

1
lej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

YACIMIENTOS MINERALES DE ESTAÑO.
GEOLOGIA. PROSPECCION. EXPLOTACION
Y METALURGIA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE



INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA
P R E S E N T A ;
VIRGINIA ABAD RODRIGUEZ

CD. UNIVERSITARIA, D. F

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



REPUBLICA NACIONAL
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-024

SR. SAUL MARTINEZ REYES
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

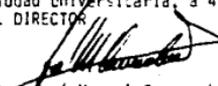
**YACIMIENTOS MINERALES DE ESTAÑO, GEOLOGIA, PROSPECCION,
EXPLOTACION Y METALURGIA**

- I GENERALIDADES
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS
MINERALES ESTANIFEROS
- III MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES
YACIMIENTOS DE ESTAÑO
- IV CRITERIOS DE PROSPECCION
- V SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION
- VI METODOS DE BENEFICIO
- VII USOS, DESTINO INDUSTRIAL
- VIII CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
PLANOS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 4 de marzo de 1991
EL DIRECTOR


Ing. José Manuel Covarrubias Solís

JMCS:R.PYS'gtg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-022

SR. JOSE DE JESUS CORONA GOCHI
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

**YACIMIENTOS MINERALES DE ESTARÓ, GEOLOGIA, PROSPECCION,
EXPLOTACION Y METALURGIA**

- I GENERALIDADES
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS
MINERALES ESTANIFEROS
- III MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES
YACIMIENTOS DE ESTARÓ
- IV CRITERIOS DE PROSPECCION
- V SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION
- VI METODOS DE BENEFICIO
- VII USOS, DESTINO INDUSTRIAL
- VIII CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
PLANOS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, 4 de marzo de 1991
EL DIRECTOR


Ing. José Manuel Covarrubias Solís

JMCS*ROPYS*gtg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-021

SR. EUSTASIO ANTONIO SOTO PERALES
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

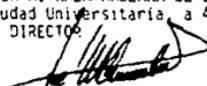
**YACIMIENTOS MINERALES DE ESTAÑO, GEOLOGIA, PROSPECCION,
EXPLOTACION Y METALURGIA**

- I GENERALIDADES
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS
MINERALES ESTANIFEROS
- III MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES
YACIMIENTOS DE ESTAÑO
- IV CRITERIOS DE PROSPECCION
- V SINTESES DE METODOS DE EXPLOTACION
- VI METODOS DE BENEFICIO
- VII USOS, DESTINO INDUSTRIAL
- VIII CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
PLANOS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 4 de marzo de 1991
EL DIRECTOR


Ing. José Manuel Covarrubias Solís

JMCS:ROPYS:gtg



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-023

SR. JAIME RAUL RIOS VAZQUEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

**YACIMIENTOS MINERALES DE ESTAÑO, GEOLOGIA, PROSPECCION,
EXPLOTACION Y METALURGIA**

- I GENERALIDADES
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS
MINERALES ESTANIFEROS
- III MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES
YACIMIENTOS DE ESTAÑO
- IV CRITERIOS DE PROSPECCION
- V SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION
- VI METODOS DE BENEFICIO
- VII USOS, DESTINO INDUSTRIAL
- VIII CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
PLANOS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 4 de marzo de 1991
EL DIRECTOR

Ing. José Manuel Covarrubias Solís

JMCS'ROPYS'gtg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-020

SR. FRANCISCO MARIA BUSTOS RAMIREZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero geólogo:

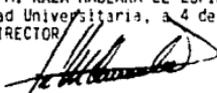
**YACIMIENTOS MINERALES DE ESTARÓ, GEOLOGIA, PROSPECCION,
EXPLOTACION Y METALURGIA**

- I GENERALIDADES
- II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS
MINERALES ESTANIFEROS
- III MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES
YACIMIENTOS DE ESTARÓ
- IV CRITERIOS DE PROSPECCION
- V SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION
- VI METODOS DE BENEFICIO
- VII USOS, DESTINO INDUSTRIAL
- VIII CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
PLANOS E ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar, en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 4 de marzo de 1991
EL DIRECTOR


Ing. José Manuel Covarrubias Solís

JMCS'RD'PYS'gtg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

SRITA. VIRGINIA ABAD RODRIGUEZ
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Germán Arriaga García, y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero de minas y metalurgia.

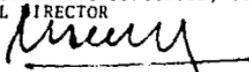
YACIMIENTOS MINERALES DE ESTAÑO: GEOLOGIA, PROSPECCION,
EXPLOTACION Y METALURGIA

- RESUMEN
INTRODUCCION
I GENERALIDADES SOBRE EL ESTAÑO
II CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS MINERALES ESTANIFEROS
III MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES YACIMIENTOS DE ESTAÑO
IV CRITERIOS DE PROSPECCION
V SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION
VI METODOS DE BENEFICIO
VII USOS -DESTINO INDUSTRIAL- APLICACION
VIII CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA
ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, 15 de Octubre de 1990.
EL DIRECTOR


DANIEL RESENDIZ NUSEZ

DRN*RJPVS*jph


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

CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO A NUESTRO
DIRECTOR DE TESIS:

ING. GERMAN ARRIAGA GARCIA

POR EL GRAN INTERES MOSTRADO Y SU
VALIOSA AYUDA EN LA ELABORACION DE ESTE
TRABAJO.

CON GRATITUD A LOS INGENIEROS:

MIGUEL VERA OCAMPO

CARLOS GARZA GONZALEZ V.

UBALDO ALARCON SANTANA

JAVIER ARELLANO GIL

POR SUS ATINADAS SUGERENCIAS EN LA
REVISION DE ESTE ESTUDIO.

CON AGRADECIMIENTO A LOS INGENIEROS:

JOSE M. TISCAREÑO PIZA

GABRIEL MORENO PECERO

POR LAS FACILIDADES QUE NOS ORTOGARON
PARA LA PRONTA REALIZACION DEL PRESENTE
TRABAJO.

DE LA MISMA MANERA SE AGRADECE A TODAS
AQUELLAS PERSONAS QUE DIRECTAMENTE O
INDIRECTAMENTE TUVIERON ALGUNA PARTICIPACION
EN LA ELABORACION DEL MISMO.

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

A LOS *COMPAÑEROS* DE NUESTRA
FACULTAD POR LA AMISTAD, APOYO
INCONDICIONAL Y CONFIANZA.

A LOS *PROFESORES* POR SUS
ENSEÑANZAS QUE NOS BRINDARON
PARA NUESTRA FORMACION
PROFESIONAL.

A LA *FACULTAD DE INGENIERIA*
POR LOS AÑOS QUE VIVIMOS Y
APRENDIMOS EN SUS AULAS.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
OBJETIVO DEL TRABAJO	3
CAPITULO I.	
1.- GENERALIDADES SOBRE EL ESTAÑO.	
1.1. HISTORIA DEL ESTAÑO	5
1.2. PROPIEDADES FISICAS DEL ESTAÑO.....	9
1.3. PROPIEDADES QUIMICAS DEL ESTAÑO.....	17
1.4. GEOQUIMICA DEL ESTAÑO.....	22
1.5. MINERALOGIA DEL ESTAÑO.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	46
CAPITULO II.	
2.- CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS MINERALES ESTANNIFEROS.	
2.1. SEGUN BATEMAN, ALAN M. Y JENSEN, MEAD L.....	51
2.2. SEGUN S. S. SMIRNOV	54
2.3. SEGUN HOSKING K.F.G.	56
2.4. SEGUN SAINSBURG Y HAMILTON	59
2.5. SEGUN LINDGREN, W.	61
2.6. SEGUN ROUTHIER, P.	62
2.7. CLASIFICACION PROPUESTA.....	63
BIBLIOGRAFIA.....	66
CAPITULO III.	
3.- MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES YACIMIENTOS DE ESTAÑO.	

INDICE

	Página
3.1. MODELO ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS ACIDAS	68
3.2. MODELO EN ROCAS HIPABISALES ACIDAS CON TELESCOPEO, TIPO BOLIVIA	80
3.3. MODELO ASOCIADOS A ROCAS PLUTONICAS	94
3.4. MODELO DE YACIMIENTO DE PLACER, TIPO GUADALCAZAR S.L.P. MEXICO	101
BIBLIOGRAFIA	110
CAPITULO IV.	
4.- CRITERIOS DE PROSPECCION.	
4.1. GUIAS FISTOGRAFICAS	114
4.2. GUIAS LITOLOGICAS (Y ESTRATIGRAFICAS)	117
4.3. GUIAS ESTRUCTURALES	120
4.4. GUIAS MINERALOGICAS	122
4.5. METODOS GEOQUIMICOS APLICADOS A LA PROSPECCION DEL ESTARO	127
4.6. METODOS GEOFISICOS APLICADOS A LA PROSPECCION DEL ESTARO	131
BIBLIOGRAFIA	133
CAPITULO V.	
5.- SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION.	
5.1. MINERIA SUPERFICIAL	136

INDICE

	Página
a). EXPLOTACION DE PLACERES	137
b). EXPLOTACION A CIELO ABIERTO	144
5.2. MINERIA SUBTERRANEA	165
a). TUMBE SOBRE CARGA	170
BIBLIOGRAFIA	177
CAPITULO VI.	
6.- METODOS DE BENEFICIO.	
6.1. TRITURACION Y MOLIENDA	180
a). CONCENTRACION	181
6.2. FUNDICION DEL ESTAÑO	186
a). FUNDICION EN HORNO DE HOGAR ABIERTO U HORNO DE - CUBA	190
b). FUNDICION EN HORNO DE REVERBERO	191
6.3. REFINADO DEL ESTAÑO	194
a). REFINACION ELECTROLITICA	196
6.4. PROCESO ELECTROLITICO ALCALINO	199
BIBLIOGRAFIA	201
CAPITULO VII.	
7.- USOS Y DESTINO INDUSTRIAL.	
7.1. USOS - DESTINO INDUSTRIAL - APLICACION	203
BIBLIOGRAFIA.	206

INDICE

	Página
CAPITULO VIII.	
8.- CONCLUSIONES	
8.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	208

INTRODUCCION.

El estaño es uno de los metales más antiguos conocidos por el hombre por lo que su aplicación se remonta al año 3,500 a.C., en aleación con el cobre para formar el bronce, lo que dió origen a la edad del mismo nombre. -- Dentro de sus propiedades se ha aprovechado su bajo punto de fusión para el uso en aleaciones con otros metales, o bien, como recubrimiento metálico .

El estaño es un elemento relativamente raro, su máxima concentración ocurre en medios ambientes ígneos, con un promedio contenido de 2 a 3 p.p.m. en la corteza terrestre. Este metal alcanza proporciones significantes en una gran variedad de minerales, particularmente en minerales de skarn y en ferromagnesianos. Las clasificaciones de los yacimientos minerales estanníferos se basan en los tipos de ambientes, génesis temperatura en la que se formaron, pero la clasificación propuesta ha tomado en cuenta básicamente - el tipo de material en que se encuentra localizado, como la establece - - - Routhier, (1963).

Los modelos para los diferentes yacimientos estanníferos muestran - las principales características como la paragénesis, la roca encajonante, - las estructuras y su génesis, asociados a rocas volcánicas, hipabisales y - plutónicas, así como a yacimientos de placer. Con respecto a los criterios de prospección se tomaron en cuenta, las guías fisiográficas, litológicas, - estructurales y mineralógicas, al igual que los métodos geoquímicos y geofísicos.

En México la explotación del estaño se lleva a cabo por métodos superficiales y subterráneos; aunque las mayores producciones se han obtenido por el primer método. La minería subterránea ha contribuido con poco a la

O B J E T I V O

El objetivo de este trabajo, es el de reconocer las características físicas, químicas, mineralógicas, geoquímicas, el conjunto de metalotectones de los yacimientos minerales de estaño, la minería y la utilidad de este metal en la industria metalúrgica.

Cada uno de los capítulos contiene varias tablas en forma sistemática para una comprensión clara así como una interpretación de la geología y minería del estaño.

De acuerdo con las investigaciones más recientes se propone una clasificación basada en el conjunto de metalotectones de los diferentes modelos de yacimientos estanníferos.

producción total nacional, dado su poco desarrollo; en el país no existen -- yacimientos que se puedan explotar en ésta forma y que a la vez resulten eco--
nómicos.

Los minerales de estaño son reducidos al tamaño necesario por los mé--
todos convencionales de trituración y molienda hasta lograr su punto de libe--
ración para posteriormente pasar a una concentración por medio de la flota--
ción selectiva. El proceso para la obtención del estaño metálico se realiza
por una serie de fusiones o refinaciones, esto es para eliminar las impure--
zas contenidas en concentrado, esto es con el fin de que el estaño tenga el--
grado de pureza que requiere para su venta en el mercado.

Las ideas anteriores constituyen una síntesis del presente estudio -
cuya finalidad puede dividirse en dos partes; en primer lugar, se trató de -
realizar una recopilación de la Geología minera y de la Minería del estaño.-
En segundo lugar, se intentó llevar a cabo una metodología de la prospección
minera de este metal al proponer una clasificación de los diferentes modelos
y de los métodos de prospección.

Si se tiene en cuenta que este metal es importante para la industria
de cualquier país y que México se ha caracterizado por la pobreza de sus ya--
cimientos, se espera que el geólogo prospector y el minero tengan nuevas --
ideas, nuevas perspectivas para llevar a cabo un buen trabajo que tenga como
consecuencia integrar una buena minería de estaño que tanto le falta al País.
Tal es la ambición de este trabajo.

O B J E T I V O

El objetivo de este trabajo, es el de reconocer las características físicas, químicas, mineralógicas, geoquímicas, el conjunto de metalotectones de los yacimientos minerales de estaño, la minería y la utilidad de este metal en la industria metalúrgica.

Cada uno de los capítulos contiene varias tablas en forma sistemática para una comprensión clara así como una interpretación de la geología y minería del estaño.

De acuerdo con las investigaciones más recientes se propone una clasificación basada en el conjunto de metalotectones de los diferentes modelos de yacimientos estanníferos.

C A P I T U L O I

1.- GENERALIDADES SOBRE EL ESTAÑO

1.1. HISTORIA DEL ESTAÑO

1.2. PROPIEDADES FISICAS DEL ESTAÑO

1.3. PROPIEDADES QUIMICAS DEL ESTAÑO

1.4. GEOQUIMICA DEL ESTAÑO

1.5. MINERALOGIA DEL ESTAÑO

BIBLIOGRAFIA.

1.1. HISTORIA DEL ESTAÑO.

La palabra estaño se deriva del latín "Stagnum" que significa laguna de agua; es uno de los metales más antiguos conocidos por el hombre. Fue utilizado desde la más remota antigüedad; aparentemente, su empleo se inició contemporáneamente con el oro y el cobre. Por ello, desvelar su larga historia, en todas las partes del mundo en las que ha sido beneficiado y explotado, es una interesante tarea; en especial, cuando los mitos y las leyendas locales están invariablemente relacionados con él. Asimismo, son de gran interés las divergentes y encontradas opiniones de los historiadores a través de los siglos (GRAN ENCICLOPEDIA LARROUSSE, 1972).

