero.

CUADRO N° 5.10 (Continuación).

"La Gloria"	5 km al W de Cura Brochero, depto. San Alberto, Córdoba.	El yacimiento está ubicado en uno de los cuerpos graníticos que intruyen el complejo metamórfico precámbrico. Es un cuerpo de rumbo general NNE que aflora en forma interrumpida en unos 200 m con potencias que oscilan entre 3 y 20 m.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo.	Se han efectuado trabajos superficiales. Ci
"6 de Enero"	A 7 km al W de Villa Carlos Paz, en la Ped. San Roque, depto. Puntilla, Córdoba.	Son cuerpos alargados de rumbo NS, longitud 150 m, y potencia de hasta 70 m, emplazados en el borde oriental del batolito granítico de Achala.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo en cristales de hasta 0,5 m de sección, granate, magnetita, apatita.	Varias labores a cielo abierto.
"Cora Vivi"	A 22 km al NW de Villa Busto, depto. Castro Barros, La Rioja.	La pegmatita forma una serie de afloramientos irregulares en una distancia de unos 40 m en dirección general EW y está emplazada en una roca granítica de grano grueso. Presenta zonación interna.	Microclino, cuarzo, plagioclase, muscovita, biotita, berilo, apatita, turmalina.	Se han efectuado solo trabajos superficiales.
"Diadema"	21 km al NW de Villa Busto, Depto. Castro Barros, La Rioja.	La pegmatita es un cuerpo alargado en dirección NS emplazada en granito, descubierto en unos 30 m, con un ancho aparente de 6-7 metros. Presenta zonación interna.	Microclino, cuarzo, plagioclase, muscovita, berilo, biotita, apatita.	Algunas labores superficiales.
"Aida"	Dista 12 km al E de Quines, Depto. Junín, San Luis.	Son grandes afloramientos que asoman en el basamento precámbrico compuesto por esquistos biotíticos de rumbo general NS e inclinación 70° E. La cubierta detritica impide determinar sus dimensiones.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo, granate, apatita, bismutita.	Hasta 1950 produjo 9 t de berilo.
"Amanda"	A 28 km al NW de Sta. Rosa, depto. Junín, San Luis.	Se trata de un cuerpo de rumbo general NS, vertical de unos 60 m de longitud y 8 m de potencia, que aflora en el basamento precámbrico compuesto por esquistos filiticos y micacitas, de dirección NE e inclinación 300-400 SE.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo, turmalina, tantalita-columbita.	Trabajos superficiales. Hasta 1950 produjo 10 t de berilo y 50-100 kg de tantalita.

CUADRO N° 5.10 (Continuación).

"Cautana" (Piedritas)	A unos 7.5 km al NNE del km 40 del camino Sta. Rosa-Quines, partiendo de la primera localidad, depto. Junín, San Luis.	Basamento precámbrico, compuesto por esquistos biotíticos de rumbo general NS e inclinación 300-600 E. Es un cuerpo concordante de unos 200 m de largo y potencias de hasta 25 m.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo, biotita, granate, triplita.	Hasta 1950 produjo 7 t de berilo.
"Clacita"	A 20 km al ESE de San Martín, San Luis, a 900 m s.n.m.	Son cuerpos en gran parte cubiertos por material detritico emplazados en el basamento precámbrico, integrado por micacitas de rumbo general NS. No se dan sus dimensiones.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo.	Hasta 1950 se habrían obtenido unas 50 t de berilo.
"La Berta"	A 24 km al WSW de Concepción, depto. San Martín, San Luis, a 850 m s.n.m.	Basamento cristalino precámbrico constituido por micacitas de rumbo NS e inclinación 650 E, intrudidas por rocas dioríticas que constituyen la roca de caja de la pegmatita. Es un cuerpo alargado en dirección NE, 100 m de longitud. Potencia máxima estimada, alrededor de 50 m.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo, espadumeno, triplita, apatita, granate, turmalina. El espadumeno en cristales de 5-10 cm de diámetro.	Parece haber sido explotada intensamente por berilo.
"La Norma"	A 3.5 km al NW de Paso Grande, depto. San Martín, San Luis.	Basamento cristalino precámbrico constituido por esquistos biotíticos inyectados por material ígneo ácido, de rumbo NNW e inclinación 450-550 E. Son cuerpos lenticulares de dirección NNW, de 50 m de longitud y 15 m de potencia máxima.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo.	Produjo 6 t de berilo hasta 1950. Se explota también por cuarzo y feldespato.
"San Maximino"	A 15 km al S de La Carolina, depto. Principal, San Luis, a unos 1.500 m s.n.m.	Esquistos biotíticos inyectados por material ígneo ácido, de rumbo N200W e inclinación 600-700 E. Es un cuerpo concordante de unos 500 m de longitud y 5 m de potencia media. Existen otros cuerpos menos explorados en las cercanías.	Cuarzo, microclino, muscovita, berilo, turmalina.	Hasta 1950 produjo unas 16 t de berilo.

