

VIII. APENDICES.

1) Clasificaciones

a) Clasificación de Rocas Sedimentarias.

Para ordenar estas rocas se utilizó la Clasificación genética de Pettijohn (1959). En el caso de las rocas carbonatadas, se utilizó la Clasificación de Dunham, basada en la textura deposicional y la de Folk, basada en la composición.

Para las rocas detríticas se usó la Clasificación granulométrica de V.T. Allen, tomada de Huang (1968, pp 225).

Específicamente para el tamaño del grano de las areniscas se siguen los siguientes criterios :

Grano muy grueso	2 - 1 mm.
Grano grueso	1 - 1/2 mm.
Grano medio	1/2 - 1/4 mm.
Grano fino	1/4 - 1/8 mm.
Grano muy fino	1/8 - 1/16 mm.

b) Clasificación de Rocas Metamórficas.

La nomenclatura se toma básicamente de la Clasificación de Huang (1968), basada en el tipo de metamorfismo, textura, estructura y composición mineralógica. Se considera importante hacer las siguientes especificaciones :

Mármol : Roca metamórfica formada del 50 % de carbonato.

Cuarcita : Roca metamórfica con más del 50 % de cuarzo de grano medio a grueso.

Corneana : Roca metamórfica de grano fino a muy fino, de cristales equidimensionales con textura granoblástica.

Así mismo se utilizó la clasificación de facies de Turner (1968)* complementada por la Clasificación de grado metamórfico de Winkler (1978).

c) Clasificación de Rocas Igneas.

Las rocas plutónicas se clasificaron según el Diagrama de Streckeisen (1973)

Para las rocas volcánicas se utilizó el Diagrama de Jung y Brousse (1965).

Para las rocas vulcanosedimentarias se utilizó la Clasificación granulométrica de V.T. Allen (1934) mencionada anteriormente.

El Tamaño del grano en las rocas ígneas en general, se considera según la relación siguiente:

Grano muy grueso	mayor de 1 cm.
Grano grueso	5 mm. a 1 cm.
Grano medio	1 mm. a 5 mm.
Grano fino	menor de 1 mm.

* Tomado de Williams et al (1983) Petrografía CECSA.

2) La importancia del Tungsteno.

a) Generalidades.

Propiedades y Usos.

Fu  descubierta por Karl Scheele en 1781, quién aisló y experiment  con este metal, dos años después los hermanos Elhuyar obtuvieron este elemento a partir de la wolframita. El nombre de wolframio fué adoptado oficialmente en 1949. Sin embargo hasta el siglo XIX empieza a utilizarse industrialmente.

El Wolframio es un elemento de transición del subgrupo VII de la clasificación periódica, junto con el Cromo, Molibdeno y Uranio con los que presenta analogías. Químicamente es muy estable, no se disuelve con el ácido clorhídrico ni sulfúrico.

Sus propiedades físicas son: el punto más alto de fusión de todos los metales (alrededor de 3410  C), un peso específico elevado de 19.3, el más elevado módulo de elasticidad, poca compresibilidad y bajo coeficiente de expansión termal. Es el único metal que combina las cualidades de conductividad eléctrica y termal, resistencia al desgaste, a los ácidos y a las altas temperaturas. Estas características las transfiere a las aleaciones (principalmente con Fe, Co, Ni, Cr y Mo), así como a los compuestos de Carbón (carburos) y con Boro (boruros).

Es demasiado refractario para ser fundido y colado como otros metales, por lo que su preparación en formas dúctiles indica una gran avance metalúrgico.

Se utiliza en distintas industrias como son, la industria del acero, química, electro-técnica, textil, aeronáutica, del armamento, aeroespacial, de la pintura, etc.

Los procesos de producción y los productos finales se encuentran resumidos en la Tabla 10.

Distribución en la Corteza Terrestre.

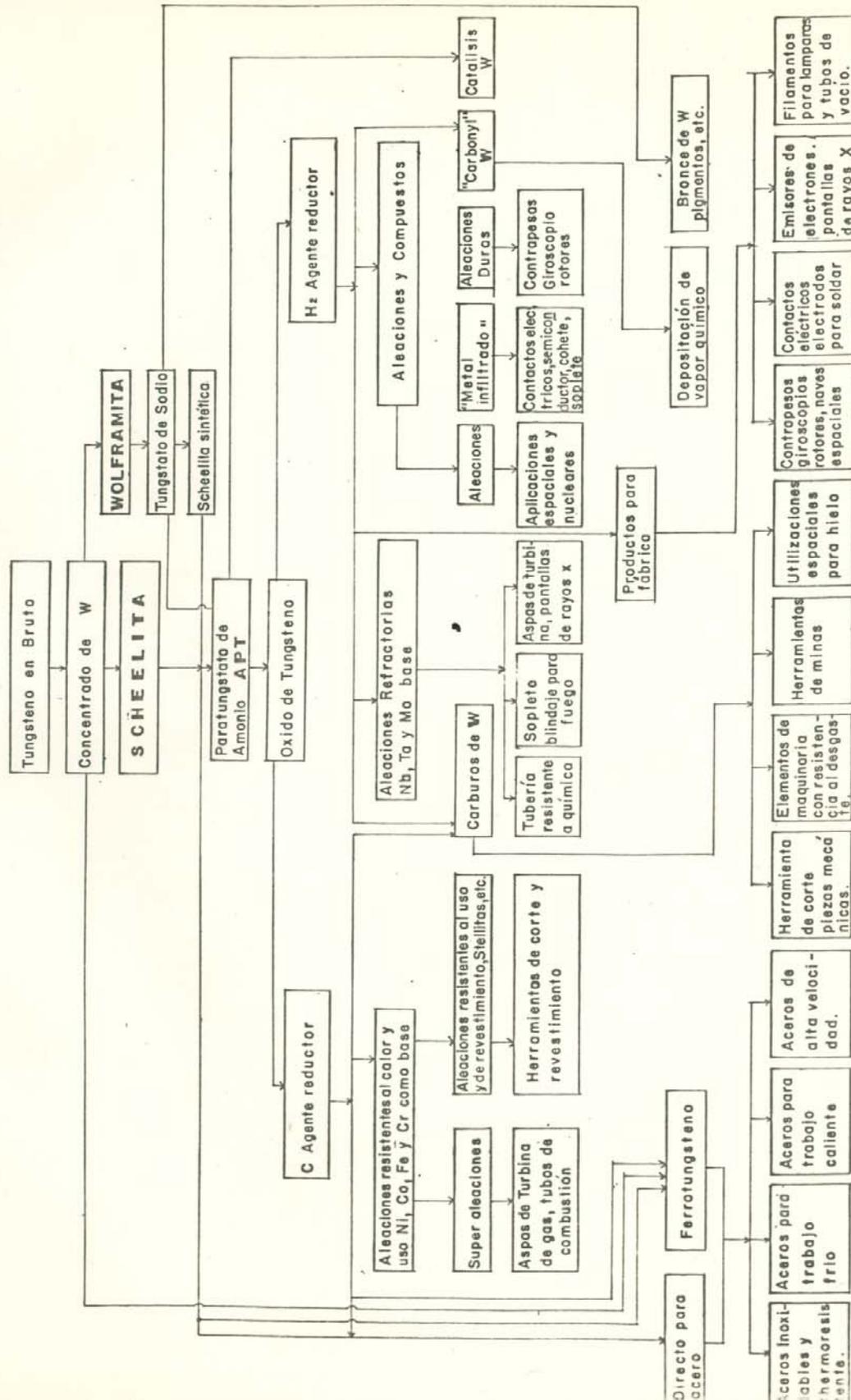
El tungsteno posee cinco isótopos naturales y tres artificiales (radioactivos).