El estaño fue empleado por primera vez, entre los años 3500 a 3200 a.C., especialmente en aleación con el cobre para formar el bronce, de gran dureza, como lo prueban los objetos pertenecientes a ese período. Sin embargo, algunos investigadores colocan su primer empleo hacia la época de Sargon y Naransin de Akkad, entre los años 2800 y 2500 a.C. (DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL, 1980). Por tanto, el bronce se originó en oriente; se obtuvo la mayor parte del estaño en los yacimientos del Tauro y del Cáucaso en el Asia Menor. Esta aleación es epónima de la edad de bronce; una de las importantes fuentes de estaño, fueron las Islas británicas; aunque otros yacimientos naturales de algunos lugares pudieron también explotarse, como fue el caso de los yacimientos estanníferos de la península ibérica, sobre todo en Galicia. El estaño necesario para la obtención del bronce fue muy buscado desde las primeras edades metálicas del bronce, y fue usado para la manufactura de construcción de herramientas, cacería, armas de guerra y en muchas obras de arte; Moisés lo cita en el libro de --

los Números (ENCICLOPEDIA BARSA, 1981). La separación geográfica entre las naciones productoras de estaño y las naciones consumidoras, influyó grandemente en el desarrollo de las primeras rutas comerciales. En China hacia el año 1800 a.C., la industria del bronce estaba bien estabilizada y numerosos objetos de bronce con 10 a 14 % de estaño, se encontraron en excavaciones de diferentes civilizaciones antiguas. Su comercio dió lugar a un intenso tráfico desde las Islas Casitéridas (Británicas), o Islas del Estaño (de donde tomó el nombre su principal mineral, la casiterita), lo cual tuvo como consecuencia la difusión de la metalurgia. Hacia los años 1600 a 1200 a.C. (BATEMAN, A.M., AND JENSEN, M.L., 1981), los griegos disputaron a los fenicios el monopolio del comercio del metal; durante este período, los fenicios ya importaban el estaño regularmente de Cornualles, donde probablemente lo adquirieron de yacimientos de placer, para producir bronce destinado a utensilios, ornamentos y numerosos objetos para uso humano; el trayecto marítimo seguido por los navegantes fenicios en busca de estaño, rodeaba la península ibérica y llegaba hasta las Islas Casitéridas, donde abundaba ese metal. También siguieron tal ruta, los navegantes griegos y cartagineses. La necesidad de obtener estaño estimuló, grandemente, la llegada de los primeros colonizadores a la península, así como la fundación de ciudades y factorías. Desde el año 1000 a.C., el comercio de los metales, y particularmente del estaño, fue acaparado en el Mediterráneo, principalmente por los fenicios, que venían a recogerlo a la península ibérica, en donde los tartesios de Andalucía poseían el mercado del metal; los mismos tartesios iban a buscarlo a las Islas Casitéridas, según un antiguo Periplo griego del siglo VI a.C. Hacia el año 500 a.C., el monopolio del comercio

del estaño fue ejercido por los cartagineses, quienes cerraron el estrecho de Gibraltar a la navegación y ocultaron la procedencia del metal. cuyo -- origen remoto acabó por desconocerse totalmente (DICCIONARIO ENCICLOPEDICO ESPASA, 1982).

Durante la época medieval, se amplió el uso del estaño, para la -- fundición de campanas, armaduras de bronce y fabricación de peltres. Tam -- bién sirvió para la fabricación de utensillos de medición, y la iglesia -- permitió que con él se realizaran vasos sagrados. El estaño utilizado du -- rante esta época, provenía principalmente de Inglaterra; posteriormente de Sajonia y Bohemia y más tarde de Asia. Los alquímistas medievales asocia -- ron el estaño al planeta Jupiter, según Geber, por proporcionar aleaciones quebradizas dentro de sus principales características, y le daban a veces -- el nombre de diabolus metallorum (ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA EUROPEO -- AMERICANA, 1924).

En el año 700 d.C., Geber describió las propiedades y los compues -- tos del estaño. Posteriormente, durante los años 1400 a 1800 d.C., la pe -- nínsula Malaya tuvo mucha demanda de estaño, aunque también lo tenían, Ma -- lasia, Indonesia y China, pero en menor proporción, ya que estos países -- también exportaban éste metal (THE NEW ENCICLOPAEDIA BRITANNICA, 1982). En el año 1500 d.C., los orfebres confeccionaban maquetas de estaño para las -- obras que iban a realizar. Los artesanos del estaño se agruparon en corp -- raciones, los cuales reglamentaron el uso de punzones para identificar al -- realizador de cada pieza. A fines del siglo XVIII d.C., la producción de estaño fue superada sólo por tres metales: Hierro, plomo y cobre. A me -- diados del siglo XIX, se inició la producción de estaño en Australia, se --

guida por la de América del Sur y finalmente en Africa, en 1910. En el --
continente americano se conocía el estaño mucho antes de la llegada de los
europeos. Los conquistadores españoles hallaron objetos de bronce en algu
nos lugares del Perú, y también Hernán Cortés encontró en México indicios-
de que los indígenas de la región de Taxco, Gro., usaban el estaño como mo
neda. América del Norte carece singularmente de estaño, aunque actualmen-
te consume más del 30 % de la producción mundial.

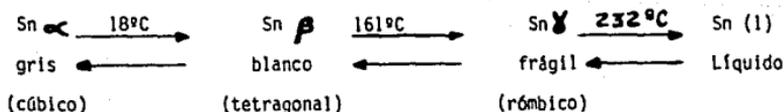
1.2. PROPIEDADES FISICAS DEL ESTAÑO.

El estaño es un elemento metálico de color blanco, con un brillo --plateado acentuado, cuya intensidad depende del incremento de la temperatura. Su número atómico es 50.

Puede presentarse en tres formas alotrópicas (cambios de fases cristalográficas que están en función de la temperatura), por lo que presenta un equilibrio de transformación a temperaturas determinadas: el estaño α (estaño gris) que cristaliza en el sistema cúbico, el estaño β (estaño blanco) que cristaliza en el sistema tetragonal y el estaño γ (estaño frágil) que cristaliza en el sistema rómbico.

El estaño blanco es el más usual, por debajo de 18°C la forma estable es la gris cuya estructura cúbica es semejante a la del diamante; ésta, se transforma a blanco del sistema (tetragonal), precisamente a 18°C en donde cada átomo está rodeado por cuatro, a una distancia de 3.016\AA y otros -- dos a 3.175\AA ; en conjunto los seis forman un octaedro distorsionado en torno al átomo central.

El estaño β se transforma al sistema rómbico a 161°C , el que a su vez pasa al estado de fusión a 232°C .



A bajas temperaturas ($< 0^{\circ}\text{C}$) se rompe la estructura cristalina hasta convertirse en polvo, esto se verifica a velocidades máximas y a temperaturas de -50°C a esta transformación se le denomina "peste o enfermedad" del estaño.

Su estructura cristalina se puede demostrar cuando la superficie de una lámina de hierro estañado o de una hoja de estaño es atacada con ácido clorhídrico que contenga cloro libre o cloruro estannoso se forman unas estrías semejantes a los cristales de nieve que le dan un aspecto metálico muy especial. A esta estructura se atribuye el denominado "grito del estaño" que se produce cuando se dobla una barra de estaño puro, que emite un ruido peculiar que proviene del razonamiento de sus cristales - - (DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL, 1986).

El estaño es un metal siete veces menos conductor que la plata y también casi 7 veces que el cobre (Tabla 1.2.2) se puede cortar con facilidad con un cuchillo, en la escala de Mohs Tiene una dureza de 1.8 comparada con 1.5 del plomo y 2.5 para el oro, es muy maleable y dúctil, su mayor maleabilidad se presenta a los 100°C ; a partir de esta temperatura dicha propiedad se reduce hasta desaparecer por completo a los 200°C , lo que puede facilitar la pulverización del metal.

La tabla 1.2.1., muestra las propiedades atómicas y térmicas del estaño, así como sus valores respectivos.

T A B L A 1.2.1.
PROPIEDADES ATOMICAS Y TERMICAS
(BARRY, B. T. K. AND THWAITES, C. J., 1983).

P R O P I E D A D	V A L O R
Número atómico	50
Masa atómica	118.69 u.m.a.
Radio atómico	$1.58 \times 10^{-1} \text{ nm}$
Volumen atómico	16.3
Radio Iónico (Sn^{2+})	$0.93 \times 10^{-1} \text{ nm}$
(Sn^{4+})	$0.71 \times 10^{-1} \text{ nm}$
Densidades ($\text{Sn}\beta$)	7.29 g/cm^3
a 15°C	
por rayos x a 25°C	7.28 g/cm^3
Líquido en punto de fusión	6.97 g/cm^3
($\text{Sn}\alpha$)	
a 15°C	5.77 g/cm^3
por rayos x a temp. ambiente	5.765 g/cm^3
Estructura del cristal (β)	tetragonal
punto de fusión	232°C
punto de ebullición	2625°C
Coefficiente de expansión lineal	$27 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$
Módulo de elasticidad	$5.4 \times 10^{-3} \text{ kp/MN}$
Energía de ionización	169 Kcal-Joule
Energía de unión Sn-Sn	27 Kcal/mol
Electronegatividad	235 Kcal/g/Atom
Configuración	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$
Potencial de óxido reducción	- 0.136 ($(M^{++} - M)$) volts

CONTINUACION DE LA TABLA 1.2.1.
 PROPIEDADES ATOMICAS Y TERMICAS
 (BARRY, B. T. K., AND THWAITES, C. J., 1983).

PROPIEDAD	VALOR
Presión de vapor	
a 727°C	7.4×10^{-6} mmHg
a 1127°C	4.4×10^{-2} mmHg
a 1527°C	5.6 mmHg
Calor latente de fusión	7.08 KJ/g atom
calor latente de vaporización	296.4 KJ/g atom
calor específico a 20°C	222 J/Kg K
Entropía normal a 25°C	57.5 J/Kmol
Conductividad térmica a 20°C	65 W/mk
Coefficiente de expansión	
(Lineal a 0°C)	19.9×10^{-6}
(Lineal a 100°C)	23.8×10^{-6}
(cúbica a 0°C)	59.8×10^{-6}
(Cúbica en punto de fusión a 400°C)	106.0×10^{-6}
(Cristal estandar a 0°C)	28.4×10^{-6}
	(paralelo a eje "C")
	15.8×10^{-6}
Tensión superficial a punto de fusión	554 mN/m
viscosidad a punto de fusión	1.85 mNs/m^2
Expansión sobre fusión	2.3 %
Solubilidad de estaño líquido en:	
(oxígeno a 536°C)	0.00018 %
(oxígeno a 750°C)	0.0049 %

CONTINUACION DE LA TABLA 1.2.1.
PROPIEDADES ATOMICAS Y TERMICAS.
(BARRY, B. T. K., AND THWAITES, C. J., 1983).

P R O P I E D A D	V A L O R
(Hidrógeno a 1000°C)	0.04%
(Hidrógeno a 1300°C)	0.36%
(Nitrógeno)	muy bajo

Cuando se somete una barra de estaño a repetidas torsiones, se produce un calentamiento en el metal como consecuencia de la fricción de sus cristales.

Su bajo punto de fusión se aprovecha para uso en aleaciones de soldaduras con otros metales y también como metal de recubrimiento. Su presión de vapor es bastante baja aún a temperaturas que excedan los 1000°C, propiedad que se aprovecha para algunas aplicaciones, pero que a la vez -- presenta desventajas, como es el caso de los aceros contaminados por estaño que no pueden ser purificados con el simple hecho de elevar la temperatura, (Como se puede observar en el diagrama de fase Sn-Fe Figura 1.2.1.,-- según PAMLEK, F., 1983).

PROPIEDADES ELECTRICAS

El estaño es relativamente un pobre conductor eléctrico comparado con el cobre y con la plata, es decir, sólo un 13%, puede ser un superconductor a temperaturas cercanas al cero absoluto. La tabla 1.2.2., muestra las propiedades eléctricas del estaño, así como sus valores respectivos.

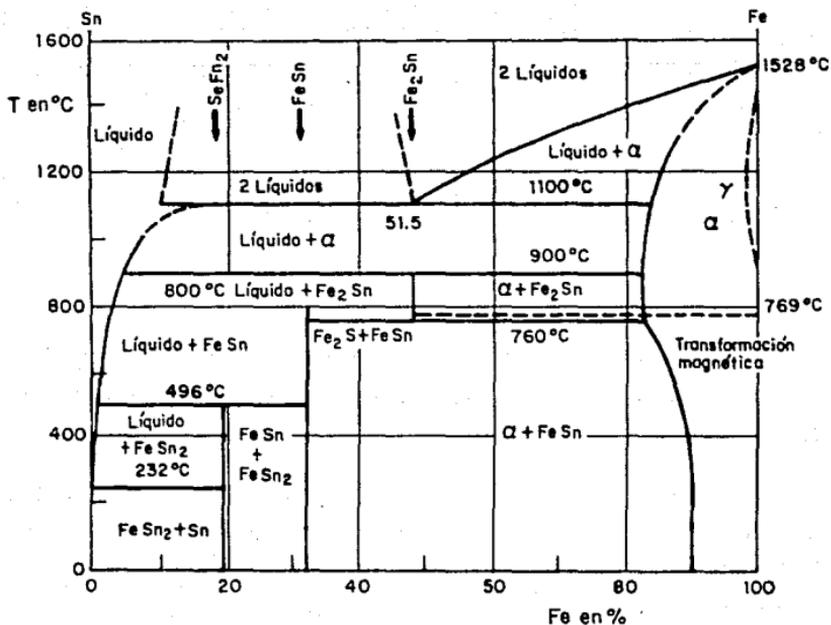


Fig 1.2.1. Diagrama de fase del sistema Sn-Fe según Pawlek Franz en Metallhüttenkunde, Walter de Gruyter Berlín New York (1983) pag 488.

T A B L A 1.2.2.
 PROPIEDADES ELECTRICAS
 (BARRY, B. T. K. AND THWAITES, C. J., 1983).

P R O P I E D A D	V A L O R
Conductividad eléctrica Sn	0.099 $\mu\Omega^{-1}$
Ag	0.616 $\mu\Omega^{-1}$
Cu	0.593 $\mu\Omega^{-1}$
Resistividad Sn (ρ)	
a 20°C	12.6 $\mu\Omega\text{cm}$
a 200°C	23.6 $\mu\Omega\text{cm}$
a 300°C	46.8 $\mu\Omega\text{cm}$
Sn (∞) a 0°C	300 $\mu\Omega\text{cm}$
Temp. de trans. como superconductor	3.73 K
Función fotoeléctrica	4.64 eV
Equivalente electroquímico	
(Sn ²⁺)	0.61503 mg/C
(Sn ⁴⁺)	0.30751 mg/C
Potencial de electrodo standard	-0.52 V

PROPIEDADES MECANICAS

Por el bajo punto de fusión del Sn, se puede considerar que a temperatura ambiente se encuentra casi en un 60% de este estado (líquido), - en la escala de temperatura absoluta, de lo que resulta que su resistencia mecánica sea baja. Estas propiedades dependen en gran parte de los niveles de impurezas y de la rapidez de las pruebas (Ver tabla 1.2.3.).

T A B L A 1.2.3
PROPIEDADES MECANICAS
(BARRY, B. T. K. AND THWAITES, C. J., 1983).

P R O P I E D A D	V A L O R
Resistencia a la tensión (a 0.4 mm/mm/min)	
a 20°C	14.5N/mm ²
a 100°C	11.0N/mm ²
a 200°C	4.5N/mm ²
Resistencia al cizallamiento (temp. ambiente)	
Módulo de Young a 20°C	49.9 KN/mm ²
Módulo de Rigidez a 20°C	18.4 KN/mm ²
Módulo de Bulk a 20°C	58.2 KN/mm ²
Relación Poisson	0.357
Resistencia a la fatiga para 10 ⁸ a 15°C	±2.5 N/mm ²
Durezas a 20°C	3.9 HB
a 100°C	2.3 HB
a 200°C	0.9 HB

* Nota: Tensión, resistencia y dureza dependen de la velocidad de carga.

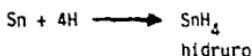
1.3. PROPIEDADES QUIMICAS

El símbolo químico del estaño es: Sn y es el cuarto elemento del -- grupo IV A, por lo que su comportamiento químico corresponde en parte al Ge y Pb por encontrarse entre dichos elementos. Es anfótero ya que no es atacado por ácidos orgánicos e inorgánicos a excepción del ácido nítrico - - - (HNO₃). Es resistente contra la atmósfera y alimentos; sus sales no son da

niñas a la salud. Los estados de oxidación de sus componentes más frecuentes son de +2 y +4, frente al hidrógeno presenta el estado -4; el estado -- +4 puede reducirse con facilidad al estado divalente.