depósitos seguramente eran muy superiores, teniendo en cuenta que en las principales provincias productoras se efectúan continuamente nuevos hallazgos, que determinan constantes denuncias.

Actualmente, habiéndose extraído en los últimos veinte años apenas unas 4.800 t más, las reservas estimadas por el U.S. Bureau of Mines (ver CUADRO N° 5.2), equivaldrían a unas 635.000 t de berilo, del orden del 7 por ciento de las reservas mundiales actualmente conocidas. Esta cifra parece algo elevada, pero no sería descartable considerando que la mayor parte de las pegmatitas con estructura zonal contienen entre 100 t y 500 t de berilo, llegando en algunos casos a cifras de 2.000 t a 4.000 t, y que si las explotaciones se efectuaran no solamente por berilo se tornarían económicas pegmatitas con leyes de corte inferiores. Puede concluirse que las reservas de berilio del país son muy grandes, desproporcionadamente superiores al ritmo de extracción de los últimos años y que podrían sustentar una producción de unas 5.000 t anuales sin mayores dificultades, de existir un mercado local y/o internacional para ellas.

- Tecnologías de extracción.

Salvo contadísimos casos, la explotación del berilo en nuestro país, como también en otros lugares del mundo, se realiza a cielo abierto, mediante la apertura de cortes de cantera y/o zanjas o trincheras que se inician, lógicamente, en los lugares de las pegmatitas en que se manifiesta la presencia de dicho mineral.

Estos trabajos, que comúnmente se llevan a cabo en forma manual, resultan un tanto desordenados y se concretan, en los casos en que las pegmatitas son explotadas exclusivamente por berilo, a la extracción de las concentraciones o "bolsones" de berilo a la vista, abandonándose los, por lo general, una vez agotada su existencia. Es así que a lo largo de los cuerpos de pegmatitas es dable observar labores aisladas y abandonadas, donde, a veces, la sola presencia de improntas revela que fueron trabajadas por berilo.

Los trabajos de referencia, que en su gran mayoría corresponde a la labor individual de uno, dos o más mineros, son de dimensiones limitadas al tamaño de las concentraciones de berilo: llegan a cortes de 5, 10 y más metros de largo por pocos metros de altura o a trincheras de 5, 10, 15 y más metros de longitud por 3 a 5 m de hondura.

A esto debe agregarse que los mineros trabajan intuitivamente, guiándose por sus conocimientos prácticos y sin querer admitir, salvo muy raras excepciones, el consejo de un técnico o el asesoramiento adecuado para iniciar un trabajo de explotación.

Es frecuente la extracción intermitente e irracional, por pirquino.

Una causa de este carácter peculiar de la minería del berilo reside en el hecho de que los mineros o aficionados que la practican, disponen por lo común de muy escasos y limitados recursos arriesgando

su esfuerzo personal, como anticipo de segura recompensa a corto plazo.

No se emplea maquinaria para la extracción presentándose unos pocos donde se emplean martillos neumáticos, accionados por compresor.