La media global del tungsteno ha sido estimada por Krauskoff (1967) de 1 a 2.3 p.p.m. en la corteza terrestre y de 0.1 p.p.b. en el agua del mar.

Se han efectuado medidas en diferentes tipos de rocas para establecer el contenido medio de tungsteno, así según Turekian y Wepphol (1961) se tiene:

TABLA 10

PROCESOS DE PRODUCCION DE TUNGSTENO Y APLICACIONES



Rocas Intrusivas.

Rocas Ultrabásicas	0.77 p.p.m.
Basaltos en general	0.7 p.p.m.
Sienitas en general	1,3 p.p.m.
Granitos ricos en Ca.	1.3 p.p.m.
Granitos alcalinos	2.2 p.p.m.

Rocas Sedimentarias.

Sedimentos argiláceos	1.8 p.p.m.
Areniscas	1.6 p.p.m.
Calizas y Dolomías	0.6 p.p.m.
Fondos oceánicos	insignificante.

Aquí se muestra que los granitos alcalinos son las rocas donde el tungsteno es más abundante, aunque ciertas rocas sedimentarias pueden presentar una media elevada.

Las medidas efectuadas en los minerales esenciales de las rocas intrusivas son :

	Fuera de los yacimientos	Cerca de los yacimientos
Cuarzo		
Anfíbol	1.0 p.p.m.	
Piroxeno		
Feldespato	1.0 p.p.m.	100 p.p.m.
Micas	5 a 10 p.p.m.	500 p.p.m. *

*muscovita en el lugar de la alteración.

Las micas parecen ser las portadoras preferenciales, aunque los fuertes contenidos observados en * pueden corresponder a anomalías de dispersión primaria.

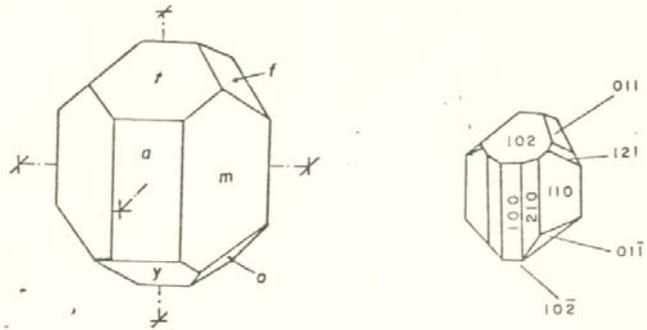
Mineral.

El tungsteno es básicamente litófilo, todos sus minerales (excepto la tungstita WS_2), son formados a partir del óxido de wolframio WO_3 . Se conocen una veintena de minerales pero solo la scheelita y los minerales de la serie de la wolframita son económicamente explotables.

Serie de la Wolframita.

Mineral duro (frágil)	densidad	dureza
Hubnerita ($MnWO_4$) (0 a 20 % átomos de Fe)	7.12	4

	densidad	dureza
Wolframita (Mn, Fe)WO ₄		
Ferberita (FeWO ₄)		
(0 a 20 % átomos de Mn)	7.51	5.5
Sistema monoclinico.		



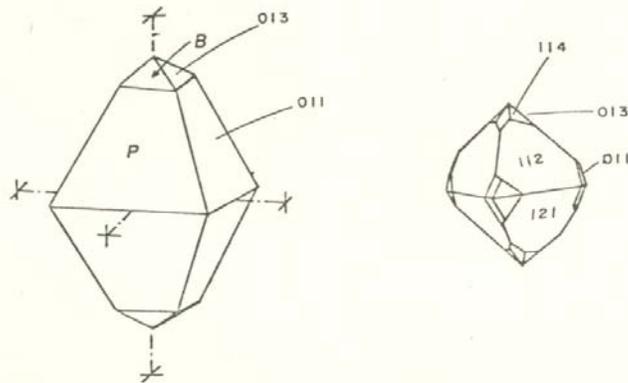
Cristal de Wolframita. Formas Pinacoides
 $a \{100\}$, $f \{102\}$ y $y \{102\}$
 prismas $m \{110\}$ y $f \{011\}$

Figura 22

Scheelita CaWO₄

Tetragonal, Densidad 6.1, Dureza 4 a 5.5, color blanco amarillento.

Es fluorescente en azul con luz ultravioleta, este color cambia a amarillo cuando el Mo sustituye al W. Normalmente el Mo, es menor del 3 % pero en la seyrigita hay 24 % de Mo, la forma general se llama powellitita Ca (Mo,W) O₄.



Cristal de Scheelita. Formas: Bipiramidales tetragonales
 $p \{101\}$ y $B \{103\}$

Figura 23

Minerales de Alteración.

Tungstita $WO_3 \cdot H_2O$

Hidotungstita $WO_3 \cdot 2H_2O$

Cuprotungstita $Cu_2 WO_4 (OH)_2$

Ferritungstita $Ca_2 Fe_4 (WO_4)_7 \cdot 9H_2O$

Estos minerales se encuentran a veces como producto de alteración superficial de la scheelita o de la wolframita.

Alteración superficial y Erosión.