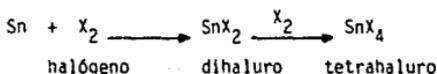
Sus principales reacciones características son:

- 1.- Reacción con el hidrógeno: no reacciona con el hidrógeno molecular; con el hidrógeno nascente forma el hidruro:

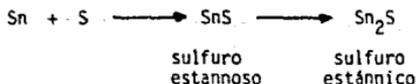


- 2.- Reacción con el oxígeno. En frío se forma una débil película de óxido estannoso. En caliente y finamente pulverizado reacciona con violencia, lo que origina óxido estánnico. El agua cataliza la reacción.

- 3.- Reacción con los halógenos. Se forman los dihaluros y tetrahaluros. La formación del tetrafluoruro exige temperaturas de -- 100°C. El tetracloruro y el tetrabromuro se forman a la temperatura ambiente:

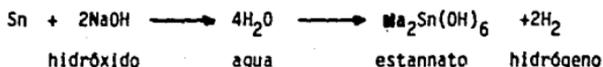


- 4.- Reacción con el azufre, a temperaturas de 900°C se forma sulfuro estannoso, si se emplea como catalizador cloruro de aluminio, se forma el sulfuro estánnico.

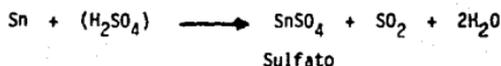
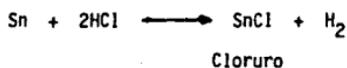


5.- No reacciona con el nitrógeno.

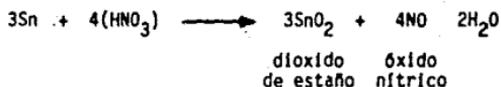
6.- Reacciona con los hidróxidos alcalinos. En caliente, se forman estannatos:



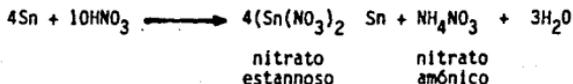
7.- Reacción con los ácidos clorhídrico y sulfúrico. Forma sales de estaño:



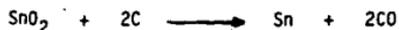
8.- Reacción con ácido nítrico concentrado. Forma ácido estánnico:



Si el ácido nítrico es diluido se forma nitrato estannoso y nitrato amónico:



Obtención: Reducción de sus óxidos con carbono. (ver capítulo de Métodos de Beneficio).



Análisis Cualitativo: como catión se investiga en el segundo grupo, sub-grupo B de la marcha analítica puede reconocerse por el color azul que forman los compuestos del estaño con ácido molibdicofosfórico.

Análisis Cuantitativo: El estaño se determina volumétricamente en forma de cloruro estannoso, al emplear solución valorada de yodato potásico; deben eliminarse previamente las impurezas del ion cuproso, ferroso o antimoniado, también puede emplearse solución valorada de yodo.

PRINCIPALES COMPONENTES .

Bicloruro de Estaño (SnCl_2):

Masa Molecular	189.6 U.M.A.
Calor de formación	-80.8 kCal/mol
Punto de fusión	246.7°C
Punto de ebullición	623.0°C
Densidad	3.39g/cm ³
Calor de fusión	16.1 kCal/Kg
Calor de evaporización	109.0Cal/Kg

Es soluble en agua y en muchos solventes orgánicos, se puede cristalizar a partir del agua formando un dihidrato de cloruro de estaño - - - ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) el cual se funde descomponiéndose a 40.5°C, es un fuerte reductor y tiene tendencia a hidrolizarse, su producción se logra al unir los elementos, se utiliza en: galvanotécnica y como estabilizador y catalizador en reacciones orgánicas.

Tetracloruro de Estaño (SnCl_4):

Masa molecular	260.5 u.m.a.
----------------	--------------

Punto de fusión	30.2°C
Punto de ebullición	114.0°C
Densidad	2.33 g/cm ³

Es soluble en agua, su producción es por la unión de los elementos y su uso es en la industria orgánica.

Hidruro de Estaño (SnH₄):

Masa molecular	122.73 u.m.a.
----------------	---------------

A temperatura ambiente se encuentra en forma de gas y se descompone en hidrógeno y estaño entre los 140°C a 150°C.

Monóxido de Estaño (SnO):

Masa molecular	174.7 u.m.a.
Calor de formación	-67.0 KCal/Mol
Densidad	6.25 g/cm ³

Son cristales azul - negro que se descompone a temperaturas superiores a los 380°C en SnO₂ + Sn, es soluble en ácidos pero no en hidróxido de sodio y potasio.

Sulfato de Estaño (SnSO₄):

Masa atómica	214.75
--------------	--------

Son cristales blancos, térmicamente estables hasta 360°C, soluble en agua.

Sulfuro de Estaño (SnS₂):

Masa molecular	182.82 u.M.a.
Densidad	4.51 g/cm ³

1.4. GEOQUIMICA DEL ESTAÑO.

El estaño es un elemento relativamente raro, con una abundancia en la corteza terrestre de 2 a 3 ppm; se clasifica como un elemento siderófilo por su gran afinidad con el oxígeno, pero también tiene propiedades de elemento calcófilo y litófilo con un comportamiento menos pronunciado respectivamente como se indica en la clasificación geoquímica de los elementos propuestos por GOLDSCHMIDT (1937), (Tabla 1.4.1.).

La máxima concentración de estaño ocurre en medios ambientes ígneos, particularmente asociado con rocas graníticas. Esto es reflejado por el promedio contenido en rocas graníticas de 3.5 a 3.6 ppm, como se indica en el ciclo geoquímico del estaño (Fig. 1.4.1.).

Sin embargo, aunque varias investigaciones han sido dirigidas hacia la distribución y el comportamiento del estaño en rocas ígneas félsicas, -- muy pocas se han referido a otros ambientes y por tanto existe aún una incertidumbre sobre la abundancia y distribución de este elemento en la corteza terrestre (Fig. 1.4.1.).

El contenido de estaño en chondritas, de acuerdo a ONISHI Y SANDELL (1957), es de 1 ± 0.5 ppm, el cual es muy bajo. Con respecto al promedio (40 ppm), reportado por los NODDACKS (1934), y es también inferior a los pocos valores determinados por GOLDSCHMIDT y PETERS (1933). YU LEVIN et al., (1958) también estimaron el promedio de 40 ppm. Estas diferencias sobre la abundancia del estaño pueden también determinarse en rocas ígneas y sedimentarias. GOLDSCHMIDT (1933), determinó un valor promedio de 80 ppm de estaño para las rocas ígneas, el cual es mayor al valor (≈ 2 ppm de estaño) re

T A B L A 1.4.1.
CLASIFICACION GEOQUIMICA DE LOS ELEMENTOS
(GOLDSCHMIDT, V.M., 1937)

SIDEROFILOS	CALCOFILOS	LITOFILOS	ATMOFILOS	BIOFILOS
Au	Cu Ag	Li Na K Rb Cs	H C N	H C N O P
Ge Sn (Pb)	Zn Cd Hg	Fa	O I Hg	(Na)(Mg)(S)(Cl)
C P (As)	Ga In Tl	Be Mg Ca Sr Ba	He Ne A	(K) (Ca)(Fe)
Mo (W)	(Ge)(Sn) Pb	Ra	Kr Xe Rn	(B) (F) (Si)
Re	As Sb Bi	(Zn)(Cd)		(Mn)(Cu)(I)
Fe Co Ni	(Mo)	B Al Sc Y		
Ru Rh Pd	S Se Te	La Ce Pr Nd Sm		
Os Ir Pt	Fe (Co)(Ni)	Eu Gd Tb Dy Ho		
	(Ru)(Pd)(Pt)	Er Tm Yb Lu		
		Ac Th Pa U Np		
		Pu Am Cm		
		Ga (In) (Tl)		
		C Si Ti Zr Hf		
		(Ge)(Sn)(Pt)		
		V Nb Ta		
		P (As)		
		O Cr W Mn		
		(Fe)(Co)(Ni)		
		H F Cl Br I		

portado por ONISHI y SANDELL, (1957). GOLDSCHMIDT y PETER (1933), determinaron un valor de 40 ppm de estaño en un conjunto de 36 lutitas paleozoicas - europeas (Tabla 1.4.7).

Un valor regional puede afectar una estimación del promedio de estaño contenido en varios tipos de rocas ígneas, particularmente en rocas graníticas, para algunas regiones. En ellas pueden encontrarse grandes cantidades del metal.

La tabla 1.4.2. proporciona los promedios para los diferentes tipos de rocas ígneas comparados con los promedios determinados por ONISHI y SANDELL (1957) y HAMAGUCHI y KURODA (1964), para las mismas rocas.

Los promedios determinados por ONISHI y SANDELL son muy buenos a pesar de que los valores promedios dependen solamente de muestras de rocas ígneas de Japón, Minesota, Centro de Texas y California los cuales son similares con los de HAMAGUCHI y KURODA, (1964). A causa de la ausencia de la explotación de los depósitos de estaño y sus áreas adyacentes en grandes regiones de la tierra, el estaño puede considerarse uniformemente poco distribuido como "elemento traza" en todas las rocas de la corteza. CARMICHAEL y McDONALD (1961), reportaron la distribución de los elementos traza incluyendo el estaño en vidrios, piedra puzo porfídicos de Arran, Eigg e Islandia.

Con respecto a la distribución del estaño en rocas magmáticas, es probable que las concentraciones del metal estén preferencialmente dentro de la cristalización tardía en el proceso magmático. RANKAMA y SAHAMA (1949), establecieron que el estaño ocurre en los magmas como iones Sn^{2+} y-

T A B L A 1.4.2.
PROMEDIOS DEL CONTENIDO DE ESTAÑO EN LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCA
(HAMAGUCHI Y KURODA, 1964)

ROCAS IGNEAS	MUESTRAS	HAMAGUCHI Y KURODA (1964)	ONISHI Y SANDELL (1957)
		ppm	ppm
Rocas Silíceas	35	3.6	3.5
Rocas Intermedias	19	1.6	1.3
Rocas Máficas	3	0.9	1.2
Rocas ultramáficas	4	0.35	0.5

y Sn^{4+} . El ión Sn^{2+} tiene un radio iónico de 0.93 \AA comparado con 1.00 \AA para el ión Ca^{2+} . Por tanto, puede esperarse que el ión Sn^{2+} sea enmascarado por los minerales asociados al calcio, entrando en las primeras fracciones con excesiva cantidad de iones de calcio y por consiguiente se genera una disminución en el magma. Sin embargo, el comportamiento Sn^{2+} es en realidad contrario a lo esperado. Esto es ilustrado más claramente en el comportamiento de los feldespatos, los cuales fueron reportados por HELLWEGE (1956), quien determinó promedios del estaño para una serie de plagioclasas (Tabla 1.4.3).

T A B L A 1.4.3.
 PROMEDIOS DEL ESTAÑO PARA UNA SERIE DE PLAGIOCLASAS.
 (HELLWEGE, H., 1956)

PLAGIOCLASAS	MUESTRAS	Sn (ppm)
Anortita	2	0.25 (0.1 - 0.4)
Oligoclasa	1	5.2
Albita	5	15.0 (3.1-44.0)
Feldespatos	6	0.9 (0.3 - 2.0)

En las plagioclasas, el estaño disminuye y aumenta el calcio; la razón se debe a las diferencias de las electronegatividades de los iones de Ca^{2+} y Sn^{2+} ; la electronegatividad del ión Sn^{2+} es de 1.80 comparado con -- 1.00 para el ión Ca^{2+} .

De acuerdo a RINGWOOD (1955), el ión Sn^{4+} no se encuentra fácilmente

te en los silicatos, pero se encuentra en magmas residuales a causa de su alta tendencia para formar un tipo de compuestos Mo_4 . En magmas ricos en volátiles, similares, a los magmas graníticos y pegmatíticos. El estaño - compuesto no es admitido en los minerales silicatados. Este comportamiento del estaño probablemente puede ser la causa de la variación regional de la abundancia del estaño. El potencial iónico del ión central Sn^{4+} en un tipo de compuesto Mo_4 no es tan alto como en otros compuestos similares a ZrO_4 , HfO_4 , GaO_4 ; por tanto el compuesto SnO_4 tiende a mostrar poca tendencia para disociarse. Consecuentemente, algunas cantidades del ión Sn^{4+} -- deben ocurrir libres en los magmas (RINGWOOD 1955). La liberación del ión Sn^{2+} puede reemplazar el ión Ca^{2+} en apatito y piroxeno y el ión Fe^{3+} en minerales ferromagnesianos tal como la biotita y los anfíboles. AHRENS y LIEBERBERG (1950), indicaron que el estaño está presente como componente estructural en micas con escaso estaño. La presencia del estaño en rocas ultramáficas indica que el ión Sn^{2+} puede sustituir el ión Fe^{2+} en olivino como fue postulado por BORCHER y DYBEK (1950).

Un número de elementos de similar carga y radio iónico muestran relaciones de sustitución-solución sólida con el estaño, y aunque la posición es más compleja que la clásica regla de GOLDSCHMIDT (1937), pueden indicarse, los radios iónicos y las electronegatividades de los iones comunes del estaño (Tabla 1.4.4., según BURS, R.G. y FYFE, W.S., 1967).

El estaño alcanza proporciones significantes en una amplia variedad de minerales, y es particularmente común en minerales de Skarns y en ferromagnesianos los cuales se oxidan rápidamente bajo condiciones atmosféricas (Tabla 1.4.5., según NEKRASOV, I. Ya., 1971).

T A B L A 1.4.4.
 RADIOS IONICOS Y ELECTRONEGATIVIDAD DE LOS IONES SIMILARES AL
 Sn^{2+} , Sn^{4+}
 (BURNS, R.G., AND, FYFE, W.S., 1967)

ION	COORDINACION Y RADIO IONICO (Å)			ELECTRONEGATIVIDAD	
Sn^{2+}		4	6	12	
		-	0.93	-	1.80
	Ca^{2+}	-	1.00	1.35	1.00
	Cd^{2+}	0.80	0.95	1.07	1.70
	In^{3+}	-	0.79	-	1.70
	Fe^{2+}	0.63	0.61 (L)*	-	1.80
Sn^{4+}			0.78 (H)*		
		-	0.69	-	1.90
	Fe^{2+}	0.63	0.61 (L)	-	1.80
			0.78 (H)		
	Fe^{3+}	0.49	0.55 (L)	-	1.90
Mg			0.64 (H)		
	Mg^{2+}	0.58	0.72	-	1.20
	Sc^{3+}	-	0.74	-	1.30
	In^{3+}	-	0.79	-	1.70
	Ti^{4+}	-	0.60	-	1.60
	Nb^{4+}	-	0.69	-	1.60
	Nb^{5+}	0.32	0.64	-	1.60
	Ta^{5+}	-	0.64	-	1.50

* L y H SE REFIEREN AL BAJO Y ALTO GIRO DE ESTADOS.