El trabajo en general se realiza sin orden-abriendo labores rudimentarias en los diques pegmatíticos, los cuales comienzan comúnmente por pozos de descubrimiento que luego se profundizan por medio de explosivos para extraer materiales en grandes trozos. Así se destruyen importantes cantidades de cuarzo y feldespatos, minerales con los cuales el berilo crece con mayor frecuencia por estar íntimamente vinculado por su génesis, y que posteriormente son separados de él a golpes de martillo. Esta tarea se efectúa casi siempre en los mismos pozos en forma tal que llegan a entorpecer las labores ulteriores por la acumulación de escombros.

Ni siquiera en los casos en que los diques pegmatíticos ofrecen disposición de emplazamiento favorable para ser trabajados como frentes de canteras, al hallarse expuestos en lomas, se ordenan las labores en vista al mejor aprovechamiento de los componentes.

De tal modo, que a lo largo de un crestón de pegmatita se ven casi siempre sucesivos pozos o trincheras acompañados por escombreras muy grandes de materiales útiles desaprovechables.

Una de las razones por las cuales se produce el desperdicio de cuarzo y feldespato, reside, a criterio de los explotadores, en el precio bajo de comercialización en bruto de dichos minerales, motivo por el cual se limitan a la extracción de berilo.

Para el minero, el transporte de berilo desde la mina hasta el centro de comercialización, no representa, en general, un problema de volúmen; pero sí en el caso de cuarzo y/o feldespatos, cuyos acarreos hasta centros de embarque, requiere disponer o contratar medios de movilidad que resultan onerosos con relación al precio de venta de esos minerales.

La mina Las Tapias, por sus dimensiones y riqueza, ha constituido un ejemplo de explotación subterránea, mecanizada, que, incluso, llegó a disponer de una planta de concentración gravitacional para la recuperación de los minerales de bismuto contenidos en ciertos sectores de la mina.

Cuando el berilo es obtenido como un subproducto en las extracciones de feldespatos y cuarzo las explotaciones tienen, obviamente, mayor significación. En estos casos las canteras representan grandes cortes, que suelen alcanzar longitudes de hasta más de 100 m, por 10 y más metros de alto; por ejemplo, en la mina La Esmeralda y otras.

En todas estas explotaciones, luego de efectuar los disparos para el arranque del material pegmatítico, cuidando en lo posible que los mismos no destrocen los cristales de berilo presentes, se procede a su selección mediante eliminación de las impurezas adheridas (cuarzo, feldespato, mica), con lo cual se llega a obtener un mineral que suele registrar un contenido de hasta 12 por ciento de BeO.

Una idea de la precariedad de las explotaciones, acentuada en los últimos años por la caída de la producción, está dada por el número de personas empleadas en las mismas; en 1974 para unas 270 toneladas entregadas al mercado, se ocuparon 52 personas; en 1976 con unas 110 toneladas, había 14 personas, y en 1980 con 31 toneladas la estadísticas registra 55 personas. Debe señalarse que en los datos publicados puede haber asignación de personas que laborean cuarzo, feldespato o mica cuando la explotación es conjunta, pero aún así, considerando la mitad del personal, la productividad no supera los 60 kg por día por persona.

Aquí, como en el caso del espodumeno, se deberían racionalizar las labores para lograr una explotación integral de la pegmatita, considerando realizar una operación mecanizada, o semimecanizada, y una concentración de los varios minerales (cuarzo, feldespato, mica, espodumeno, columbita-tantalita, minerales de bismuto, etc).

Este tipo de operación, además de no llevar a una degradación del yacimiento, permite un aprovechamiento óptimo de los recursos técnicos, económicos y humanos, minimizando los costos.

Usos industriales.

Los primeros intentos de beneficiar el berilo fueron realizados por S.A. Berilo Argentina, (SABA), empresa que en 1941 procede a la instalación de una fábrica en la localidad de Juan Ortiz (provincia de Santa Fé) para la elaboración de carbonato y óxido de berilio, pensando llegar más adelante a la

obtención de berilio y sus aleaciones. Se habían previsto planes para un consumo de hasta 1.000 toneladas anuales de berilo.