Los dos minerales principales del tungsteno para la economía que son la scheelita y la wolframita, son relativamente resistentes a la acción de las aguas superficiales, así el lavado de los aluviones ha desempeñado un papel a veces importante dentro de la producción, aunque con un pH mayor de 9 (trabajo de Bryzgalin, 1960), la wolframita y la scheelita son atacadas cuando las aguas superficiales se encuentran acidificadas por la alteración de los sulfuros asociados. En condiciones semiácidas se forma cuprotungstita y ferritungstita.

Dentro de las fisuras de cuarzo se puede producir una reprecipitación de scheelita, la cual frecuentemente enmascara los valores en el examen de luz ultravioleta.

Procesos Magmáticos e Hidrotermales.

El comportamiento del tungsteno es difícil de conocer, pues contrariamente al estaño, no subsiste dentro de las rocas intrusivas a las cuales están asociados ciertos distritos mineralizados. Sin embargo dentro de algunos yacimientos (Echassieres en Francia, Barrueco Pardo en España) parece que la fase principal de mineralización en tungsteno está condicionada por la etapa de microclinización en el curso de la evolución petrográfica de los granitos (Burnol et al, - 1978).

A partir de la asociación frecuente wolframita-casiterita dentro de algunos yacimientos, así como la presencia común de minerales de flúor en las gangas (fluorita, topacio), el papel de los halógenos F o Cl, está bien establecido para el estaño, pero aún en discusión en lo que respecta al wolframio. Existen componentes volátiles de tungsteno (WF_6 , WCl_4 ...) pero el cálculo termodinámico y las experiencias sobre las reacciones tipo $WF_6 + 3H_2 WO_3 + 6 HF$ muestran que concentraciones elevadas de ácidos halógenos son necesarias para que éstas tengan importancia dentro del transporte de tungsteno.

Normalmente en el agua pura la solubilidad del WO_3 , $CaWO_4$ y $(Fe, Mn) WO_4$

es muy débil, pero los parámetros son numerosos, temperatura, pH, presión, contenido en sílice y en cationes, en función de éstos puede haber soluciones solubles con Na_2WO_4 , H_2WO_4 y ácidos sílico-túngsticos, como $\text{H}_8\text{Si}(\text{W}_2\text{O}_7)_6$. Según las experiencias de Gundlach y Thorman (1960), obtuvieron a temperaturas ambiente FeWO_4 con pH 5.9, MnWO_4 con pH 6.7 y CaWO_4 con pH 7.3, pero ésta no ha sido probada experimentalmente más que para temperaturas que no pasan de 300 °C.

En lo que concierne al ambiente mineral los trabajos de Bryzgalin (1958) son interesantes, donde se muestra que la scheelita puede precipitar por reacción entre una solución que contiene Na_2WO_4 y una plagioclasa cálcica, hecho importante para una cristalización en presencia de gneis o de granitos cálcicos.

b) Clasificación de los Yacimientos de Tungsteno.

Se ha observado que el tungsteno no aparece siempre de la misma forma, existen diferencias ya sea en la morfología de los yacimientos dentro del ambiente geológico, en sus relaciones paragenéticas o en sus condiciones de génesis. Por ello se han hecho varias clasificaciones, con el fin de obtener una tipología de los yacimientos de tungsteno.

Las diversas clasificaciones han sido propuestas en base a la importancia que se daba a uno u otro de estos aspectos y las combinaciones entre ellos. Debido a la asociación del estaño con el tungsteno en ciertas provincias, las clasificaciones fueron con frecuencia establecidas para los dos minerales, sobre todo en el caso de los trabajos europeos localizados en una provincia estaño-tungstenífera.

Sin embargo, en América la asociación estaño-tungsteno es inexistente. La característica esencial de los yacimientos de tungsteno es su relación casi constante con rocas ígneas más o menos ácidas principalmente plutónicas (granitos en el sentido amplio) y menos frecuentemente en rocas volcánicas (riolitas, etc.). En el caso de plutones ácidos, el tipo de yacimiento depende primordialmente de la naturaleza de la roca encajonante, formándose filones con wolframita y a veces con scheelita, en rocas no calcáreas y skarns casi exclusivamente con scheelita en rocas calcáreas.

La clasificación usada en este trabajo es la realizada por L. Burnol et al 1978, basada en una agrupación anterior hecha por V.K. Denisenko (1975), la cual toma en cuenta la morfología del depósito (relación espacial entre las diferentes unidades que lo conforman) y la paragénesis.

Clasificación de L. Burnol.

A.- Yacimientos del Grupo Plutónico.

- 1.- Yacimientos pirometasomáticos (skarns o tactitas con scheelita)
- 2.- Pegmatitas.
- 3.- Yacimientos filonianos y asimilados con cuarzo-wolframita eventualmente con cuarzo-scheelita.
 - 3.a. Stockworks
 - 3.a.1. Stockworks extratolíticos
 - 3.a.2. Stockworks y vetillas sin relación conocida con un plutón.
 - 3.b. Mineralizaciones diseminadas intratolíticas de cúpulas.
 - 3.c. Filones y conjuntos filonianos.
 - 3.c.1. Filones de cuarzo con minerales del grupo de la wolframita exclusivamente.
 - 3.c.2. Filones cuarzosos con casiterita - wolframita.
 - 3.c.3. Filones cuarzosos con scheelita.
 - 3.c.4. Filones con cuarzo-scheelita-oro
 - 3.d. Los "pipes".

B.- Yacimientos del Grupo Vulcano-Plutónico.

- 4.- Yacimientos vulcanoplutónicos de tungsteno y estaño.
 - 4.a. Yacimientos filonianos vulcano-plutónicos polimetálicos con tungsteno y estaño y sulfuros abundantes.
 - 4.b. Yacimientos de tungsteno y estaño diseminados en las riolitas.
- 5.- Yacimientos vulcanoplutónicos de tungsteno sin estaño.
 - 5.a. Yacimientos filonianos con cuarzo-hubnerita, sulfuros y sulfosales (tipo peruano).
 - 5.b. Yacimientos filonianos con cuarzo-ferberita (o scheelita) estibinita (tipo Boliviano)
 - 5.c. Yacimientos filonianos con cuarzo ferberita sin estibina (tipo Boulder).

C.- Formaciones con Oxidos de Manganeso y Tungsteno.

D.- Yacimientos del Grupo Sedimento-Metamórfico.

- 6.- Yacimientos "sedimento-metamórfico" estratiformes.
- 7.- Yacimientos filonianos encajonados en los niveles estratigráficos particulares.

E.- Placeres con Tungsteno.