T A B L A 1.4.5.
DISTRIBUCION DEL ESTAÑO EN CUERPOS DE MINERALES DE MENA Y SKARNS
(NEKRASOV, I. Ya., 1971)

MINERAL ANALIZADO	ESTAÑO (ppm)	MINERALES ASOCIADOS
<u>MINERALES DE SKARNS MAGNESIANO</u>		
ESPINELA $MgAl_2O_4$	8	PIROXENO, LUDWIGITA.
"	14	PIROXENO, FORSTERITA, FLOGOPITA.
FORSTERITA Mg_2SiO_4	12	FLOGOPITA, LUDWIGITA.
PIROXENO Si_2O_6	8	FLOGOPITA, LUDWIGITA.
"	29	FLOGOPITA, LUDWIGITA.
FLOGOPITA $(AlSi_3O_{10})KMg_3(OH)$	213	FORSTERITA, LUDWIGITA.
"	176	PIROXENO, LUDWIGITA.
PARAGONITA $(AlSi_3O_{10})NaAl_2(OH)_2$	53	ESPINELA, LUDWIGITA.
"	42	CLINOHUMITA, LUDWIGITA.
LUDWIGITA $(Mg,Fe^{2+})_2Fe^{3+}BO_3O_2$	7300	CLINOHUMITA, PARAGONITA.
"	2600	PIROXENO, FLOGOPITA.
"	3300	PIROXENO, FLOGOPITA.
"	5400	PIROXENO, PARAGONITA, ESPINELA.
<u>MINERALES DE SKARNS CALCAREOS</u>		
PIROXENO $Si_2O_4^{4-}$	17	PARGASITA, AXINITA.
"	37	GRANATE, IDOCRASA.
"	18	GRANATE

CONTINUACION DE LA TABLA 1.4.5.
DISTRIBUCION DEL ESTAÑO EN CUERPOS DE MINERALES DE MENA Y SKARNS
(NEKRASOV, I. Ya., 1971)

MINERAL ANALIZADO	ESTAÑO (ppm)	MINERALES ASOCIADOS
<u>MINERALES DE SKARNS CALCAREOS</u>		
GRANATE $A_3B_2(SiO_4)_3$	3700	PIROXENO, IDOCRASA.
"	5800	PIROXENO, IDOCRASA.
"	720	PIROXENO.
"	4200	IDOCRASA, EPIDOTA.
"	6230	SKARNS MONOCLINICO.
IDOCRASA $(Si_{20}O_7)_2(SiO_4)_5Ca_{10}(Mg,Fe)_2$ $Al_4(OH)_4$	57	GRANATE, EPIDOTA.
"	85	GRANATE, PIROXENO.
"	72	PIROXENO, GRANATE.
"	87	GRANATE, THULITE.
EPIDOTA $(Si_2O_7)(SiO_4)(Al,Fe)Ca_2Al_2$ $O(HO)$	48	ANFIBOL
"	62	IDOCRASA, GRANATE.
THULITE $Ca_2Al_3Si_3O_{12}OH$	18	PIROXENO, GRANATE.
"	26	-
PARGASITA $Si_{13}O_{44}Ca_4Na_2Mg_9Al_4(OH,F)_4$	22	AXINITA, CASITERITA.
"	39	AXINITA, CASITERITA, CUARZO, CALCITA.
"	15	AXINITA, CASITERITA, CUARZO, CALCITA.

CONTINUACION DE LA TABLA 1.4.5.
DISTRIBUCION DEL ESTAÑO EN CUERPOS DE MINERALES DE MENA Y SKARNS
(NEKRASOV, I. Ya., 1971)

MINERAL ANALIZADO	ESTAÑO (ppm)	MINERALES ASOCIADOS
<u>MINERALES DE SKARNS CALCAREOS</u>		
AXINITA $(SiO_4)_4HCa(Mn,Fe)Al_2B$	780	PIROXENO, PARGASITA.
"	1350	PARGASITA, CASITERITA, CUARZO, CALCITA.
"	218	PARGASITA, CASITERITA, CUARZO, CALCITA.

La tabla 1.4.6. (SMITH, J.D., AND BURTON, J. D., 1972), muestra valores para algunas rocas metamórficas. El promedio contenido es de 1.2 -- ppm, para seis anfibolitas. Muchas anfibolitas son derivados de los basaltos metamorfoseados o doleritas y evidentemente existe poco cambio en el -- contenido de estaño con el metamorfismo.

T A B L A 1.4.6.
 ESTAÑO EN ROCAS METAMORFICAS
 (SMITH, J.D., AND BURTON, J.D., 1972).

TIPO Y ORIGEN	ESTAÑO (PPM)
Muscovita rica en filita, del Devónico	3.0
Esquisto	2.1
Biotita-sericita-cuarzo-esquisto de sillimanita	4.3
Granulita silícica	2.5
Anfibolita	0.37
Anfibolita	0.63
Anfibolita	1.4
Anfibolita	1.5
Anfibolita	2.4
Anfibolita	0.92
Milonita de hornblenda	1.0

Los valores del estaño en rocas sedimentarias y sedimentos oceánicos están enlistados en las tablas 1.4.7. y 1.4.8., respectivamente.

El estaño contenido en arcillas rojas tiene un rango de 1.4 a 6.7-ppm. La arcilla roja con número de muestra 1623 (Tabla 1.4.8.) tiene el valor más bajo de estaño, en la cual la composición de los sedimentos del fondo del mar son completamente afectados por materiales terrígenos.

Los promedios del estaño para los diferentes tipos de sedimentos oceánicos se muestran en la tabla 1.4.9. En la cual no pudo establecerse una diferencia significativa de estaño contenido en las arcillas rojas del Océano Pacífico y del mar de Japón.

T A B L A 1.4.7.
 ESTAÑO EN ROCAS SEDIMENTARIAS
 (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964).

MUESTRAS	ESTAÑO (ppm)	AUTOR
Promedio de:		
36 lutitas europeas (paleozoicas).	40	GOLDSCHMIDT Y PETERS (1933)
Bauxitas, de varias localidades.	80	GOLDSCHMIDT Y PETERS (1933)
51 lutitas.	42	FREEMAN (1942)
16 calizas.	14	FREEMAN (1942)
Rocas y Sedimentos bituminosos	10-50	GOLDSCHMIDT et al. (1948)
93 calizas, de Alemania	5	WEDEPOHL (1955)
Rocas sedimentarias (arcillas y lutitas).	32	VINOGRADOV (1956)
7 lutitas, de América del Norte	11	ONISHI Y SANDELL (1957)
24 lutitas, de Japón (paleozoicas y- mesozoicas)	2.5	ONISHI Y SANDELL (1957)
36 lutitas europeas, (paleozoicas).	5	ONISHI Y SANDELL (1957)
Pizarra, Okaya, Nagano	2.6	HAMAGUCHI Y KURODA (1964)
Hornfels, Hidaka, Hokkaido.	3.9	HAMAGUCHI Y KURODA (1964)

T A B L A 1.4.8.
 ESTAÑO EN SEDIMENTOS MARINOS.
 (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964)

NUMERO DE MUESTRAS	MUESTRAS	LOCALIZACION	PROFUNDIDAD (m)	Sn(ppm)	AUTOR
696	Compuestas de:	Océano Pacífico.		1.5	ONISHI Y SANDELL = (1957) EL WAKEEL Y RILEY (1961)
	8 Arcillas rojas			18	
	7 Sedimentos pelágicos calcáreos.	Océanos Atlántico, Pacífico, Indico y Mar Mediterráneo.		20	EL WAKEEL Y RILEY (1961)
	9 Sedimentos pelágicos argiláceos.				
	2 Sedimentos pelágicos silíceos.				
	1 Sedimento pelágico silíceo.				
1 Nódulo de manganeso.	Mar Báltico.		1-3	MANHEIM (1961).	
1 Sedimento Báltico.	Mar Báltico.		5	MANHEIM (1961).	
	Arcillas rojas	Océano Pacífico: 11° 27,0'N, 148° 46.0'E	5813	7.5	HAMAGUCHI Y KURODA (1964)

CONTINUACION DE LA TABLA 1.4.8.
 ESTAÑO EN SEDIMENTOS MARINOS.
 (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964)

NUMERO DE MUESTRAS	MUESTRAS	LOCALIZACION	PROFUNDIDAD (m)	Sn(ppm)	AUTOR
646		Desconocida		6.7	HAMAGUCHI Y KURODA (1964)
683		Desconocida		4.1	"
1539		27° 42.0'N, 147° 46.0'E	5948	6.7	"
1543		23° 51.5'N, 152° 44.0'E	5890	4.3	"
1620		12° 26.5'N, 132° 54.0'E	5640	3.5	"
1623		10° 11.0'N, 128° 12.0'E	5395	1.4	"
1636		6° 42.0'N, 141° 57.0'E	4652	3.6	"
1666		11° 19.0'N, 151° 57.0'E	5893	4.9	"
1673		11° 27.0'N, 148° 33.5'E	5355	4.4	"
1685		23° 02.0'N, 144° 57.5'E	7575	2.9	"
		Mar de Japón.			
9074177		40° 44.8'N, 131° 07.8'E	3261	3.9	"
9074165		40° 16.0'N, 131° 49.0'E	3192	4.2	"
9074167		38° 01.4'N, 134° 48.0'E	2996	4.3	"
		Océano Pacífico:			
1602	Oozes Globigerfidos.	5° 16.5'N, 132° 25.0'E	3663	1.6	"

CONTINUACION DE LA TABLA 1.4.8.
 ESTAÑO EN SEDIMENTOS MARINOS
 (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964)

NUMERO DE MUESTRAS	MUESTRAS	LOCALIZACION	PROFUNDIDAD (m)	Sn (ppm)	AUTOR
1618	Lodo volcánico	8° 15.0'N, 134° 27.0'E	3656	1.4	HAMAGUCHI Y KURODA (1964)
1654		5° 29.0'N, 146° 27.5'E	4032	1.4	"
701		15° 53.5'N, 144° 53.5'E	3751	1.8	"
709		25° 49.0'N, 141° 24.5'E	3191	1.5	"
710		27° 09.5'N, 142° 01.0'E	1903	0.8	"
711		28° 23.5'N, 141° 34.0'E	4092	1.3	"

T A B L A 1.4.9.
 PROMEDIO DE ESTAÑO PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE SEDIMENTOS
 OCEANICOS
 (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964)

MUESTRAS	RANGO (PPM)	PROMEDIO (PPM)
Arcillas rojas, Océano Pacífico 10 muestras	2.9-7.5	4.9
Arcillas rojas, Mar del Japón 3 muestras	3.9-4.3	4.1
Globigerina ooze, Océano Pacífico 3 muestras	1.4-1.6	1.5
Lodos volcánicos, Océano Pacífico 4 muestras	0.8-1.8	1.4

En las figuras 1.4.2 a 1.4.4., el contenido de estaño en arcillas-rojas está comparado con respecto al aluminio, manganeso y fierro. No - - existen correlaciones positivas entre el contenido de estaño y el aluminio, manganeso o fierro. La abundancia relativa del estaño, aluminio, manganeso y fierro en el agua de mar difiere mucho de las arcillas rojas (Tabla - 1.4.10.).

El enriquecimiento de estaño en agua de mar es muy notable comparado con el del aluminio, manganeso y fierro; indica la disminución incompleta del estaño desde el agua de mar.

T A B L A 1.4.10.
 ABUNDANCIA RELATIVA DEL ESTAÑO, ALUMINIO, MANGANESO Y EL FIERRO.
 EN EL AGUA DE MAR Y ARCILLAS ROJAS
 (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964).

ELEMENTOS	AGUA DE MAR	ARCILLAS ROJAS
Sn	1	1
Al	12	17,000
Mn	2	1,600
Fe	12	14,000

De acuerdo con GOLDSCHMIDT (1954), el estaño en el agua de mar puede ser estabilizado en solución por la formación de un anión clorostánico. RANKAMA (1949), afirmó que el estaño -- permanece en la casiterita detritica por su resistencia al intemperismo y al desgaste mecánico. El estaño originalmente se concentra dentro de los sulfuros y silicatos, se cree que precipita rápidamente después de la descomposición de los minerales -- en cuestión (Tabla 1.5.1.). Sin embargo, los lodos volcánicos-oceánicos consisten principalmente de hidrosilicatos igual de resistentes, enlistados en la tabla 1.4.8., no se muestran alguna tendencia notable de estaño llegando a ser enriquecidos comparados con las rocas ígneas. A pesar de que son poco conocidas la ocurrencia y la distribución del estaño en los suelos, PINTA Y OLLAR (1961), han determinado recientemente el estaño en varios elementos trazas, con un promedio alrededor de 6 ppm.

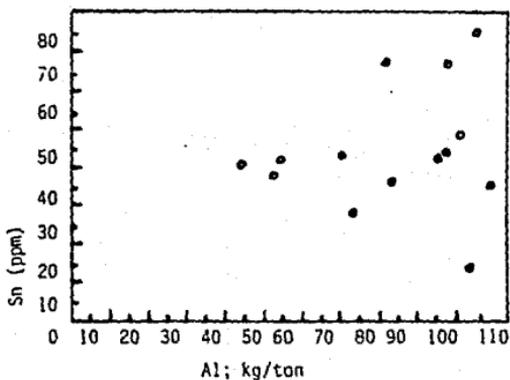


Fig. 1.4.2.- Relación del estaño con el aluminio en arcillas rojas (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964).

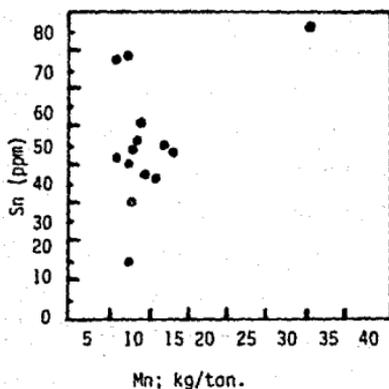


Fig. 1.4.3.- Relación del estaño con el manganeso en arcillas rojas (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964).

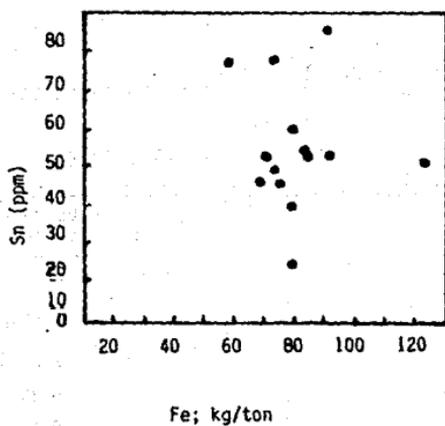


Fig. 1.4.4.- Relación de estaño con el fierro en arcillas rojas (HAMAGUCHI Y KURODA, 1964).

La Tabla 1.4.11., (SMITH, J.D., AND BURTON, J.D., 1973), muestra-- datos del contenido de estaño, en algunas algas y partes blandas de algunos moluscos comunes de las aguas costeras del sur de Inglaterra. Los factores de concentración fueron del orden de magnitud 10^4 , expresado en ppm, peso - seco.

T A B L A 1.4.11.
 ESTAÑO EN ALGAS Y MOLUSCOS DE LAS AGUAS COSTERAS DEL SUR DE -
 INGLATERRA
 (SMITH, J.D., AND BURTON, J.D., 1972).

ORGANISMOS	ESTAÑO (ppm. en peso seco)
ALGAS	
Phaeophyceae	
Desmarestia aculeata	0.65
Laminaria sacharina	0.29
Laminaria digitada	0.13
Dictyota dichotoma	0.10
MOLUSCOS	
Gasterópodos	
Crepidula fornicata	0.71
Buccinum undatum	0.33
Lamelibranchas	
Cardium edule	0.67
Mercenaria mercenaria	0.23

C O N C L U S I O N E S

El estaño se considera como un elemento raro en la corteza terrestre, con una abundancia de 2 a 3 ppm; se clasifica como un elemento siderófilo por su gran afinidad con el oxígeno. La concentración de estaño en rocas magmáticas se encuentra dentro de la cristalización tardía en el proceso magmático. El estaño existe en los magmas como iones Sn^{2+} y Sn^{4+} , el primero es muy abundante en los silicatos y el segundo no se encuentra fácilmente en ellos, pero se encuentra en magmas residuales debido a su alta tendencia para formar compuestos Mo_4 . Este comportamiento probablemente sea la causa de la variación regional de la abundancia del estaño.

La mayor concentración de estaño ocurre en ambientes ígneos, particularmente en rocas graníticas y riolíticas pero también es común en rocas sedimentarias asociadas con ambientes marinos y en rocas metamórficas con minerales de skarns magnesianos y calcáreos.

1.5. MINERALOGIA DEL ESTAÑO.

El estaño es uno de los minerales que no se encuentra libre en la naturaleza, sino formando compuestos muy variados. El estaño es un elemento raro, dentro de los pocos depósitos metálicos.

En su estado natural, el estaño forma el 0.001 % de la corteza terrestre, el mineral más importante es la casiterita, es la principal mena de estaño, y se encuentra en muchas localidades, aunque los depósitos económicamente importantes son pocos comparativamente. Y la concentración de este elemento ocurre en ambientes ígneos, también en rocas sedimentarias y en rocas metamórficas y en ambientes marinos.