No obstante todo el empeño puesto sobre el particular, la citada firma, tras una serie de reveses de orden técnico, se vio obligada a paralizar definitivamente sus actividades en el año 1947. Esto a pesar de que durante varios años, la exportación de berilo fue prohibida, para tratar de alentar la beneficiación de ese mineral en el país.

Posteriormente se instaló en Lomas del Mirador, San Justo, la Compañía Argentina de Berilio y Aleaciones (CABYA), con una planta para la obtención de óxido de berilio y sus aleaciones, cuya producción se dedicó exclusivamente a la fabricación de herramientas antichispas de bronce al berilio y de electrodos de cobre-berilio. Según las informaciones del comité de comercialización de minerales, de la Subsecretaría de Minería, las ventas de berilode es empresa, expresadas en kilogramos fueron 2.801 en

en 1956, 3.350 en 1957, 5.642 en 1958, 6.010 en 1959 y 6.000 tn los primeros 6 meses de 1960; estaba previsto un consumo de 10-12 toneladas anuales, pero la firma no prosperó. Tampoco llegó a concretarse en una industria la planta experimental que la Beryl Argentina tenía en la provincia de Córdoba dedicada a ensayos - con miras a la obtención de carbonato y óxido de berilio.

Resulta razonable estimar que en el momento actual no sería práctico pensar en la extracción del berilio en nuestro país, siendo como es una tecnología sumamente compleja, y el mercado interno sumamente reducido, un máximo de 7 toneladas anuales de flejes de cobre-berilio, con 2 por ciento Be, y unos pocos kilogramos de berilio metálico. Sería más factible en una primera etapa instalar una planta de tratamiento de pegmatitas que comercializar materias primas diversas para las industrias cerámicas, del vidrio, de los refractarios, eléctrica, etc., como cuarzo, feldespato, mica, espodumeno, y produjera en forma regular concentrados de berilo de buena calidad, alto contenido de BeO y ho-

mogéneos sin contenido de fósforo, que pudieran exportarse fluídamente. Se debería negociar con compradores del exterior contratos firmes, por varios años, que aseguren su colocación a precios internacionales. Descontados fletes, seguros, transporte interno y gastos de exportación, pueden considerarse precios de 1.100 - 1.200 U\$S por toneladas métrica de berilo de 12 por ciento BeO cargado sobre camión mina.

Con respecto a las especificaciones para el berilo, las únicas existentes en nuestro país son las del Banco Nacional de Desarrollo, que compra el material seco y embolsado, a través de sus Agencias de Promoción minera, con una granulometría mínima de 3 mm y una ley mínima de 10 por ciento BeO.

En cuanto a los productos que se importan, las especificaciones son normalmente las de los fabricantes, al ser generalmente aleaciones normalizadas y además muy escasas las fuentes de abastecimiento. Estas aleaciones se utilizan en las industrias eléctricas y electrónicas, para contactores, relays, portaes-

cobillas, controles termoestáticos, resortes, muelles de presión Bourdon.

5.2.2. Aspectos de mercado y comercialización.

- Producción local.

En el Cuadro N° 5.11 se dan las producciones de berilo del país durante los dos períodos de máxima actividad, hasta 1960. Los picos se alcanzaron en 1941 y 1954, con 2.186 toneladas y 1.990 toneladas, respectivamente. En el período 1947-1950 se produjo una casi paralización de la producción, al prohibirse la exportación de berilo e imponerse precios bajos al mineral. Hasta el año 1960, nuestro país habría aportado a la minería mundial del berilo un 17 por ciento de la producción total. Descontadas las 1.637 t de berilo en depósito a fin de ese año, unas 16.700 toneladas habían sido exportadas, un 76 por ciento a los EE.UU., el resto fue a Gran Bretaña, Japón, Francia e Italia.

CUADRO N° 5.11. - PRODUCCION NACIONAL DE BERILO EN SU PERIODO
DE AUGE. (en toneladas métricas).