En ocasiones el tungsteno puede constituir un producto asociado a menas de otros metales, en México por ejemplo se puede encontrar la asociación frecuente con molibdeno.

Los dos primeros tipos de la clasificación de Burnol, producen el 95 % del tungsteno en el mundo. Los otros tipos son secundarios, particularmente los yacimientos de placer donde no se espera descubrir nuevas reservas.

c) Repartición en el Mundo y Producción.

Distribución.

La figura 24 (Chronique de la Recherche Minière, 1978) indica la distribución de los principales yacimientos o distritos productores de tungsteno o en preparación en 1977.

Los yacimientos son diferenciados por tipos. En China y Asia de manera general (con excepción de Japón y Asia del Sureste), la parte más grande de las reservas corresponden a yacimientos filonianos y asimilados con cuarzo-wolframita. Estos yacimientos y eventualmente los yacimientos filonianos y asimilados con cuarzo-scheelita, representan del 70 al 75 % del tungsteno mundial.

En el mundo occidental, en América del Norte y Central, particularmente, las reservas corresponden a yacimientos de contacto con scheelita. Estos yacimientos (yacimientos pirometasomáticos), skarns o tactitas con scheelita, tienen más o menos el 25 % de las reservas mundiales.

Se ha podido reconocer una guía estructural en la distribución de los yacimientos de tungsteno-estaño en Europa en función de las cadenas orogénicas -- (fig. 26) y la distribución de los skarns en la zona peripacífica (Einaudi, -- Burt, 1982) (Fig. 25).

Producción Mundial.

La producción mundial de tungsteno tiene importante variación, fué de:

38 885 ton.	en 1973
37 500 ton.	en 1974
38 000 ton.	en 1975
21 785 ton.	en 1977
26 750 ton.	en 1978
28 350 ton.	en 1979
51 030 ton.	en 1980
48 760 ton.	en 1981

La producción mundial de tungsteno aumenta entonces del 5 % en 1979 hasta 1980 y baja 4 % de 1980 hasta 1981. Los países de economía central, principal

Lista de yacimientos in

Grupo Plutónico.

Yacimientos piroclásticos
 2. Flat River (Canadá) 3. Yac
 Creek, California y Nevada E
 co) 11. Yxsjöberg (Suecia)
 (Turquía) 21. Tyrny Auz (Uz
 Ingitschke, Uzbekistan y Uz
 iwate (Japón) 33. Sang Dong
 cia de Hunan (China) 42. Do
 dia) 48. Torington y Attunc
 (Tasmania-Australia).

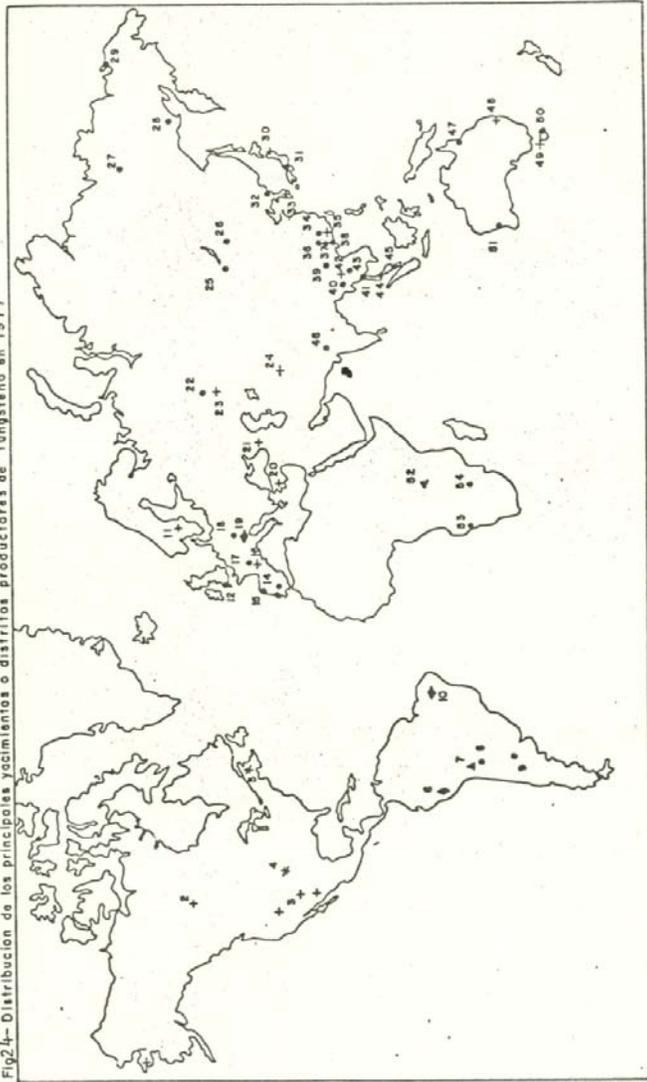
Yacimientos diseminados int
 (EUA) 5. Mount Pleasant (Cz
 Filones, conjuntos filoniar
 Chicote, Kami, etc. (Bolivi
 gentina) 12. Cornwall (Gran
 rraha (Portugal) 14. Barr
 ruña (España) 17. Echassier
 (Checoslovaquia) 22. Sweder
 SS) 26. Kolywan, Nertschins
 kalle, URSS) 27. Merkoiansk
 SS) 29. Tschukttschen (URSS)
 te) 34. Provincia del Kiang
 Hunan (China) 39. Provincia
 (Birmania) 41. Hermyngyi (I
 landia) 44. Khav Soon (Tail
 sia) 46. Rajasthan (India)
 51. Mount Mulgine (Australia
 del SurOeste) 54. Distrito F
 (Rodesia).

Grupo Volcano-Plutónico.