El estaño en la mayoría de los casos está asociado con otros elementos, lo cuál posee propiedades generales, como su composición química, peso específico, punto de fusión, etc., y sus propiedades direccionales, como su estructura atómica, simetría cristalina para cada nueva asociación de minerales que contienen estaño y presentando sus características ópticas definidas, para cada uno de los minerales y poderlos identificar. En la tabla 1.5.1., se citan algunos minerales que contienen estaño y sus propiedades tanto físicas como químicas y mineralógicas de cada uno de los minerales encontrados en los yacimientos estanníferos. Las ocurrencias en la naturaleza con una referencia a la distribución geográfica de las localidades en donde se pueden encontrar este mineral.

La clasificación de las especies de minerales que presenta la tabla 1.5.1, son asociaciones de silicatos, sulfuros, óxidos, con las características físico-químicas, cristalografía y propiedades ópticas de los minerales.

Symbol	Formula	Chemical Name	Formula Weight	Atomic Weight	Valence	Equivalent Weight	Specific Gravity	Boiling Point (°C)	Melting Point (°C)	State at Room Temp.	Physical Properties	Chemical Properties	Preparation
H ₂ O	H ₂ O	Water	18.015	1.008	2	9.007	1.000	100	0	Liquid	Colorless, odorless, tasteless liquid.	Essential for life, universal solvent.	Distillation of water.
H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	Hydrogen Peroxide	34.014	1.008	2	17.007	1.015	150	-0.4	Liquid	Colorless, slightly viscous liquid with a sharp, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of barium peroxide.
H ₂ O ₂ (aq)	H ₂ O ₂	Aqueous Hydrogen Peroxide	34.014	1.008	2	17.007	1.015	150	-0.4	Liquid	Colorless, slightly viscous liquid with a sharp, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of barium peroxide.
Cl ₂	Cl ₂	Chlorine	70.906	35.453	2	35.453	3.214	-34.6	-34.6	Gas	Yellow-green gas with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of hydrochloric acid.
Cl ₂ (aq)	Cl ₂	Aqueous Chlorine	70.906	35.453	2	35.453	3.214	-34.6	-34.6	Liquid	Yellow-green liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of hydrochloric acid.
SO ₂	SO ₂	Sulfur Dioxide	64.064	32.065	2	32.065	2.261	-10	-75.5	Gas	Colorless, pungent gas.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of sulfuric acid.
SO ₂ (aq)	SO ₂	Aqueous Sulfur Dioxide	64.064	32.065	2	32.065	2.261	-10	-75.5	Liquid	Colorless, pungent liquid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of sulfuric acid.
SO ₃	SO ₃	Sulfur Trioxide	80.064	32.065	2	40.032	2.707	44.8	16.8	Solid	Colorless, crystalline solid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of sulfuric acid.
SO ₃ (aq)	SO ₃	Aqueous Sulfur Trioxide	80.064	32.065	2	40.032	2.707	44.8	16.8	Liquid	Colorless, crystalline liquid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of sulfuric acid.
H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	Sulfuric Acid	98.079	1.008	2	49.039	1.830	337	10	Liquid	Colorless, viscous liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of sulfuric acid.
H ₂ SO ₄ (aq)	H ₂ SO ₄	Aqueous Sulfuric Acid	98.079	1.008	2	49.039	1.830	337	10	Liquid	Colorless, viscous liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of sulfuric acid.
HNO ₃	HNO ₃	Nitric Acid	63.012	1.008	1	63.012	1.513	84.6	-41.8	Liquid	Colorless, fuming liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of nitric acid.
HNO ₃ (aq)	HNO ₃	Aqueous Nitric Acid	63.012	1.008	1	63.012	1.513	84.6	-41.8	Liquid	Colorless, fuming liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of nitric acid.
H ₂ CO ₃	H ₂ CO ₃	Carbonic Acid	62.034	1.008	2	31.017	1.335	5	5	Liquid	Colorless, fuming liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of carbonic acid.
H ₂ CO ₃ (aq)	H ₂ CO ₃	Aqueous Carbonic Acid	62.034	1.008	2	31.017	1.335	5	5	Liquid	Colorless, fuming liquid with a strong, irritating odor.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of carbonic acid.
H ₂ SiO ₃	H ₂ SiO ₃	Metasilicic Acid	122.086	1.008	2	61.043	2.654	163	163	Solid	Colorless, crystalline solid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of silicic acid.
H ₂ SiO ₃ (aq)	H ₂ SiO ₃	Aqueous Metasilicic Acid	122.086	1.008	2	61.043	2.654	163	163	Liquid	Colorless, crystalline liquid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of silicic acid.
H ₂ SiO ₄	H ₂ SiO ₄	Orthosilicic Acid	162.086	1.008	2	81.043	3.539	213	213	Solid	Colorless, crystalline solid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of silicic acid.
H ₂ SiO ₄ (aq)	H ₂ SiO ₄	Aqueous Orthosilicic Acid	162.086	1.008	2	81.043	3.539	213	213	Liquid	Colorless, crystalline liquid.	Strong oxidizing agent, bleaching agent.	Distillation of silicic acid.



National Bureau of Standards
 Gaithersburg, Maryland 20899
 Telephone: (301) 975-3000
 Telex: 9142
 Fax: (301) 975-2800

BIBLIOGRAFÍA

- AHRENS, L. H., and LIEBENBERG, W. R., 1950. Tin and indium in mica as determined spectroscopically. *Amer. Min.*, Vol. 35, pp. 571-573.
- BARRY, B. T. K., AND THWAITES, C. J., 1983. Tin and Its Alloys and Compounds. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A., pp. 11-21.
- BATEMAN, A.M., and JENSEN, M. L., 1981. Economic Mineral Deposits. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A.
- BAUSER, J., 1977. Guía Básica de los Minerales, Ed. Omega, S.A., Barcelona España, 209 p.
- BORCHERT, H., and DYBEK, J., 1950. Zur Geochemie des Zinns. *Chem. d. Erde.* Vol. 20, pp. 137-154.
- BRAUNS, R., 1927. Mineralogía, Ed. Labor, S.A., Barcelona, España, pp. 123-142.
- BURNS, R. G., and FYFE, W. S., 1967. Trace element distribution rules and their significance: a review. *Chemical Geology.* Vol. 2, pp. 89-104.
- CARMICHAEL, I., and McDONALD, A., 1961. The geochemistry of some natural acid glasses from the North Atlantic Tertiary volcanic province. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 25, pp. 189-22.
- DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO SALVAT UNIVERSAL, 1980. Imprenta Hispano-Americana, S.A., Tomo 10, Barcelona, España., pp. 358-361.
- DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO SALVAT UNIVERSAL, 1986. Salvat Editores, S.A., Tomo 9, Barcelona, España, pp. 200-202.
- DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO ESPASA, 1982. Espasa-Calpe, S.A., Tomo 6, Madrid-España, pp. 118-119.

- ENCICLOPEDIA BARSA, 1981. Encyclopaedia Britannica Publishers, Inc., Tomo VI, México-Panamá-Río de Janeiro, pp. 348-350.
- ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA EUROPEO-AMERICANA, 1924. Espasa-Calpe, - S.A., Tomo XXII, Madrid, España, pp. 658-673.
- FONT, M. y ALTABA., 1982. ATLAS DE MINERALOGIA, ED. VOVER, S.A., BARCELONA ESPAÑA.
- FORD, E. W. y DANA, E.S., 1982. TRATADO DE MINERALOGIA, ED. CONTINENTAL, - MEXICO, D.F., pp. 542-543.
- FREEMAN, G.O., 1942. Spectrographic data concerning the presence of the - less common elements in rocks. Amer. Min., Vol. 27. pp. 776--779.
- GOLDSCHMIDT, V.M., 1937. The principles of distribution of chemical ele- - ments in minerals and rocks. J. Chem. Soc. for 1937, p. 655.
- GOLDSCHMIDT, V.M., 1954. Geochemistry. Clarendon Press, Oxford, 730 pp.
- GOLDSCHMIDT, V. M., and PETERS, C., 1933. Zur Kenntnis der Troilitknollen- - der Meteoriten, ein Beitrag zur Geochemie von Chrom, Nickel, - and Zinn. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften - Zu Göttingen, Jahresber, Geschäftsjahr III, 36:-IV, pp. 37-278.
- GRAN ENCICLOPEDIA LARROUSSE, 1972. Editorial Planeta, S.A., Tomo IV, Bar- - celona, España, pp. 547-548.
- HAMAGUCHI, H., KURODA, R., ONUMA, N., KAWABUCHI, K., MITSUBAYASHI, T., and HOSOHARA, K., 1964. The geochemistry of tin. Geochimica et - Cosmochimica Acta. Vol. 28, pp. 1039-1053.

- HELLWEGE, A., 1956. Zur Vorkommen des Zinns als Spurenelement in Mineralien, Hamb. Beitr. Angew. Miner. Kristallphys. Vol. 1, pp. 73-136.
- HOCHLEITNER, R., 1983. MINERALES Y ROCAS ED. OMEGA, S.A. BARCELONA, - - ESPANA, 250 p.
- KRAUS, E. H., HUNT, W. F. y RAMSDALL, L. S., 1967, MINERALOGIA, ED. DEL -- CASTILLO, S.A., MADRID, pp. 310, 316, 490.
- NEKRASOV, I. Ya., 1971. Features of tin mineralisation in carbonate deposits as in eastern Siberia. International Geological Review.- Vol. 13, pp. 1532-1542.
- NODDACK, I., and NODDACK, W., 1934. Die Geochemie Verteilungs Koeffizienten der Elemente. Svensk Kem. Tidskare. Vol. 46, p. 173.
- ONISHI, H., and SANDELL, E. B., 1957. Meteoric and terrestrial abundance of tin. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 12, pp. 262-270.
- PAWLEK, F., 1983. Metallhuttenkunde. Walter de Gruyter Berlin New York, p. 488.
- PICOT, P. y YOHAN, Z., 1982. "ATLAS of ORE MINERALS", 408 p.
- PINTA, M., and OLLAT, C., 1961. Recherchés physico-chimiques des elements-traces dans les sols tropicaux-I.
I.- Etude de quelques sols du Dahomey. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 25, pp. 14-23.
- RANKAMA, K., and SAHAMA, TH. G., 1949. Geochemistry. The University of -- Chicago Press, Chicago, U.S.A., 862 pp.

- RINGWOOD, A. E., 1955. The principles governing trace-element behaviour during magmatic crystallization. Part II. The role of - - complex formation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 7, pp. 242-254.
- ROBERTS, RAPP, AND WEBER., 1974. *ENCYCLOPEDIA of MINERALS*, ED. VAN NOSTRANA REINHOLD COMPANY, NEW YORK, U.S.A., 698 p.
- SMITH, J. D., and BURTON, J. D., 1972. The occurrence and distribution of tin with particular reference to marine environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 36 pp. 621-629.
- TAYLOR, R. J., 1979. *Geology of tin deposits*. Elsevier scientific publishing company. New York, U.S.A., 452 pp.
- THE NEW ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 1982. *Encyclopaedia Britannica*, Inc. -- Vol. 18, Chicago, U.S.A., pp. 426-433.
- VINOGRADOV, A.P., 1956. The regularity of distribution of chemical elements in the Earth's crust. *Geokhimiya*. Vol. 1, pp. 1-52.
- WEDEPOHL, K.H., 1955. Schwermetallgehalte der kalkgeruste einiger mariner Organismen. *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen*. Vol. 5., pp. -- 79-86.
- YU LEVIN, B., KOZLOVSKAJA, S. V., and STARKOVA, A. G., 1958. The average-chemical composition of meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 13, p. 76.

C A P I T U L O I I

2.- CLASIFICACIONES DE LOS YACIMIENTOS MINERALES ESTANNIFEROS.

2.1 SEGUN BATEMAN, A.M. Y JENSEN, M. L.

2.2 SEGUN S. S. SMIRNOV

2.3 SEGUN HOSKING, K.F.G.

2.4 SEGUN SAINSBURY Y HALMITON

2.5 SEGUN LINDGREN, W.

2.6 SEGUN ROUTHIER PIERRE

2.7 CLASIFICACION PROPUESTA

BIBLIOGRAFIA.

2.1 CLASIFICACION.

Según Jensen M.L. y Bateman, A.M. 1981.

Los principales depósitos de estaño son:

- * Depósitos de placer
- * Stockworks
- * Vetas de fisura
- * Reemplazamientos diseminados

El primero se origina por concentración mecánica y los tres últimos han sido formados por procesos hidrotermales.

Por ejemplo, en Malasia, la mayor parte del mineral es aluvial, - - aunque también se explota en algunos filones. En algunos lugares, los rícos depósitos eluviales, existentes en los terrenos residuales de las ver--tientes del valle, pueden recuperarse mediante represas o pozos a cielo - -abierto. En ciertos lugares, el granito alterado hasta considerable profun--didad, se extrae directamente para sacar el, estaño.

En Indonesia (Indias Holandesas), las tres islas holandesas de ----Banka, Billiton y Singkep situadas al sur de Malasia han sido grandes pro--ductoras de estaño o casiterita. Todos los depósitos de Banka son aluvia--les, pero en las demás islas se explotan algunos filones. Se cree que el -origen de los placeres eluviales residuales, en las laderas del monte, sea--el granito postráiásico que contenía stockworks de casiterita.

Los depósitos primarios de Indias Holandesas consisten en:

- 1) Stockworks neumatolítico (hidrotermal) en greisen y
- 2) Depósitos metasomáticos de contacto intrusional en una forma--ción de areniscas-lutita.

En Bolivia, los depósitos son de tipo filón, principalmente - - -
Llallagua-Uncia, Huanuni y Potosí . Los minerales contienen aproximadamente
2 a 4 % de Sn con Ag. En Llallaua, el mineral que se extrae se presenta
en una gran red de filones y vetas dentro y contiguas a un pequeño ----
stock (bolsada) de pórfido cuarcitero de edad Terciario Tardío y de origen
superficial, esa red se contrae a profundidad entre las paredes de los sedi
mentos cretácicos plegados.

Las vetas son rellenos de fracturas, algunos rellenos están crusti
ficados y con drusas. La casiterita, cuarzo, pirita y marcasita constituyen
el 90 % del relleno.

Sin embargo, en Bolivia existe un fenómeno denominado como "Telescopeo", donde los yacimientos de Sn-Ag se forman bajo una cubierta de poca
profundidad y por soluciones líquidas de temperaturas media y elevada que
se transforman en soluciones de temperatura baja en las últimas fases, enque
una rápida disminución de la presión permitió la depositación concentra
da de un núcleo de casiterita.

Los demás depósitos de Sn de Bolivia son en su mayor parte vetas -
de fisuras terciarias que contienen estannita y tealita, así como casiterita
y plata. En Potosí, las vetas de Ag-Sn son más ricas en Sn a profundidad.

China, ha sido un importante productor de estaño a partir de los filones
en el Distrito Kochiu Yunnan, donde una de las minas ha sido explotada
desde hace 500 años a una profundidad de 1000 metros. En Nigeria, el
estaño procedía solamente de la meseta Bauchi, donde el intemperismo de --

las vetas y stockworks en granito dió origen al estaño aluvial. Zaire y--
Tailandia fueron importantes productores de estaño aluvial.

En Cornwall, Inglaterra, el Sn primitivo procedía de placeres y --
afloramientos. Los filones eran vetas de fisuras de alta temperatura, que
contenía casiterita y se hallaban en las intrusiones de granito o próxi--
mas a las mismas.

2.2 CLASIFICACION.

Según S.S. Smirnov, por Magak'yan, 1968.