Año	San Luis	Córdoba	Catamarca	San Juan	La Rioja	Río Negro	Total
1935	189	—	—	—	—	—	189
1936	300	—	—	—	—	—	300
1937	250	10	—	—	—	—	260
1938	333	400	—	—	—	—	733
1939	177	122	—	—	—	—	299
1940	130	390	—	—	—	—	520
1941	196	1.990	—	—	—	—	2.186
1942	74	848	—	—	—	—	922
1943	211	670	—	—	—	—	881
1944	226	116	—	—	—	—	342
1945	60	130	—	—	—	—	190
1946	150	35	—	—	—	—	185
1947	80	8	—	—	—	—	88
1948	60	—	—	—	—	—	60
1949	60	5	—	—	—	—	65
1950	3	—	—	—	—	—	3
1951	45	106	—	—	—	—	151
1952	481	198	21	—	—	—	700
1953	803	699	5	6	34	2	1.540
1954	979	869	17	95	28	2	1.990
1955	774	726	38	13	18	1	1.571
1956	624	774	98	6	64	1	1.562
1957	537	604	188	—	49	—	1.378
1958	341	345	200	—	23	—	909
1959	299	227	81	—	6	—	613
1960	325	259	87	—	4	—	675
Totales	7.728	9.531	735	115	226	6	18.341

A partir de 1956 comienza un descenso, con bajas de los precios en el mercado de Nueva York para el mineral importado. En el Cuadro N° 5.12 se dan las producciones hasta el año 1980, pudiéndose observar la caída en la producción, casi constante, no habiéndose alcanzado nunca más los niveles anteriores. Hubo una muy pequeña recuperación en 1968/69 pero no duró, y actualmente la producción carece realmente de significación.

Nuestra producción ha sido el resultado del laboreo de numerosos depósitos, cuyo aporte anual ha variado ampliamente, esto es, entre un mínimo, a veces, de pocos kilogramos, hasta un máximo de algunas decenas y hasta centenas de toneladas, en contados casos.

El número de yacimientos de una u otra forma ha contribuido en las épocas de auge al producido nacional, fue indudablemente superior a la suma de las minas y cateos solicitados, ya que existían acopiadores respaldados en pedimentos poco productivos e improductivos que recogían la producción de "pirquineros". De

CUADRO N° 5.12 - PRODUCCION NACIONAL DE BERILO - 1961-1980.

AÑO	Producción (t)	Ley (% BeO)	AÑO	Producción (t)	Ley (% BeO)
1961	426	10,50	1971	253	10,15
1962	224	10,56	1972	187	10,12
1963	377	11,17	1973	185	10,85
1964	189	11,66	1974	268	10,99
1965	225	11,52	1975	167	10,45
1966	255	11,04	1976	112	11,72
1967	269	10,98	1977	165	11,0
1968	593	10,19	1978	22	10,61
1969	518	10,15	1979	12	11,00
1970	302	10,23	1980	31	11,03

ahí que resultó en general extremadamente difícil, por falta de contralor, el saber la producción verdadera de cada yacimiento.

A título de ejemplo, y a falta de mejores datos, y atendiendo a las informaciones de producción proporcionados por los concesionarios de los depósitos con anterioridad a 1952, se alcanzaron las siguientes cifras aproximadas de producción total en algunos de los yacimientos más llamativos del país:

Las Tapias -----	3.200 t
Las Palomas -----	570 t
La Esmeralda - La Violeta --	330 t
Santa Ana -----	190 t
La Magdalena -----	180 t
El Criollo - El Gaucho -----	130 t

Mercado interno y externo.

Hasta el año 1950 se mantuvo la libre comercialización de este mineral, tanto en el orden interno como en el externo. En el período 1944-1949, a raíz del decreto 10.258/44, que prohibió la exportación de berilo, se estableció un mercado interno con miras a abastecer las necesidades de la fábrica de óxido y carbonato de berilio instalada en Juan Ortiz (Santa Fe), imponiendo precios bajos, lo que motivó una gradual paralización de las explotaciones, que alcanzó a ser prácticamente total en 1950.