Yacimientos filonianos con
 sulfosales: 6. Distrito de

Yacimientos filonianos con
 estibina): 7. Yacimientos c
 (Bolivia) 31. Akenobe (Jap
 Yacimientos Sedimento-Metan
 Yacimientos Estratiformes:
 del Norte (Brasil) 19. Felt
 52. Yacimientos de Ruanda-U

Fig. 4.- Distribución de los principales yacimientos o distritos productores de Tungsteno en 1977



YACIMIENTOS DEL GRUPO PLUTONICO

- + Yacimientos piroclásticos
- * Yacimientos diseminados intrabotolíticos
- Diques, diques conjuntos, Stockworks

YACIMIENTOS DEL GRUPO VULCANOPLUTONICO

- ◆ Yacimientos de diques con cuarzo-huberlita, sulfuros - sulfosal
- ▲ Yacimientos de diques con Cuarzo - Ferberlita estibino

YACIMIENTOS DEL GRUPO SEDIMENTARIO-METAMORFICO

- ◆ Yacimientos estratiformes
- ◀ Yacimientos dentro los esquistos negros

fig. 25 Localización de algunos tipos de Skarn

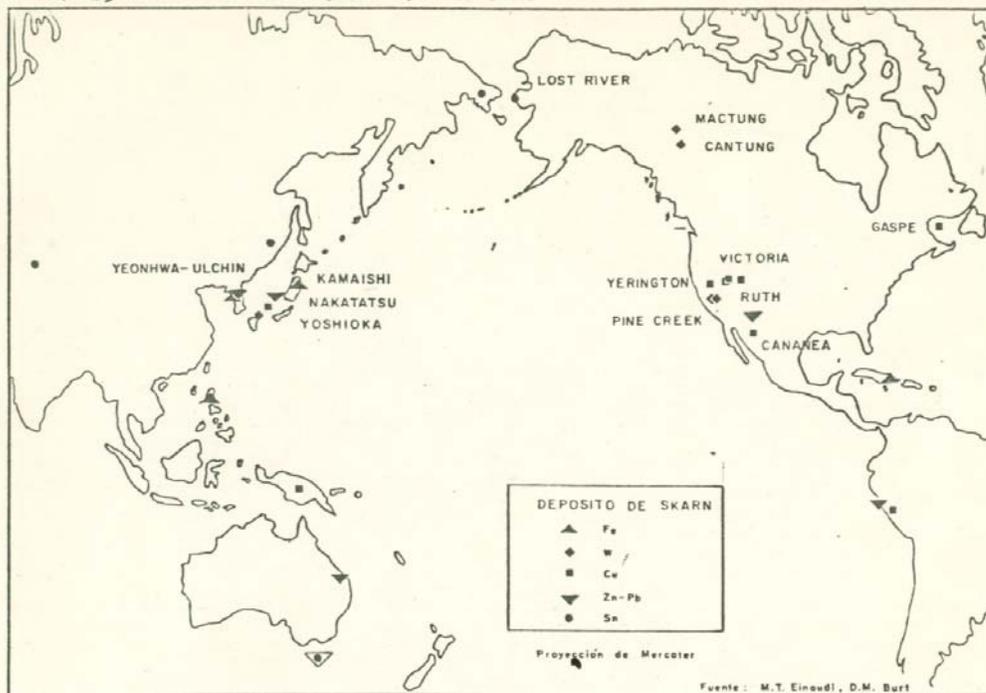
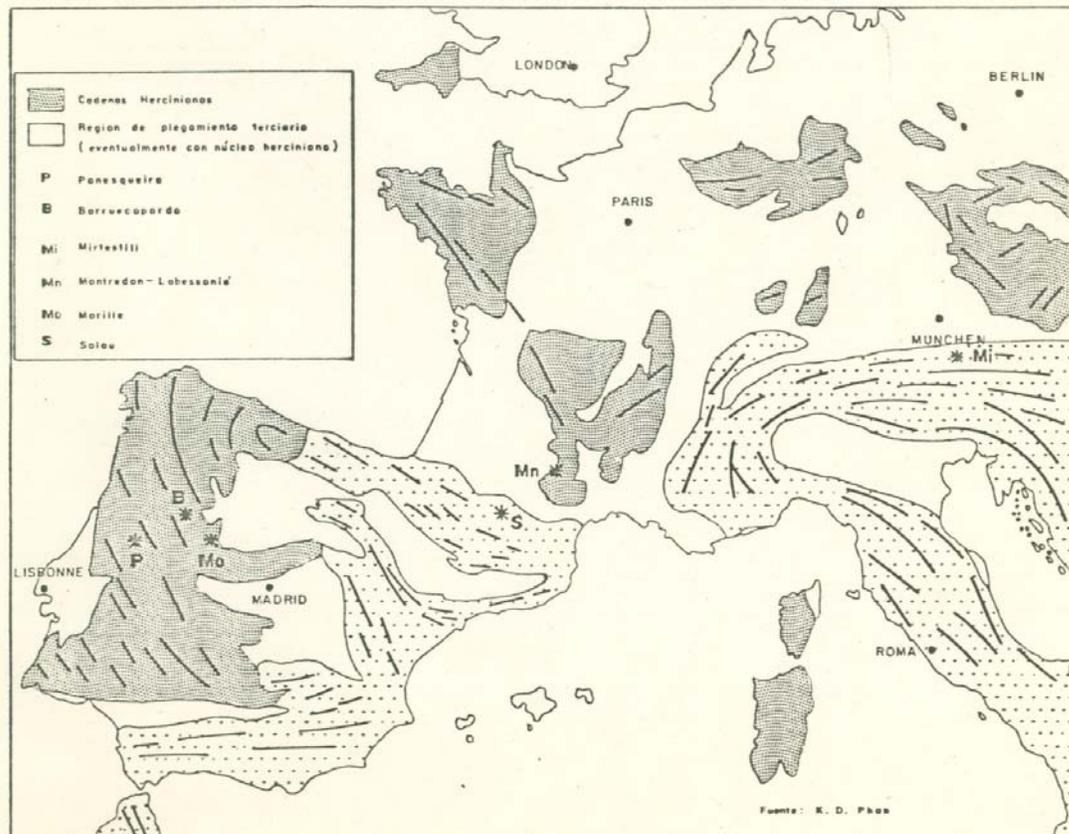


fig. 26 Situación de yacimientos de Tungsteno en Europa con los Codenas



mente China, URSS y Corea producen 51 % de tungsteno, otros países el 49 % (Tabla 11).

Producción Mexicana.

La producción mexicana de concentrado de tungsteno se ha destinado tradicionalmente al abastecimiento de la demanda externa, puesto que el consumo nacional ha sido de pequeña significancia.

Las cifras disponibles para la producción mexicana parten desde 1933, se trata de concentrados de WO_3 (Tabla 12). La producción mexicana de tungsteno se localiza principalmente en el Estado de Sonora. Durante el periodo de 1969 a 1975, contribuyó con cuatro quintas partes del total. Los estados de Chihuahua y Baja California Norte participan con el 13 y 14 %, respectivamente. En 1975 se inició en el estado de Michoacán, la producción de concentrado. En Sinaloa y Coahuila la producción es marginal (Tabla 13).

Reservas.