- 1.- Pegmatitas estanníferas.
- 2.- Vetas de cuarzo casiterita, stockworks y greisen asociados con granitos ácidos.
- 3.- Grupo de sulfuro-casiterita.
 - a) Depósitos hidrotermales de casiterita con turmalina, clorita, pirrotita, arsenopirita de temperatura alta e intermedia.
 - b) Depósitos de skarn.
 - c) Depósitos hidrotermales de temperatura intermedia asociados -- con especularita en rocas extrusivas ácidas.
 - d) Depósitos hidrotermales de estaño-plomo-zinc de temperatura - intermedia.
 - e) Depósitos hidrotermales de estaño-plata de temperaturas intermedia y baja.
- 4.- Placeres aluviales y eluvial-diluviales de estaño.

Las pegmatitas estanníferas son extremadamente desarrolladas en muchas regiones de estaño, particularmente en áreas donde la mineralización está asociada con intrusiones de granito ácido y donde, además de la pegmatita, existen depósitos de cuarzo-casiterita. En los depósitos de placeres aluvial y eluvial, ocasionalmente las vetas pegmatíticas son explotadas, abasteciendo al mismo tiempo arriba del 10 % de la producción mundial de casiterita concentrada, y un considerable porcentaje de tantalocolombita como un subproducto, (Kalba-Narym, Sayany y Turkestanskiy Range en la URSS).

La formación de vetas de cuarzo-casiterita está desarrollada en la misma área como las pegmatitas estanníferas. Frecuentemente hay una tran-

sición gradual entre las pegmatitas estanníferas y vetas de cuarzo-casiterita y greisens. En la mayor parte del área, sin embargo, los depósitos de cuarzo-casiterita están asociados con granitos de muy poca profundidad, están relacionados con stocks hipabisales de composición granítica. Grandes yacimientos primarios raramente existen (Cornwall en Inglaterra), pero muchos depósitos de placeres ricos en estaño han sido formados por intemperismo y erosión. Estos tipos de formaciones (principalmente los placeres), abastecen el 60 % al 70 % de la producción mundial de casiterita concentrada (Malaya, Indonesia, Burma, Altenberg y otros).

Los depósitos de sulfuro-casiterita suministran de 20 % a 30 % de producción de estaño fuera de la Unión Soviética. Esta cantidad es producida sobre todo los mayores depósitos primarios de Bolivia.

Placeres aluviales y eluvial-diluviales de estaño, son económicamente importantes después de los sulfuros. Los placeres de estaño en algunas regiones están relacionados con la erosión de cuarzo primario-casiterita y parcialmente de la formación de pegmatitas (Malaya, Indonesia, China, Burma, Tailandia, Nigeria, República de Congo).

2.3 CLASIFICACION GENERAL DE DEPOSITOS DE ESTAÑO.

Según Hosking, K.F.G., 1974.

- 1.- Diseminaciones
- 2.- Pegmatitas
- 3.- Skarn (depósitos "pirometasomáticos")
- 4.- Greisen-vetas y otros mineralógicamente similares a los de vetas-chimeneas.
- 5.- Filones de tipo el Cornish
- 6.- Depósitos de reemplazamiento ("metasomático"), de dimensiones modestas, que no puede ser satisfactoriamente situados en algunos de los otros grupos.
- 7.- Telescopio, depósitos mineralógicamente complejos (depósito "Xenotermal").
- 8.- Depósitos de sulfuros masivos.
- 9.- Depósitos de tipo Mexicano (es decir yacimientos asociados con rocas volcánicas), ("epitermal" o depósitos "fumaro---la").
- 10.- Depósitos sedimentarios estanníferos con alteración posterior (metamorfoseado).
- 11.- Placeres "modernos"

Presenta el mismo énfasis de las clasificaciones anteriores.

2.3.a. ACUMULACIONES DE PLACERES ESTANNIFEROS.

Según Hosking, K.F.G. 1974.

1. Depósitos eluviales (Kulit).
2. Acumulaciones en valles altos y planos (eluvial/coluvial). Gos Moor, Cornwall.
3. Acumulaciones (aluvial, etc.) por contacto entre granito - caliza y placeres con plataforma Karstica-Malasia.
4. Placeres en cavernas carbonatadas-Kaki Bukit, Malasia.
5. Fases de sobrelavado estanníferas-Gambana, Malasia.
6. Placeres eluvial-coluvial-Nigeria.
- 6A. Depósitos de flujo aluvial cubierto por sedimentos "recientes"- SE del cinturón estannífero asiático.
7. Esker estanníferos-Ejemplos (?)
8. Yacimientos profundos debajo de los depósitos glaciales - New Brunswick (?)
- 8A. Relación morrena-Sn-Bolivia.
9. Minas explotadas (placeres hechos por el hombre)-Cornwall.
10. Explotadas-placeres derivados-Red River, Cornwall
11. Explotadas-placeres derivados en la playa-Gwithiam, Cornwall.
12. Explotadas-placeres derivados de ambiente submarino-Gwithiam-Cornwall.
13. Placeres aluvial, etc., derivado de origen primario de colinas graníticas (u otro) - Malasia.
14. Placeres triturados a lo largo de los filones de estaño en -- suelo de valle-Depósito de Bangka.
15. "Yacimientos profundos" debajo de los basaltos-Nigeria; - - - Australia.
16. Placeres de playa: Casiterita de depósitos primarios en escarpes adyacentes-Cligga, Cornwall. Cape York, Australia.

- 16A. Placeres de playa: Casiterita, transportados por ríos de origen interno (es decir de tierra adentro)-Península Burma.
- 17 . Placeres de playa en relieve-Cornwall; Bangka.
- 18 . Placeres de terraza-Ejemplo (?)
- 19 . Placeres de lacustre-Loo Pool, Cornwall.
- 20 . Placeres de estuario-Al Este de la costa de Burma.
- 21 . Placeres submarinos en drenajes anegados-Bangka.
- 22 . Placeres submarinos en playas sumergidas-Al SE del cinturón es tannífero asiático.
- 23 . Placeres submarinos (eluvial/coluviol/aluvial), derivados de - fuentes primarias sumergidas-Singkep/Bangka.
- 24 . Placeres antiguos (+-metamorfoseado)-Madagascar; Brasil.

2.4 TIPOS DE DEPOSITOS FILONIANOS ESTANNIFEROS

Según Sainsbury y Hamilton, 1967.

La mayoría de los depósitos de estaño pueden estar clasificados como uno de los siguientes tipos:

1. Pegmatitas.
2. Depósitos de contacto metamórfico.
3. Depósitos hidrotermales-pneumatolítico.
4. Depósito de plata-estaño o subvolcánico.
5. Depósito de "Fumarola".

Las pegmatitas asociadas con granitos, frecuentemente contienen casiterita asociada a columbita, tantalita y otros minerales raros. La mayor parte de las pegmatitas productivas descansan en rocas precámbricas. La importancia económica se ha incrementado por la presencia de minerales tales como la espodumena, berilo y columbita-tantalita, y está influenciada por el grado y profundidad del intemperismo, que puede aumentar el valor del mineral (Manono Congo; Minas Gerais, Brasil).

Los depósitos de contacto metamórfico son raros y generalmente consisten de casiterita o malayaíta en tactitas cercana a los granitos. Estos depósitos también contienen granate, magnetita, piroxeno, fluorita, varios sulfuros y minerales de berilio. El contenido de estaño generalmente es menor de 0.5 % (Los River, Alaska).

En los depósitos hidrotermales-pneumatolíticos, los cuerpos están cerca del granito de biotita y son generalmente filones reemplazados o fisuras rellenas en diversos tipos de rocas regionales. Debido al zoneamiento regional, los depósitos individuales varían mucho en mineralogía. En -

los granitos, los filones contienen casiterita en greisen o rocas de cuarzo-topacio-turmalina que además pueden contener numerosos sulfuros de metales comunes y wolframita. Más alejado del granito, los filones contienen estannita y otros minerales complejos de estaño (Cornwall, Inglaterra).

El depósito de plata-estaño o subvolcánico consiste de vetas de masas volcánicas de dacita, latita de cuarzo, riolita (o granito de biotita). Estas vetas contienen, además de casiterita, un alto porcentaje de minerales sulfurosos con contenido de Sb, Ag, Bi, As, Pb, Zn. El intenso telescopio de los depósitos como una consecuencia del depósito cercano a la superficie ha dado como resultado una complejidad mineralógica de los yacimientos creando un problema en recuperación de estaño (Depósitos Bolivianos de edad terciaria).

Los depósitos de tipo de "fumarola" son localmente extensos pero de valor económico pequeño. Ellos forman vetas de rellenos de fracturas en lavas terciarias y contiene casiterita generalmente intercrecida con hematita "especular". Las vetas están bordeadas por rocas caolinizadas donde la casiterita se presenta distribuida como granos muy finos. Ninguna de estas vetas han sido minadas comercialmente, pero en México pequeños placeres derivan de la erosión de tales vetas como si fuera minado.

La casiterita se encuentra diseminada en algunos granitos, es muy frecuente en las zonas marginales. El granito puede reflejar varios tipos de alteración tales como turmalinización, la formación de topacio o fluoritización y puede contener otros minerales raros tales como columbita y zircon. Aunque ninguno de estos depósitos son comerciales, en áreas de erosión profundamente tropical, dan origen a grandes y ricos depósitos de placer (SE de Asia).

2.5 CLASIFICACION.

Según Lindgren, 1933.

- 1.- Placer de casiterita.
- 2.- Depósitos de Temperatura Intermedia, llamados "Mesotermales" por Lindgren.
- 3.- Depósitos de Alta Temperatura, llamados "Hipotermales" por Lindgren.
- 4.- Depósitos Pirometasomáticos.
- 5.- Depósito mineral de los diques pegmatíticos.
- 6.- Depósitos formados por mezclas de magmas.

Para Lindgren, en los placeres de casiterita los minerales acompañantes son turmalina, topacio, y wolframita que son en su mayoría muy comunes -- (Nigeria, Australia).

Los depósitos metalíferos formados a una temperatura intermedia, con aguas termales ascendentes y una relación genética con rocas intrusivas, tienen vetas de Sn-Ag, (Bolivia).

Las vetas y depósitos de reemplazamiento (excepto los depósitos de -- contacto metamórfico) formados a una temperatura y presión altas y una relación genética con rocas intrusivas que existen en vetas de casiterita, wolframita y molibdenita (Cornwall, Inglaterra).

En las pegmatitas ácidas, la casiterita es muy común en su mayor parte.

Entre los minerales de valor durante la consolidación del magma se -- tienen: diamante, platino, cromita, ilmenita, pentlandita, pirita, calcopirita, molibdenita y apatita.

2.6 CLASIFICACION

Según Routhier Pierre, 1963.

1.- En rocas sedimentarias

** Placeres de tipo eluvial (W, Sn) y aluvial (Sn) - Erzgebirge; Malasia; Indonesia.

2.- Asociados a plutones graníticos, en ocasiones sintectónicos, lo más ha menudo postectónicos. Intra y peri-plutónicos.

** Tipo de filones, stockworks; en ocasiones en chimeneas, en el interior de la periferia de granitos-Depósitos ácidos hipotermales.
A menudo greisen (esencialmente pobre en casiterita)-Cornuailles; Abbaretz; Kiangsi.

** Tipo de pegmatitas-NE de Brasil, Malasia, Montebras.

** Tipo pirometasomático en tactitas (skarns)-Erzgebirge; Perak (Malasia).

3.- Asociados a rocas volcánicas y subvolcánicas.

** Filones en lavas (riolitas, dacitas, latitas, andesitas), --- stocks en formaciones de rocas sedimentarias. - Llallagua - - (Bolivia).

** Principalmente en rocas terciarias - "Tipo boliviano". Teles copeo, zoneamiento hipogénico, marcado en zoneamiento supergénico (cementación argentífera).- Potosí, Oruro (Bolivia).

2.7 CLASIFICACION PROPUESTA (1991)

ROCAS SEDIMENTARIAS:

1.- PLACERES.

- ALTERADOS "IN SITU": Eluvial
- ACARREADOS
 - * POR GRAVEDAD: Diluvial
 - * POR AIRE: Eólico
 - * POR AGUA:
 - RIOS - Fluvial
 - PENDIENTES - Proluvial
 - PLANICIES - Aluvial
 - LAGOS - Lacustre
 - PIAYAS - Lateral
- Placeres Antiguos.

ROCAS IGNEAS

2.- ASOCIADOS A ROCAS PLUTONICAS GRANITICAS ALCALINAS Y CALCOALCALINAS.

- INTRAPLUTONICO
 - * DISEMINADO
 - * FILONES, STOCKWORKS, EN OCA--NES EN CHIMENEAS.
- PERIPLUTONICO CON ZONEAMIENTO
 - * PEGMATITAS ACIDAS ESTANNIFE--RAS.
 - * SKARNS (PIROMETASOMATISMO) (Granates, calcoalcálinos)
 - * ROCAS HIPASIBLES (Alaskitas) (Microgranitos)
 - * PNEUMATOLITICOS (Greisen) (Turmalina)

3.- ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS

-IGNIMBRITAS

4.- ASOCIADOS A ROCAS SUBVOLCANICAS

-CON TELESCOPEO * Filones en rocas riolíticas (microgranitos)

En la clasificación propuesta, se tiene el mismo énfasis con las clasificaciones anteriores, pero ésta se elaboró de una manera más generalizada y con una estructura, de acuerdo a las investigaciones más recientes de diversos autores para los yacimientos estanníferos.

Para el caso de los placeres estanníferos, se muestra un esquema de su distribución (Fig. 2.7.1.); los placeres eluviales constan de material con fragmentos gruesos no clasificados, en el cual el contenido del mineral valioso es próximo a su concentración en la fuente original; este tipo de placeres es producto de la meteorización física y química por el agua pluvial. Para el caso de placeres diluviales, se forman bajo la acción de los desplazamientos gravitacionales seculares del material clástico no compactado, cuya longitud varía decenas hasta algunas centenas de metros, raras veces la exceden.

Los placeres proluviales se forman en el complejo de depósitos no consolidados, que se acumulan al pie de los montes, debido al acarreo del material clástico de las pendientes por corrientes de aguas temporales, son característicos para ellos conos de deyección. Sin embargo, en los placeres aluviales que se forman en las planicies, se tienen diferentes estructuras que pueden ser: de barra, de cauce, de valle, de terrazas o de delta.

Otros tipos de placeres que favorecen la acumulación de minerales de estaño, se tienen placeres laterales que se forman en las playas marinas y placeres eólicos producto del intemperismo y transporte por aire.

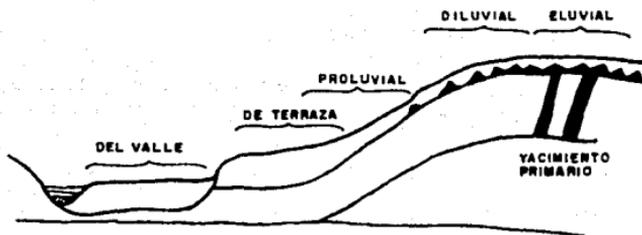


FIG. 2.7.1. ESQUEMA DE LA DISTRIBUCION DE LOS PLACERES DE DISTINTAS CLASES EN LA SECCION TRANSVERSAL DEL VALLE FLUVIAL.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISTRIBUCION DE LOS PLACERES

ABAD R.V.	MARTINEZ R. S.
BUSTOS R.F.M.	RIOS V J R.
CORONA G. J. J.	SOTO P. E. A.

TESIS PROFESIONAL 1981.

BIBLIOGRAFIA.

- HOSKING, K. F. G., 1974. The search for deposits from which tin can be -- profitably recovered now and in the foreseeable future. Fourth World Tin Congress, Kuala Lumpur. Preprint.
- JENSEN, M. L. and BATEMAN, A. M., 1981. Economic Mineral Deposits. John -- Wiley & Sons., New York, 593 p.
- LINDGREN, W., 1933. Mineral Deposits. McGraw-Hill Book Company Inc., New York and London, 930 p.
- MAGAK'YAN, I.G., 1968. Ore deposits. Tin. International Geological - - Review. Vol. 10, pp. 108-121.
- ROUTHIER, PIERRE, 1963. Les Gisements Metalliferes Geologie Et Principes- de Recherche. Masson ET Cie Editeurs, Paris, Tome II, pp. - - 872-1282.
- SAINSBURY, C. L. and HAMILTON, J. C., 1967. The Geology of Lode tin depo- sits. A technical conference on tin. London, International -- Tin Council. Vol. 1, pp. 314-346.