Por Decreto 9.594/50 el Estado tomó a su cargo la compra de este mineral a través del entonces Banco de Crédito Industrial Argentino, misión que más tarde pasa directamente a manos del IAPI, encargado de su comercialización en el exterior, y finalmente, una vez disuelto ese organismo al Comité de comercialización de Minerales, entidad dependiente de la Subsecretaría de Minería, que cumplió estas operaciones hasta 1963, conforme con la ley 14.520. A partir de enton-

ces la comercialización fue libre, pero el Banco Nacional de Desarrollo ha tenido siempre un importante papel a través de las compras de sus Agencias de Promoción.

La producción del país ha sido casi completamente exportada. En los primeros años y hasta 1951, principalmente a Gran Bretaña, y luego a los EE.UU. En el Cuadro N° 5.13 se dan como ejemplo, las cifras de exportación del período 1952-59, en el cual éstas alcanzaron su máximo expresión, con un promedio superior a las 1.100 toneladas anuales, que a los precios de hoy en día representarían casi un millón y medio de dólares por año. En los años 1970-1980 solamente se exportaron 1.427 toneladas por U\$S 592.000.

Con respecto al consumo interno de materiales conteniendo berilio, éste es muy reducido, limitándose a chapas, planchas, hojas y flejes finos de aleación de cobre-berilio, y a pequeñísimas cantidades de berilio metálico, todo lo cual no alcanza a los 200 kilogramos de berilio contenido. En el CUADRO N° 5.14 se muestran las importaciones de estos productos en los últimos años.

CUADRO N° 5.13. - EXPORTACIONES DE MINERAL DE BERILIO

<i>Año</i>	<i>País</i>	<i>Kilos netos</i>	<i>Ley promedio</i>	<i>Dólares</i>	
1952	Inglaterra	499.962.—	11,68 %	u\$s	213.792.04
1953	EE. UU. de N. A.	1.323.287.—	11,33 %	u\$s	740.179.63
1955	EE. UU. de N. A.	400.000.—	11,53 %	u\$s	184.469.10
1956	EE. UU. de N. A.	2.124.169.—	11,36 %	u\$s	873.367.40
1957	EE. UU. de N. A.	1.500.000.—	11,16 %	u\$s	611.033.26
	Japón	3.000.—	12,33 %	£	463.15.06
1958	EE. UU. de N. A.	500.000.—	11,22 %	u\$s	203.725.87
	Japón	25.000.—	11,65 %	£	3.651.00.01
	Italia	10.000.—	11,57 %	Liras	2.717.775.—
1959	EE. UU. de N. A.	2.990.000.—	11,35 %	u\$s	917.485.45
	Japón	75.000.—	12,03 %	u\$s	9.425.03
				£	6.069.14.05
	Francia	50.000.—	11,63 %	FFrs.	7.319.176.—
				NFFrs.	6.707.—

CUADRO N° 5.14. - IMPORTACION DE PRODUCTOS DE BERILIO.

PRODUCTO	1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980	
	t	U\$S	t	U\$S	t	U\$S	t	U\$S	t	U\$S	t	U\$S	t	U\$S
74.04.00.01.01 Chapas, plan- chas y hojas de espesor supe- rior a 0,15mm Cobre al beri- lio (t).....	4,6	54.895	3,3	44.830	4,2	63.940	4,2	65.243	4,7	70.283	45(kg)	820	0,5	11.764
74.04.00.01.02 Flejes de espe- sor superior a 0,15mm Cobre al berilio (t)...														
74.05.00.01.02 Hojas delgadas, de 0,15mm o me- nos de espesor Cobre al beri- lio (t).....	1,9	30.705	3,5	64.504	0,5	15.399	1,2	28.668	0,5	121.797	-	-	0,1	16.399
74.05.00.02.02 Tiras delgadas, de 0,15mm o me- nos de espesor (t)														
74.04.00.00.00 Berilio metáli- co en bruto y trabajado(kg).	1	140	1	248	-	-	-	96	-	-	1	421	6	1.786
TOTALES (t)...	6,5	85.740	6,8	109.582	4,7	79.339	5,4	94.007	5,2	192.080	1,6	27.551	7,4	177.247

5.3. AMBITO PROVINCIAL.

5.3.1 Actividad extractiva.

En el año 1942 se extrajeron algo más de 3 toneladas de berilo de filones pegmatíticos, en la falda oriental de la sierra de Ancastí, incluyendo algunas partidas de aguamarina que se destinaron a joyería.