Las nuevas exploraciones y desarrollo durante los años de 1979 a 1981 -- han incrementado las reservas probables de tungsteno del mundo en un 45 % de -- 1'997 600 ton. de contenido en tungsteno a principios de 1979 hasta 2'905 600 -- ton. a finales de 1981 (Tabla 14).

Las diferentes cifras obtenidas sobre las reservas mundiales de tungsteno obedecen a variaciones en los siguientes factores: a) precios del metal, b) ley del mineral o contenido metálico del mismo; c) los adelantos tecnológicos con -- relación a la recuperación o beneficio de los minerales.

La rentabilidad de la explotación del mineral está determinada por la conjugación de los factores mencionados. China es el país que posee los depósitos más ricos y extensos, localizados en las provincias de Shensi, Hushi, Human y -- Kwantung que representan aproximadamente la mitad de las reservas mundiales. -- Las reservas de Canadá constituyen de 12 a 13 % del total mundial y se locali-- zan principalmente en la región noroeste del país. En tercer lugar con 11 % -- del total aparece la Unión Soviética, sigue en importancia las reservas de Esta-- dos Unidos en un total de 6%.

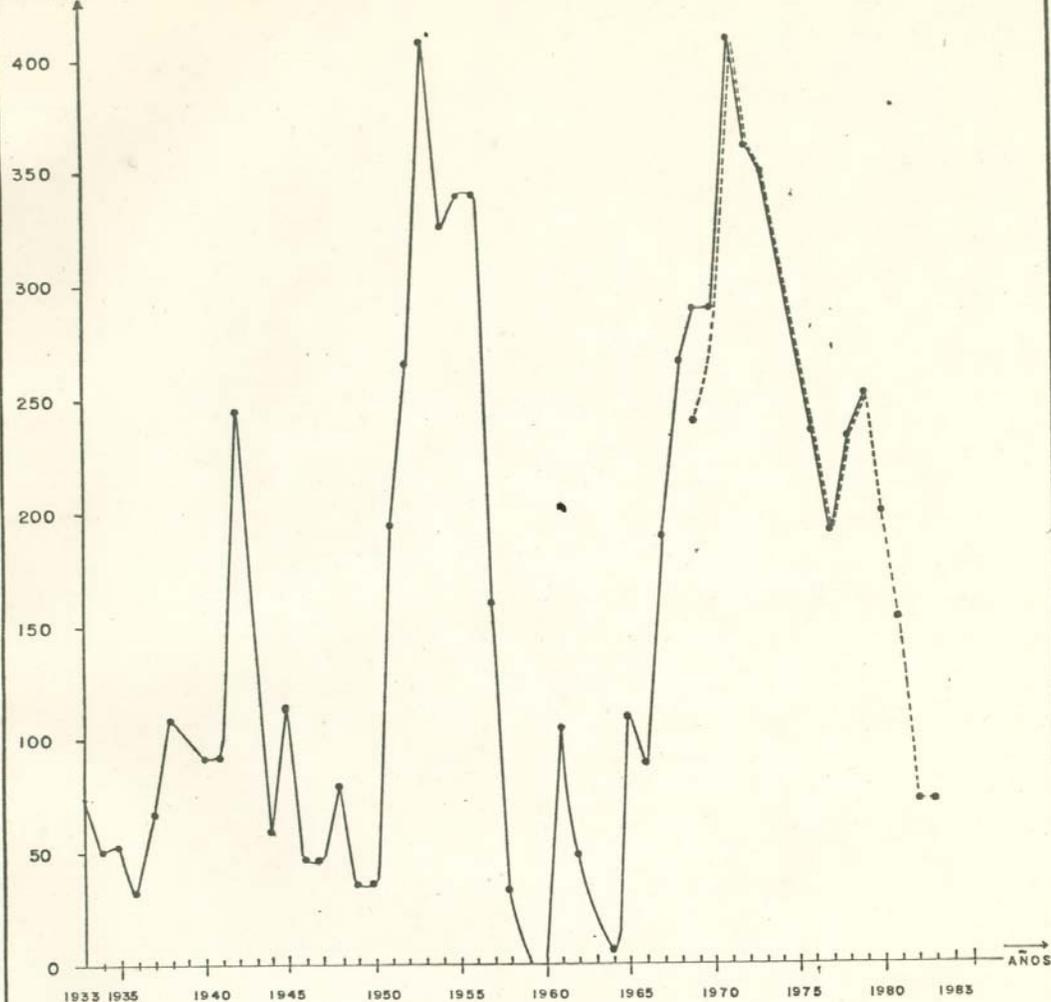
d) Leyes de Explotación y Métodos de Concentración.

El contenido necesario para la explotación de tungsteno, depende de los -- mismos factores que afectan a todos los metales, como son: país, facilidad de explotación, precio, etc., aunque particularmente para este metal la fluctua-- ción del mercado es el factor principal.

TABLA 11
PRODUCCION MUNDIAL DE TUNGSTENO (W)
 Ton. de W Contenido

PAISES	1975	1979	1980	1981
CHINA	8 000	13 166	14 982	13 620
URSS	7 400	8 717	8 717	8 853
U S A	3 436	3 015	2 756	3 585
TAILANDIA	2 602	1 827	1 657	1 277
COREA DEL SUR	2 252	2 619	2 609	2 814
BOLIVIA	2 183	2 472	2 666	2 678
COREA DEL NORTE	2 150	2 152	2 201	2 179
CANADA	2 089	2 599	3 182	1 194
PORTUGAL	1 547	1 371	1 558	1 362
AUSTRALIA	1 201	3 170	3 306	3 489
BRASIL	951	1 178	1 393	1 362
JAPON	940	751	668	672
PERU	822	564	549	590
FRANCIA	695	500	577	544
BIRMANIA	500	413	476	454
MEXICO	348	252	266	150
ESPAÑA	304			
RUANDA	258			
SUECIA	235			
ZAIRE	232			
MALASIA	191			
GUATEMALA	158			
RODESIA	154			
ARGENTINA	79			
UGANDA	77			
NAMIDIA	67			
INDIA	11			
OTROS PAISES	8			
TOTAL	38 885	48 357	51 030	48 750