C A P I T U L O III.

3.- MODELOS PROPUESTOS PARA LOS DIFERENTES YACIMIENTOS DE ESTARÓ.

3.1. MODELO ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS ACIDAS.

3.2. MODELO EN ROCAS HIPABISALES ACIDAS CON TELESCOPEO, TIPO BOLIVIA.

3.3. MODELO ASOCIADOS A ROCAS PLUTONICAS.

3.4. MODELO DE YACIMIENTO DE PLACER, TIPO GUADALCAZAR, S.L.P., MEXICO.

BIBLIOGRAFIA.

3.1 MODELO ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS ACIDAS

3.1.1. PARAGENESIS:

A menudo se presentan fisuras en rocas volcánicas ácidas con un relleno formado por abundante especularita y menor cantidad de casiterita, frecuentemente en forma de costra. La casiterita rara vez se presenta en pequeños cristales bien formados, lo más común son masas laminares o fibrosas o en forma de riñones, conocidos localmente con el nombre de "güijalos". Ambas variedades tienen una dureza mayor a la del acero; además, todos están ligados íntimamente con la especularita en la forma de intercrecimiento, hasta que localmente la primera reemplaza pseudomórficamente a la última; ésta relación entre los dos minerales es tan estrecha que en ocasiones no pueden separarse completamente el uno del otro, mediante la molienda hasta 200 mallas, ni aún a 500 mallas.

En los laboratorios de "U.S. Geological Survey", fueron analizados espectrográficamente por George Steiger, los concentrados que se coleccionaron en cinco regiones estanníferas. Se buscaron los elementos siguientes: plomo, zinc, antimonio, plata, berilio, arsénico, boro, tungsteno y germanio. Todas estas muestras contenían uno o más de los elementos mencionados salvo tungsteno y germanio que no se encontraron.

Los metales descubiertos por los análisis se presentan quizá en minerales no reconocidos o en los constituidos por granos de tamaño microscópico; o bien pueden reemplazar una parte del hierro de la especularita.

Es evidente que ninguno de los elementos metálicos se combina con el azufre en forma de sulfuros, pues es mínima la cantidad de este metalofide en las vetillas y en los revestimientos en forma de costra; sin embargo, algunos de ellos pueden formar parte de los minerales raros de arsénico, --tal vez incluidos dentro de los riñones, como sugirió también Genth, (1887), en su estudio de la casiterita en Durango. Es probable que se hayan depositado juntos o casi al mismo tiempo, los minerales que están enlazados en --costras, es decir la especularita, magnetita, casiterita, topacio, sanidino, cristobalita, tridimita y una parte de cuarzo (FOSHAG, W. F. Y FRIES, C., - 1946).

El tamaño que presentan los minerales es del orden de 0.4 a 133 micras con un promedio de 7.49 micras. En otras partes se encuentran rellenando cavidades, brechas de diseminación considerables con mineralización de estaño (TORRES, S.G. Y LOMELI, L.F., 1983).

3.1.2 DATOS ECONOMICOS DE YACIMIENTOS EN ROCAS VOLCANICAS ACIDAS.

La economía de los yacimientos de estaño en rocas volcánicas ácidas en México está en la explotación que se efectúa en excavaciones angostas en finas vetillas.

La anchura de la mayoría de las obras en las minas, no excede la amplitud necesaria para que un hombre pase con dificultad; los ensanchamientos únicamente se han encontrado en las bolsas mineral rico. Aunque se dice que algunas minas han rendido hasta 50 toneladas de estaño metálico bien puede calcularse que pocas han producido más de 5 toneladas.

El mineral obtenido mediante el cateo de las vetas se tritura a mano y se lava o se concentra con plantillas de tierra o bateas de madera, - aunque en algunos minerales se pierde quizá el 50 % de la casiterita durante el lavado; o probablemente, la recuperación media es algo mayor, ya que los mineros tienen mucha práctica en el proceso. Los concentrados consisten casi en su totalidad de casiterita y especularita con una variedad desde el 15 al 70 % de estaño, o sea un promedio de 45 % a pesar de que algunos riñones de casiterita casi pura ensayen hasta 75 % de estaño, la mayoría tienen alrededor de 65 % y no hay ninguno que esté completamente libre de hierro. Hay pocos datos acerca de la producción de estaño, así como la ley de las menas procedentes de los yacimientos explotados en una escala algo mayor de la ordinaria; pero los datos que han obtenido bastan de todos modos, para demostrar que no ha resultado costeable en ningún caso, tal tipo de explotación.

Según Ingalls (1896) en FOSHAG, W. F. Y FRIES C., (1946), hace un comentario acerca de la riqueza de los yacimientos de estaño en Durango. "La ilusión acerca de las riquezas extraordinarias de los campos de estaño en Durango, se debe principalmente a los ensayos practicados sobre los ejemplares notables de riñones de casiterita, que allá se encuentran". -- Aunque se han explotado varias vetas pequeñas en la región de Cacaria, en San Luis Potosí, no fue intentada nunca su explotación en gran escala.

Según el actual estado de la metalurgia del estaño, es dudoso que resulte costeable la explotación en gran escala de cualquiera de los yacimientos de estaño en las rocas de ignimbritas; el valor futuro de estos yacimientos dependerá del desarrollo de métodos eficaces y baratos para -

el beneficio de los minerales de baja ley, mediante plantas que debido al tamaño reducido de cada uno de los yacimientos tendrán que ser pequeñas y fácilmente transportables.

Las minas son trabajadas principalmente por gambusinos, sus explotaciones son irregulares y tienen escaso desarrollo a profundidad; en la mesa central la cuantificación de reservas se ha dividido en dos grupos: - el primero corresponde a los minerales contenidos en las diversas minas, y el segundo a los yacimientos de las ignimbritas que contienen estaño diseminado.

Las reservas de las minas se han cuantificado con base en los muestros y en los levantamientos topográficos desarrollados, como se ha hecho notar en los campos mineros de Durango; las reservas estimadas pueden considerarse, en todos los casos como "reservas posibles". En los yacimientos de Ignimbritas que contienen estaño diseminado se ha hecho también una cuantificación preliminar que debe tomarse solamente como un inicio de las posibilidades de estos depósitos.

La aproximación de ambas determinaciones se estima como sigue:

	En minas	En ignimbritas estanníferas.
Tonelaje en yacimientos aislados	50 %	30 %
Leyes medias en yacimientos aislados	40 %	30 %
Tonelaje del conjunto de yacimientos	75 %	50 %
Leyes medias del conjunto de yacimientos ..	75 %	40 %
Toneladas de mineral posible	88,317 Ton.	524,515 Ton.

	En minas	En ignimbritas estanníferas.
Ley media del estaño	0.468 %	0.327 %
Contenido de estaño	41,332 Ton.	171,516 Ton.

Las reservas posibles de mineral de estaño cubicadas en las diversas minas son del 88,317 toneladas de ley media de 0.468 % de estaño y un contenido total de 41,332 toneladas de este metal. Las reservas posibles de estaño diseminado en las ignimbritas, dieron 524,515 toneladas con una ley de 0.327 % de estaño y un contenido de 171,516 toneladas de este metal (BRACHO, V. F., 1961).

3.1.3. ROCA ENCAJONANTE: ASOCIACIONES LITOLÓGICAS PRINCIPALES.

Los yacimientos de estaño se conocen en más de 19 estados de la República Mexicana; se encuentran situados en su totalidad en la Mesa Central en la que abundan las rocas volcánicas, desde la frontera con los Estados Unidos hasta el límite sur del estado de Puebla.

La formación más antigua en las regiones mencionadas es generalmente la caliza del Cretácico Inferior; la edad de las ignimbritas es del Terciario, del Mioceno al Plioceno, las ignimbritas del Mioceno cubren toda el área de la sierra en la que se encuentran los yacimientos estanníferos. En los yacimientos del estado de Zacatecas se definen estructuralmente la existencia de diques riolíticos, que penetran en las formaciones de ignimbritas y de todas riolíticas formadas al tiempo de las emisiones de lava-- que se caracterizan por ser del tipo de ignimbritas cuarcíferas o silicificadas.

Las formaciones piroclásticas, brechas y todas de origen piroclásticas alternan con las formaciones de ignimbritas.

Sus afloramientos más importantes se encuentran en las áreas marginales de las sierras y son las más escasas de las áreas de los yacimientos que están en las zonas centrales, otras formaciones intrusivas se extienden en forma de sills y forman riolitas cuarcíferas asociadas con -- cuarzo de origen hidrotermal (FOSHAG, W. F. Y FRIES, C., 1946; BRACHO, -- V. F., 1960).

3.1.4. ESTRUCTURAS.

El estaño se presenta en vetas, vetillas, brechas mineralizadas - diseminadas. En las fracturas tienen por lo general rumbos y echados muy diversos y cambian de un lugar a otro; a veces se angostan en tramos cortos para formar solamente juntas estériles; en ocasiones, las vetillas se ramalean en varias direcciones y se reúnen con otras fracturas o fisuras- paralelas o divergentes, el espesor de revestimiento en las costras varía notablemente en una misma grieta, generalmente menor de 13 milímetros, -- aunque se han extraído algunos lentes con espesores hasta 25 centímetros, localmente el mineral de estaño se ve solamente en las angostas ramificaciones de las fracturas principalmente forman vetas compuestas con un es pesor hasta de 1.5 metros, la longitud de los filones formados por la -- reunión de vetillas sólo excepcionalmente excede de 6 metros y su profun didad no es mucho mayor.

Los minerales de las vetillas se forman en su mayoría dentro de- fracturas abiertas, aún cuando localmente se presentan también en los -

respaldos, llenan las cavidades y pequeñas oquedades de la roca, o bien reemplazan ligeramente a la roca encajonante.

No se ha encontrado ningún cuerpo grande en que se presente los minerales metálicos diseminados con uniformidad; al contrario parecen limitarse a la vecindad inmediata de las grietas con costras que penetran en los respaldos, comúnmente hasta 5 centímetros a partir de ellos.

Las vetillas se encuentran reducidas a pequeñas cintas de un centímetro de casiterita casi pura y están encajadas en las ignimbritas sanas o en espesores hasta de 10 centímetros, con un relleno arcilloso que incluyen los minerales de estaño en riñones; sus echados son siempre verticales o muy próximos a la vertical, ocasionalmente vienen con echados hasta de 45°, y algunos son persistentes al rumbo y se han llegado a reconocer en más de 200 metros hasta 80 metros de profundidad con las mismas características.

Existen yacimientos de estaño en vetas que pueden identificarse claramente como fracturas de falla.

Las vetillas se presentan con un espesor de unos cuatro centímetros, encajonados en los bloques de ignimbritas y materiales piroclásticos de composición ácida. Ocasionalmente aparecen vetas de mayor espesor y concentraciones estanníferas en la intersección de éstas, la distribución de este tipo de mineralización estuvo controlada por una serie de fracturas originadas por el enfriamiento. Tiene una mineralización más abundante, con potencias de 60 centímetros y con jaboncillos y brechas de falla frecuentemente caolinizados, hay otros tipos de yacimientos en vetas de potencia media de 50 centímetros con respaldos bien definidos y echados -

verticales que tienen relleno de brecha ignimbritica con cantos de 10 a 15 centímetros.

3.1.5. GENESIS.

Estos yacimientos están asociados fundamentalmente a erupciones volcánicas. Los magmas ácidos son expulsados al exterior donde las lavas presentan una alta viscosidad y por lo cual tienden a formar nubes ardientes, mismas que están formadas por materiales piroclásticos de alta temperatura, gotillas de lava líquida, fragmentos de roca y una mezcla turbulenta de gases que son arrojados en forma explosiva a partir de un cráter o fisura.

El material sólido es un flujo de cenizas que no esta clasificado y aunque predominan las partículas del tamaño de las cenizas, contienen además cantidades variables de lapilli y bloques, formando un depósito consolidado llamado ignimbritas.

Según JUNG, J., (1977), las ignimbritas se encuentran parcialmente recristalizadas (vistas al microscopio), durante el período de emanación de los gases calientes que en ellas están contenidos en el momento de su depósito, en los cuales se encuentran fragmentos de vidrio, fragmentos angulosos de diversos cristales de minerales y cenizas volcánicas. -- Las gotas de vidrio pueden desvitrificarse para formar esferulitas, por lo general de sanidina y de cristobalita.

Las ignimbritas son en la mayoría de los casos producto de enfriamiento rápido constituidas cada una por varias unidades. Por tanto, una unidad presenta características propias; en las formaciones jóvenes-

sin litificar por diagénesis o que no han sufrido metamorfismo, en sus -- partes superior e inferior, están constituidas a menudo por piroclastos - sin soldar, ya que aquella se mezcla al aire frío y ésta se enfría rápidamente en contacto con el substrato; la zona en donde las partículas se ha llan más soldadas se sitúan en la mitad inferior de la unidad, que es donde de la temperatura permanece elevada durante el mayor tiempo posible.

Esta distribución de la temperatura explica la anisotropía de --- ciertos fenómenos que se producen durante el emplazamiento y que conducen a la cristalización parcial o completa de los piroclastos vítreos. Los - gases que constituyen una parte del sistema, son liberados durante el em- plazamiento y se escapan a la superficie por conducto fumarólicos.

La concentración de ciertos elementos puede conducir a la forma-- ción de depósitos de minerales.

El contenido de minerales de estaño que se encuentran en las soluciones ha sido por la pérdida de presión y temperatura, lo cual podría -- ser la fuente principal del estaño el mismo magma ácido y en general los - criaderos de estaño, están asociados estrechamente con rocas ácidas y en su mayoría de los yacimientos se encuentran asociados a dichas rocas ---- ácidas.

3.1.6. EJEMPLOS:

Algunos ejemplos de las regiones estanníferas de la República - -
Mexicana.

LOCALIDAD	MINERALES EN LAS VETAS	ALTERACION
Mina los Cabires Tepuxtepec, Mich.	Magnetita, Especularita, Cuarzo, casiterita, Opa- lo, Cristobalita, Tridi- mita, Montmorillonita.	En parte altamente porosa, - con zeolitas y cantidades - menores de minerales arcí- llosos, fenocristales no al- terados.
Región sobre el - camino de Gto., a Dolores, Hidalgo, Gto. a 24Km al -- occidente de la - última.	Magnetita, Especularita, Casiterita, Cristobali-- ta, Tridimita, Cuarzo, - Opalo, Zeolitas, Montmori- llonita.	En parte muy porosa con al- gunas zeolitas y cantidades menores de minerales arcí- llosos, fenocristales no al- terados.
Región entre San- Felipe y León, -- Gto. a 3 Km al -- oriente de Tlachi- guera.	Magnetita, Especularita, - Casiterita, Cristobalita, -- Tridimita, Calcedonia, -- Cuarzo, Opalo, Arcillas.	En parte porosa; roca gene- ralmente fresca.
Región del cerro- del toro, al NE - de Tlachiquera, - sobre el camino - de San Felipe a - León, Gto.	Magnetita, Especularita, - Casiterita, Arcillas.	En algunas partes la plagioclasa está alterada en una mezcla de cuarzo y arcillas pero el sanidino es fresco. Junto a ciertas vetas la roca es algo porosa.
Región a 16 Km al norte de San Felipe, Gto.	Magnetita, Especularita, Casiterita, Cristobalita, Topacio, Tridimita, Cuarzo, Calcedonia, Opalo --- Arcillas.	Una parte de la roca de los respaldos es porosa y la matriz contiene algo de arcillas una veta fue fracturada y cementada con ópalo y calcedonia; los feldspatos están frescos.

FOSHAG, W.F. Y FRIES, C., (1946).

Algunos ejemplos de las regiones estanníferas de la República - -

Mexicana.