La producción provincial de berilo solamente comienza a ser registrada a partir del año 1952, según puede observarse en el Cuadro N° 5.11. Entre 1952 y 1960, período de la mayor producción nacional, Catamarca aportó 735 toneladas de berilo, que constituyeron el 6,7 por ciento del total del país. Luego, acompañando la evolución nacional al respecto, la actividad extractiva de berilo en la provincia decayó profundamente, reduciéndose en los últimos años a las pocas toneladas que figuran en el Cuadro N° 5.15 donde se compara la producción nacional con la catamarqueña, habiendo significado ésta un 9,54 por ciento del total, que si bien resulta en un aumento en la participación, el tonelaje total es muy bajo, promediando menos de 15 toneladas anuales.

CUADRO N° 5.15. - PRODUCCION PROVINCIAL DE BERILO.							
A Ñ O	N A C I O N A L			P R O V I N C I A L			
	Total (t)	Ley (% BeO)	BeO contenido (t)	Total (t)	Ley (% BeO)	BeO Contenido (t)	
1970	302,442	10,23	30,954	49,215	10,08	4,935	
1971	253,193	10,15	25,699	27,700	10,13	2,806	
1972	186,593	10,12	18,885	25,068	10,20	2,558	
1973	185,078	10,85	20,075	14,066	10,84	1,525	
1974	268,643	10,99	28,946	20,496	10,00	2,049	
1975	166,645	10,45	17,416	17,000	8,09	1,375	
1976	111,791	11,72	13,106	-	-	-	
1977	164,942	11,00	18,123	-	-	-	
1978	22,057	10,61	2,342	9,000	11,00	0,990	
1979	11,523	11,00	1,268	-	-	-	
1980	30,74	11,03	3,391	-	-	-	
TOTAL	1.703,647	10,59	180,205	162,545	10,00	16,238	

En general para las condiciones de minería provincial valen los comentarios hechos sobre la minería nacional: tipos de pegmatitas portadoras de berilo, características de los yacimientos, forma precaria de explotación, muy escaso personal empleado (en 1978, -- último año en que se registró producción, había 7 personas dedicadas a estas tareas en Catamarca), falta de -- aprovechamiento integral de la pegmatita.

Los yacimientos más importantes de la -- provincia son Buena Estrella, Eduardo José, Reflejos -- del Mar, El Quebracho, Ipizca, Flor Morada, Charito, -- San Sebastián, 6 de Julio, El Quimil y Virgen del Socavón de Oruro, todos en los departamentos de El Alto y -- Ancasti. Existen en Catamarca aproximadamente un centenar de pegmatitas portadoras de berilo, algunos afloramientos de gran extensión, no obstante, su distribución errática hace que resulte casi imposible hoy en día, -- cuantificar las reservas provinciales de berilo con los datos. Solamente podría especularse sobre ellas acep-tando las cifras estimadas por el U.S. Bureau of Mines y considerando que la provincia las posea en proporción a lo producido en sus mejores años, si bien esto no ten

dría en cuenta los yacimientos ya agotados. No obstante todo esto, puede aceptarse la existencia de varios - miles de toneladas de berilo, que podrían ser recuperadas a través de una explotación integrada. No debe desdeñarse tampoco la posibilidad de aprovechar las numerosas escombreras para ir recuperando berilo en una planta de tratamiento adecuada para tratar mineral de baja ley.

5.3.2. Aspectos económicos.

Teniendo en cuenta las muy reducidas producciones de berilo logradas por la provincia en los últimos años puede decirse que las mismas no han resultado en ingresos de significación, tal vez unos U\$S 60000 en una década. Solamente una explotación continuada e intensiva podrá brindar un aporte interesante a la minería catamarqueña.

Se deben reiterar aquí las recomendaciones realizadas para mejorar la explotación de los minerales de litio, en cuanto a efectuar un estudio regional, que permita localizar nuevos cuerpos pegmatíticos, y llevar a cabo labores de exploración para poder definir reservas, constancia de composición y estimar costos de explotación.