PRODUCCION EN TONELADAS METRICAS



LA PRODUCCION EN TONELADAS METRICAS

— PRODUCCION EN MEXICO
 - - - PRODUCCION EN SONORA

AÑOS	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
PRODUCCION DE MEXICO	74	50	52	31	70	109	103	91	92	245	158	64	115	46	46	80
AÑOS	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
PRODUCCION DE MEXICO	39	41	195	267	409	327	341	342	160	32	—	—	105	48	20	5
AÑOS	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
PRODUCCION DE MEXICO	110	86	188	266	889	288	408	362	348	309	277	235	191	234	252	266
PRODUCCION DE SONORA					240	288	408	362	348	309	277	235	191	234	252	199
AÑOS	1981	1982	1983													
PRODUCCION DE SONORA	150	70	70													

CONCEPTO	Promedio Anual	
	(1969	- 1975)
TOTAL		325
SONORA		261
-Tungsteno de Baviacora, S.A.		125
-Sr. Oscar Galaz		35
-Cía. Minera Metalúrgica Nacori Grande, S.A. (1)		28
-Sr. Santos Martínez		13
-Sr. Alberto Loustaunau (2)		4
-Cía. Minera Cíbola, S.A. (3)		3
-Otros		53
CHIHUAHUA		62
-Cía, Minera La Perla, S.A.		42
BAJA CALIFORNIA NORTE		13
MICHOACAN		4
-Industrial Minera México, S.A. (4)		4
COAHUILA		3
SINALOA		2

TABLA 13

(1) Inició sus trabajos en Abril de 1970.

(2) No operó en los años de 1971 a 1973

(3) Funcionó de 1969 a 1971.

(4) Empezó a producir tungsteno en agosto de 1975.

Fuente: Sobretiro de Comercio exterior, Vol 27 No.6
Departamento de estudios económicos.

En la tabla 3 se indica la producción mundial para los años 76-80 y 81.

RESERVAS MUNDIALES DE TUNGSTENO 1981 (MILLONES DE TONS.)			
P A I S E S	RESERVAS	OTROS RECURSOS	TOTAL
China	1 362	2 270	3 632
Canada	431	318	749
Estados Unidos	250	295	545
Rusia	213	318	531
Australia	109	259	368
Corea del Norte	109	136	245
Corea del Sur	82	77	159
Turquía	77	14	91
Reino Unido	59	4.5	63.5
Bolivia	39	86	125
Birmania	32	73	105
Portugal	25	27	52
México	20	4.5	24.5
Austria	18	54	72
Brasil	18	41	59
Tailandia	18	18	36
Otros	43	91	134
TOTAL	2,905	4,086	6,991

Los contenidos se expresan en porcentajes de WO_3 y para obtener la cantidad de W es necesario multiplicar este porcentaje por 0.792. En los países de occidente, el contenido de mineral en bruto debe ser al menos 0.5 % de WO_3 . En México y Sonora estos contenidos varían de 0.1 hasta 3 % de WO_3 pero sólo en raras ocasiones es mayor del 1 %.

En el pasado la concentración del tungsteno se efectuaba por medio manual, principalmente a partir de placeres. Posteriormente con la aparición de la lámpara de rayos ultravioleta y el avance de la mecanización fueron explotados los yacimientos primarios, más comunes y de mayor importancia.

Los métodos actuales de concentración se resumen a continuación:

Gravimetría.- Utiliza la gravedad como fuerza para vencer la capacidad de penetración de un fluido. El mineral se tritura, las partículas más gruesas son concentradas directamente mientras que las partículas más finas van a mesas de concentración.

Flotación.- Consiste en reacciones químicas de acuerdo a la composición, los elementos menos densos flotan al ser afectados por reactivos adecuados, determinados por un metalurgista. La molienda del mineral tiene una influencia -

muy grande en el proceso.

Separación magnética.- Consiste en el tratamiento de los minerales concentrados por una máquina magnética de alta intensidad, para separar el fierro, granates y epidotas del resto de los componentes.

Separación electroestática.- Se utiliza la prioridad de conductividad eléctrica diferente en cada mineral. Una intensidad de 20 000 voltios permite separar las partículas según su carga eléctrica.

Calcinación.- Se utiliza para separar el azufre y arsénico de los compostos ferríferos en un horno de hasta 1000 °C.

Lixiviación.- Se descomponen los concentrados de tungsteno con reactivos hasta obtener el WO_3 en solución el cual posteriormente es precipitado con un ácido.

e) Precio y Concentrados.

A diferencia de otros metales, las operaciones en el comercio internacional, los minerales de tungsteno no se cotizan en una Bolsa, donde el establecimiento de los precios de los minerales está por lo general supeditado a los precios de un sistema libre de oferta y demanda. Para el tungsteno, los precios son determinados por mercados de valores, tales como el de Nueva York y el de Londres, debido a esto existe una actividad especulativa que acentúa las fluctuaciones de los precios.

Dentro de las características del mercado mundial de los concentrados de tungsteno, que explican su inestabilidad en los precios, conviene mencionar:

- La demanda es muy variable, está muy relacionada con el nivel de actividades de los países industrializados.
- La variación en la demanda hace que los precios se afecten sensiblemente con cualquier modificación de la oferta.
- La producción responde lentamente a los estímulos de los precios.
- Existe incertidumbre con respecto a las fuentes no comerciales como son las reservas estratégicas de los Estados Unidos.
- También inseguridad de abastecimiento procedente de las fuentes tradicionales, particularmente la conducta de las vetas de China.
- Las manipulaciones especulativas de los comerciantes.

Los minerales de tungsteno se aceptan en el mercado mundial con una ley mínima de 60 % de WO_3 . Las transacciones se efectúan en base a las medidas de unidad corta en los Estados Unidos y unidad larga en Europa.

La unidad corta (Short Ton Unit- STU) equivale a 20 libras de contenido de

WO₃. Las impurezas tienen especificaciones diferentes que cambian de un lugar a otro .

f) Historia.

El inicio de la explotación masiva del tungsteno se llevó a cabo antes de 1914, cuando los alemanes lo utilizaron para la manufactura de armamento, aumentando así el poder del mismo. El cambio se debió al uso del tungsteno en los aceros de alta velocidad y en las herramientas de corte. En esta época el precio era de solamente 8 a 10 chelines por unidad larga.

Al observar los aliados, el aumento del poder en el armamento alemán, debido al uso del tungsteno, se produjo una reacción en el precio llegando a cotizarse hasta 10 dólares por unidad en los Estados Unidos.

Este aumento desencadenó un auge en la exploración y explotación, iniciándose ésta en China en la región de Ta-ling, donde se dá un caso excepcional de concentración de 78.8 % de pureza. Desde entonces China es el mayor productor de este mineral.