Muestreos sistemáticos, con análisis geoquímicos y mineralógicos, seguidos de ensayos en laboratorio y planta piloto para verificar posibilidades y métodos de concentración y recuperación de subproductos, - permitirán finalmente evaluar la factibilidad de instalar una planta regional de tratamiento de los minerales de las pegmatitas catamarqueñas.

Si el país se encaminara decididamente hacia el desarrollo de su minería, y encarara seriamente la producción de un mineral estratégico como es el berilo, debería por lo menos llegar a un volumen de mineral extraído anualmente proporcional a su porcentaje mundial de reservas, el que sería así no inferior a las

1200 toneladas. Catamarca podría aspirar a no menos de un 30 por ciento de esa producción. Estas 360 toneladas anuales de berilo, con un mínimo de 11 por ciento-BeO, significarían ingresos del orden de los U\$S400.000.

Si se adoptara el criterio de instalar una planta regional de tratamientos y concentración de los diversos minerales de las pegmatitas, una alimentación de aproximadamente 100 toneladas diarias de un mineral de cabeza con un promedio de 15-20 por ciento de espodumeno, y entre 1,0 2,0 por ciento de berilo, permitiría recuperar las 2.400 toneladas anuales de espodumeno concentrado mencionadas en el capítulo sobre el litio, y, con el agregado de algún aporte de selección manual, las citadas 360 toneladas anuales de berilo. Además de estos minerales principales se obtendrían mica, cuarzo y feldespatos por valores que seguramente aumentarían los ingresos de la planta hasta superar el millón de dólares anuales. Una actualización a precios de hoy de los valores de la inversión necesaria para una planta de este tipo, estimados hace once años, indica que el monto requerido sería del orden de U\$S. 1,4 millones.

Pero debe señalarse que todas estas cifras tienen que tomarse como puramente orientativas, ya que primeramente, como se indicó, deben realizarse los estudios técnicos correspondientes, identificarse los yacimientos más adecuados, cuantificarse las reservas y definirse una localización óptima para la planta. Esta unidad industrial podría ser operada por una cooperativa que agrupara a los mineros propietarios de los depósitos de litio y berilo de la provincia de Catamarca.

5.4. CONCLUSIONES.

La utilización del berilio y sus aleaciones en equipos militares sofisticados, en las industrias aeroespacial y nuclear, y sus perspectivas futuras de aplicación en los reactores de fusión, lo hacen un metal estratégico. Si bien los recursos mundiales conocidos son abundantes frente a las proyecciones de la demanda, existe marcado interés en diversos países, principalmente los EE.UU. y Japón, por asegurarse abastecimientos a largo plazo y diversificar sus materias primas, como lo prueban las expansiones de plantas y los desarrollos para utilizar berilo pobre, realizadas en el primero de ellos, con apoyo gubernamental.

Los aumentos del precio internacional del berilo en los últimos años tendrían que alentar en nuestro país las tareas de prospección, exploración y cubicación de las reservas berilíferas locales, consideradas muy significativas.

Debería fomentarse la extracción nacional del berilo, asegurando al productor precios redituables, y estudiarse la formación en el país de una reserva estratégica, que permita además regular las exportaciones según las fluctuaciones que experimenten los precios mundiales, salvo que se consiguieran contratos de venta en firme por largos períodos con países como Japón, Francia o los EE.UU.

Hay que encarar la explotación racional de las pegmatitas, de manera de obtener de cada cuerpo-portador el rendimiento global completo, sin que uno de los componentes influya perjudicialmente en la producción de los demás. Fundamentalmente tienen que ser considerados conjuntamente el berilo y el espodumeno, recuperándolos en una planta regional de concentración, la que además produciría cuarzo, feldespatos y mica, y para ciertas pegmatitas podrían obtenerse otros minerales -- (turmalina, granate, columbita-tantalita, bismuto, casiterita). De esta manera numerosos cuerpos pegmatíticos estrechamente relacionados en su composición, podrían explotarse conjuntamente en forma organizada, aprovechando su proximidad geográfica.