Contemporáneo a este auge, se inicia en Sonora la explotación del tungsteno, en la mina La Cruz, región de San Nicolás, Mpio. de Yécora; produciendo - 30 ton. de concentrados al mes y un total de 910 ton. de concentrados durante los años de 1917 a 1919. Constituyéndose así, en el más importante productor de México durante esta época.

También en Sonora se inicia la explotación en el área granítica de la cuenca del Río Yaqui, lo que produjo el descubrimiento de pequeñas concentraciones tanto in-situ como de placer.

Otras minas importantes que se trabajaron son: la mina San Juan en Santa Ana y El Trueno en Cajeme, en 1917 se suspendieron los trabajos debido a problemas con los indios yaquis en esta última mina.

Después del armisticio, el interés del tungsteno decayó hasta 1929, cuando el Sr. Frank Fast, abrió nuevamente la mina La Cruz, comprando además concentrados en la región de San Nicolás. Se produjo entonces un resurgimiento en la exploración del tungsteno, descubriéndose nuevos yacimientos. Se instaló una planta en la ciudad de Nogales, donde se maquilaban minerales de las regiones de El Claro, Mpio. de Santa Ana; de Cocóspera, Mpio. de Imuris; un poco de Villa de Seris, Mpio. de Hermosillo; pero el largo transporte del mineral - fué un impedimento importante, por lo que tuvo que ser clausurada. También se obtuvieron 90 ton de concentrados procedentes de yacimientos de placer en la región del río Yaqui, entre ellos El Nacimiento, Mpio. de Cajeme.

Fu  hasta el año de 1943 cuando se localizaron los primeros yacimientos de contacto, ya que hasta entonces sólo se conocían los yacimientos de pegmatita y de pl cer que limitaban las exploraciones a los afloramientos de granito.

De 1936 a 1940 la industria alemana acaparó la producción de China y otros países. De 1936 a 1939 lo compraba a China y el año siguiente al declararse la Segunda Guerra Mundial, Alemania compr  tungsteno de Bolivia, Argentina, Perú, México y de Estados Unidos, a través de su aliado Japón, que aparecía como neutral. Después de Pearl Harbor, Alemania lo compr  en Portugal y España al alto precio de 50 dólares por tonelada.

Al interrumpirse los embarques de China a Estados Unidos por la guerra en el Pacífico, en agosto de 1940, el gobierno americano se vi  urgido a comprar toda la producción de Sudamérica, adquiriendo el mineral sin importar el grado de pureza y por medio de contratos de grandes cantidades de mineral con garantía de precio. Esto motivó el establecimiento de centros mineros en Bolivia, Perú, Argentina y Brasil, financiados por el gobierno estadounidense.

Se estableció en México una empresa en Nogales, bajo el nombre de Tungsteno Mexicano, S.A. para estimular la producción en el país, debido a que era muy escasa.

En 1945 el Sr. Francisco Barrera descubrió el placer El Hu rigo en el Mpio. de Hu sabas y la mina El Puerto del Encino, que fueron explotados hasta 1946, produciéndose hasta 500 ton de concentrados de alta ley.

En 1950 se descubrió la mina El Burro, cerca de Tecoripa, explotada por la Compa a Minera Moctezuma, S.A. hasta 1956 calculándose una producción de 3 000 ton.

En 1952 se inicia en Estados Unidos el "stockpile" (medida tomada por el gobierno para asegurarse el suministro de materiales estratégicos en el caso de crisis mundial) que promovió la compra de minerales para crear una reserva para las necesidades futuras de dicho país.

El tungsteno fué uno de los principales minerales involucrados en esta medida, aumentando de un precio normal de 8 dólares hasta 64 dólares la unidad corta. Simultáneamente a esta promoción se descubrieron importantes yacimientos, entre los principales se encuentra el de la mina San Antonio, descubierta por el Sr. Ignacio Rábago, con ayuda de lámpara fluorescente. La concentración de mineral era muy grande y más del 80 % de la producción total del país durante los años de 1952 a 1953 provino de esta mina; en la cual se instaló un molino con capacidad de 80 ton. diarias, que operó hasta 1957.

Entre la mina San Antonio y la mina Dos Hermanos en la misma zona, produ-

ieron 1 200 ton de concentrados de tungsteno durante ese tiempo.

En el mismo lugar se explotó la mina El Jaralito del Sr. Pedro Tréllez y Arturo Fernández, quienes tenían una planta concentradora de la misma capacidad, se descubrió también un yacimiento importante en Mexiquillo, Mpio. de Alamos, el cual fué explorado de nuevo en el año de 1957. Se trabajó asimismo El Placer, Mpio. de San Miguel de Horcasitas, única mina que se explotó por -- wolframita.

Se trabajaron directamente por gambusinos ciertos yacimientos, ya que la concentración natural del wolframio era muy abundante en casi todas las minas; en esa forma se encontraron las minas de El Claro y Las Pedradas, Mpio. de Santa Ana; La Ciénega, Mpio. de Pitiquito, las minas de San Juan, Mpio. de Oquitoa y de Santa Rosa en el Mpio. de Yécora.

Posteriormente un descubrimiento muy importante, la mina La Gloria -- (1956) y la mina San Marcos, Mpio. de Sahuaripa; el mineral de Santo Domingo - Mpio. de Nacozari, donde la wolframita se trabajó como subproducto de mineral de cobre. También se conoce la existencia de mineral de wolframio en la mina Washington en Huépac y la mina Padrecitos en el mismo municipio.

Todas estas minas se explotaron activamente de los años 1952 hasta principios de 1957, año en que se suspenden totalmente las operaciones, debido a que los Estados Unidos dejaron de comprar estos minerales por haber cumplido con -- exceso, la meta que se habían fijado.

De 1957 a 1960 no hubo ninguna actividad, pero en los años de 1960 a 1962 las minas de Baviácora fueron las únicas que trabajaron aprovechando una pequeña alza de mercado de 9 dólares por unidad corta. En 1961 se habilitó la mina llamada El Cochi, Mpio. de la Colorada, que operó hasta 1963.

A partir de 1965 empezó un aumento del precio debido a la demanda de la industria siderúrgica, iniciándose en Baviácora la principal producción de 14 a 18 mil unidades cortas por año, también se explotaron en este tiempo las minas 21 de marzo, Mpio. de La Colorada; San Alberto, Mpio. de Alamos y la mina la Venada (descubierta desde 1956) y el Satélite en el Mpio. de Villa Pesqueira.