LOCALIDAD	MINERALES EN LAS VETAS	ALTERACION
Mina Queensland, cerca de Santa Bárbara, Gto., - al norte de San Felipe.	Magnetita, Especlarita, Casiterita, Tridimita, Cuarzo, Opalo, Calcedonia, Arcillas.	Roca generalmente maciza y compacta junto a las vetas, pero en parte porosa, algunas arcillas en la matriz, fenocristales no alterados.
Mina El Santín, cerca de Santa-Catarina Gto., - al SE de San Luis de la Paz.	Magnetita, Especlarita, Casiterita, Tridimita, - Cuarzo, Zeolitas, Opalo, Montmorillonita.	Los fenocristales de plagioclasa en parte alterados en arcillas; en algunas zonas los feldespatos de la matriz fuertemente alterados, no todos los respaldos alterados; zeolitas localmente presentes.
Región de la Hacienda de la Sauceda, a unos 40 Km al norte de San Luis de la Paz, Gto.	Magnetita, Especlarita, Casiterita, Tridimita, - Cuarzo, Opalo, Calcedonia.	Roca algo porosa junto a ciertas vetas; algunas arcillas en la matriz, fenocristales no alterados.
Región sobre el camino de San Luis Potosí a San Luis de la Paz, entre santo Domingo, - S.L.P., y la Jaula, Gto.	Magnetita, Casiterita, - Casiterita, Calcedonia, - Opalo, Montmorillonita.	Algunos fenocristales casi-completamente alterados en caolín una porción de la biotita alterada en clorita; montmorillonita y otras arcillas, incluyen tal vez zeolitas, en la matriz.
Región a 16 Km al SW de Calvillo, Ags.	Magnetita, Especlarita, Casiterita, Calcedonia, - Cuarzo, Opalo.	Roca de los respaldos de algunas vetas altamente porosa; ciertas vetas ligeramente fracturadas y cementadas con calcedonia y ópalo algunas arcillas en la matriz de la roca porosa.

FOSHAG, W.F. Y FRIES, C., (1946).

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Algunos ejemplos de las regiones estanníferas de la República - - Mexicana.

LOCALIDAD	MINERALES EN LAS VETAS	ALTERACION
Area junto a - las ruinas arqueológicas de la Quemada, -- Zac., a unos - 64 Km al SW de la ciudad de - Zacatecas.	Magnetita, Especularita, Casiterita, Tridimita, -- Cuarzo, Opalo, Calcedonia.	No se observó ninguna alteración y los fenocristales están enteramente frescos.
Región a 40 Km al NE de Fresnillo, Zac.	Magnetita, Especularita, Casiterita, Cuarzo, Opalo, Calcedonia.	Roca de los respaldos de - algunas vetas porosa; algo de arcillas posiblemente - en la matriz, fenocristales no alterados.
Región del Cerro de los Remedios, al lado occidental de la ciudad - de Durango.	Magnetita, Especularita, Casiterita, Sanidino, Cristobalita, Tridimita, Cuarzo, Calcedonia, Opalo, Fluorita, Montmorillonita.	Una porción de la roca porosa una parte de la matriz alterada en arcillas y con fluorita algo de la Tridimita convertida en -- cuarzo; ciertos cristales de sanidino alterado en arcillas, pero la mayoría de los fenocristales no alterados.
Región de Potrillos en la Sierra de San Francisco a -- 160 Km al ---- nor-noroeste - de la ciudad - de Dgo.	Magnetita, Especularita, Casiterita, Topacio, --- Opalo, Sanidino, Cristobalita, Duranguita, Tridimita, Calcedonia, Zeolitas, Fluorita, Arcillas.	Roca generalmente compacta y maciza, pero localmente muy porosa, la última con zeolitas fluorita y minerales arcillosos; fenocristales generalmente sin <u>alterar</u> .

FOSHAG, W.F. Y FRIES, C., (1946).

3.2 MODELO EN ROCAS HIPABISALES ACIDAS CON TELESCOPEO, TIPO BOLIVIA.

INTRODUCCION.

La República de Bolivia se caracteriza por contener una faja estañífera con un rumbo que varía de NW-SE a N-S, dentro de la cordillera de los Andes (Fig. 3.2.1.). Esta faja es una de las provincias metalogénicas más importantes del mundo y alcanza una longitud total de alrededor 1,000-Km, y un ancho de aproximadamente 60 Km.

Bolivia cuenta con el 14 % de la producción mundial de estaño; la mayor parte de éste proviene de yacimientos primarios y en menor proporción de fuentes aluviales. En adicción al estaño, hay producción significativa de tungsteno, plata, plomo, zinc, antimonio, bismuto y oro (GRANT, - J.N.; HALLS, C.; SHEPPARD, M.F., AND AVILA, W., 1980).

Para el análisis de este modelo se tomarán en cuenta los yacimientos minerales de la parte central, por ser los más importantes, de donde proviene la mayor parte de la producción de estaño en Bolivia; se trata de yacimientos tipo-veta asociados a los complejos ígneos ácidos; aunque también existe mineralización tipo-pórfidos de baja ley, que consisten de disseminaciones, vetillas y brechas de casiterita y sulfuros; esta porción -- ocupa una área de alrededor 250km² y está comprendida entre Oruro y Potosí - (TURNEAURE, F.S., 1960)

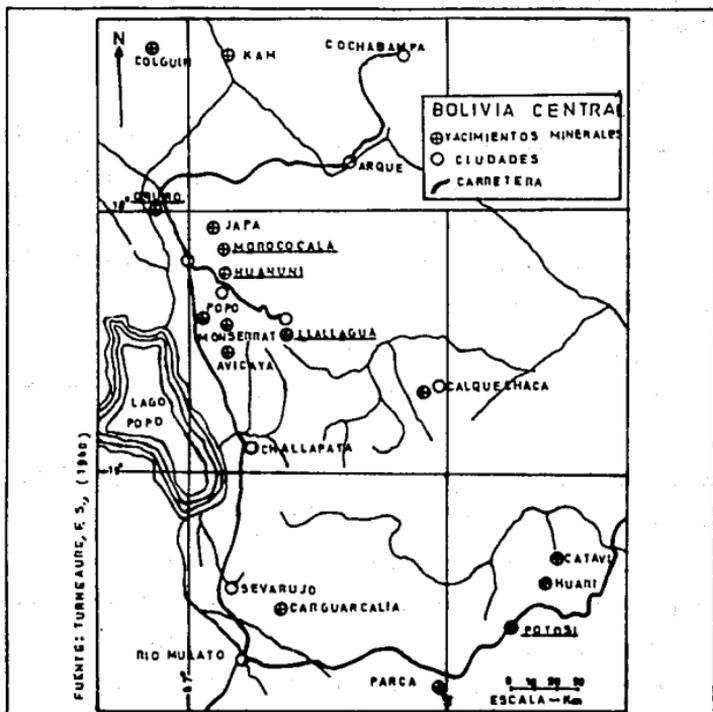


Fig. 133. PLANO ESQUEMATICO QUE MUESTRA LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS MINERALES DE LA FAJA ESTANNIFERA CENTRAL BOLIVIANA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE M.

FACULTAD DE INGENIERIA

Fig. 12.1.

MAPA DE LOCALIZACION

ABAD R.V.

MARTINEZ R.S.

BUSTOS R.M.F.

RIOS V.J.R.

CORONA G.J.A.

SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991

3.2.1. PARAGENESIS.

La paragénesis consta de dos tipos de mineralización; el primero en vetas de estaño y el segundo en vetas de estaño-plata. En el primero, los minerales típicos son cuarzo, casiterita, bismutinita, pirrotita, estannita, marcasita, pirita, siderita y en menor cantidad: teallita y - - franckelita. El segundo consiste de casiterita, pirita, estannita, sulfosales de plomo y plata, alunita y caolinita.

La casiterita está asociada con pirrotita en los minerales de estaño, pero con pirita en los minerales de estaño-plata, un contraste que puede ser relacionado en la concentración sulfurosa del fluido mineral y que puede servir para la prospección minera.

Los minerales de ganga característicos en ambas vetas son: clorita, sericita y cuarzo, en tanto que la turmalina ocurre únicamente en las vetas de estaño y la caolinita y alunita en los de estaño-plata.

Los rangos de temperaturas involucradas señalan de 400 a 500°C -- para el primer tipo, mientras que para el segundo de 100 a 150°C.

En el Potosí, Bolivia, el zoneamiento se caracteriza por una zona central profunda, compuesta de wolframita, bismutinita y casiterita, rodeada por otra de sulfosales de plata y finalmente por una de sulfuros y sulfosales de plomo y zinc.

3.2.2. DATOS ECONOMICOS.

La República de Bolivia ocupa el tercer lugar en la producción de estaño en el mundo, después de Malasia e Indonesia; la mayor parte de su producción proviene de los yacimientos minerales subvolcánicos de Llallagua, Huanuni, Morococala, Potosí y Oruro, asociados al vulcanismo de edad eocénica y al emplazamiento de los pórfidos ácidos de poca profundidad. Aunque muchos datos de la producción provienen de minerales en vetas de alta ley, también se han reconocido en los yacimientos grandes reservas de estaño en minerales tipo pórfidos (SILLITOE, R.N., HALLS, C., AND GRANT, J.N., 1975). Los minerales contienen aproximadamente de 2 a 4 % de estaño; antiguamente y hasta a principios del siglo XX las necesidades industriales ponían como condición una ley mínima del 8 % de estaño; actualmente basta con el 2 % .

El estaño juega un papel importante en Bolivia y se ha convertido, como el cobre para Chile, en la fuente económica principal del país.

Bolivia posee dos fundiciones de estaño en la ciudad de Oruro, -- ambas para minerales de alta ley, donde se procesa sólo el 50 % de su producción; el otro 50 % se exporta como concentrados a las fundiciones de Inglaterra, Estados Unidos y otros países. También se exportan concentrados complejos de estaño con plata, plomo y zinc.

En la Tabla 3.2.1. se presenta una lista de la producción de estaño en Bolivia desde 1978 a 1989.

3.2.1. PARAGENESIS.

La paragénesis consta de dos tipos de mineralización; el primero en vetas de estaño y el segundo en vetas de estaño-plata. En el primero, los minerales típicos son cuarzo, casiterita, bismutinina, pirrotita, estannita, marcasita, pirita, siderita y en menor cantidad: teallita y - - franckeita. El segundo consiste de casiterita, pirita, estannita, sulfosales de plomo y plata, alunita y caolinita.

La casiterita está asociada con pirrotita en los minerales de estaño, pero con pirita en los minerales de estaño-plata, un contraste que puede ser relacionado en la concentración sulfurosa del fluido mineral y que puede servir para la prospección minera.

Los minerales de ganga característicos en ambas vetas son: clorita, serícita y cuarzo, en tanto que la turmalina ocurre únicamente en las vetas de estaño y la caolinita y alunita en los de estaño-plata.

Los rangos de temperaturas involucradas señalan de 400 a 500°C -- para el primer tipo, mientras que para el segundo de 100 a 150°C.

En el Potosí, Bolivia, el zoneamiento se caracteriza por una zona central profunda, compuesta de wolframita, bismutinina y casiterita, rodeada por otra de sulfosales de plata y finalmente por una de sulfuros y sulfosales de plomo y zinc.

T A B L A 3.2.1.
PRODUCCION DE ESTARO EN BOLIVIA
(CONSEJO DE RECURSOS MINERALES, 1989).

AÑOS	TONELADAS METRICAS
1978	30,881
1979	30,000
1980	27,300
1981	29,830
1982	26,000
1983	25,278
1984	25,000
1985	18,000
1986	12,000
1987	9,000
1988	10,500
1989	14,400

3.2.3. ROCA ENCAJONANTE.

La faja estannífera central boliviana está compuesta en gran parte por formaciones paleozoicas, cubierta en algunos lugares por rocas del Cretácico y Terciario. Los yacimientos minerales de Potosí, Llallagua y Oruro están asociados a intrusiones del Terciario Medio (?); principalmente diques y stocks, muy alterados, de composición dacítica o delenítica, de textura porfídica. Estos yacimientos se formaron a poca profundidad, cercanos a un ambiente volcánico. El stock Cerro Rico del Potosí intrusión formaciones paleozoicas y cuerpos volcánicos del Terciario Tardío (?); ocupa una área ovalada de 1,700 m de longitud y 1,200 m de ancho, pero en los niveles inferiores de la mina, pasa a un cuerpo similar a los diques. La profundidad de emplazamiento ha sido calculada en unos 300 m (Lindgren y Creveling, 1928). Los cuerpos del distrito de Oruro, de acuerdo a Chace (1948), se formaron a profundidades que varían entre 150 y 600 m. El stock Salvador en Llallagua, está compuesto principalmente por brechas de pórfidos, ocupa una área de 1,730 m de longitud por 1,050 m de ancho, pero en el nivel 650 m de la mina, las dimensiones se reducen a 1,000 m de longitud por 700 m de ancho. La profundidad de intrusión parece ser un poco más grande que el de Potosí y Oruro, pero no excede los 1,000 m. En Huanuni y Morococala sólo ocurren diques pequeños que son cortados por las vetas de estaño. Varios registros estratigráficos realizados por Kelly y Turneaure (1970), indican que los minerales subvolcánicos de esta zona se encuentran a profundidades de 350 a 2,000 m con presiones totales de aproximadamente 30 a 500 bars.

En toda la zona central de la faja estannífera predominan las for

maciones sedimentarias paleozoicas, compuestas en gran parte por lutitas y areniscas, plegadas con una tendencia N-NW, cubierta en algunos lugares por un complejo volcánico, los cuales incluyen aglomerados, brechas de -- grano grueso, lavas y todas asociadas con vegetales de edad Terciario Medio (?). Las rocas ígneas intrusivas del Terciario Medio están compuestas por diques, stocks y pequeños cuerpos de brechas, expuestos en los ni veles inferiores de las minas.

3.2.4. ESTRUCTURAS.

Para la geología estructural se ha elaborado una división entre las características de tipo regional y las características de las vetas y otros elementos estructurales que pertenecen a un período tardío de esfuerzos que siguen a la actividad ígnea.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA REGIONAL.

PLIEGUES.- La estructura andina es la mejor expuesta por las formaciones paleozoicas plegadas con una tendencia N-NW. En los distritos mineros la dirección promedio de las formaciones sedimentarias varían de N a N 85° W. Algunos pliegues son asimétricos con planos axiales inclinados hacia el este u oeste. En Llallagua y Morococala, los ejes de los pliegues de los anticlinales son casi horizontales, pero en el de Huanuni tiene la forma de un domo elongado. Los pliegues con grandes pendientes están constituidos por capas de areniscas, en tanto que los de menor inclinación están constituidos por lutitas, que dan lugar a los grandes valles.

FALLAS.- Las fallas transversales de tipo regional son las más abundantes y normalmente pueden dividirse en varios grupos con direcciones similares (Tabla 3.2.2.). Las fallas longitudinales constituyen una parte importante de la estructura andina, pero sólo se observan en algunos lugares. La dirección de los diques también es importante ya que proporciona un indicio de la forma del fracturamiento. Muchas fallas regionales están consideradas de edad temprana, otras de edad tardía, pero ambas pertenecen a un período tardío de esfuerzos (Tabla 3.2.2.).

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE VETAS Y FALLAS TARDIAS.

Todos los yacimientos minerales de esta zona son de tipo veta -- múltiples; las vetas menos complejas muestran correlaciones con los esfuerzos regionales, pero los de mayor complejidad son el resultado de los esfuerzos regionales combinados con los locales; en cada distrito las vetas también están divididas en varios grupos con direcciones similares -- (Tabla 3.2.3.). En Potosí, Llallagua y Morococala predominan las vetas de dirección NE y sus formas muestran parecidos bien marcados; en tanto que en Huanuni y Oruro las vetas son más variadas en dirección y sus formas no están bien definidas. Aunque ciertas vetas, en cada distrito, -- muestran evidencias de desplazamiento de unos cuantos metros; no existen indicios de una diferencia de tiempo significativa entre los diferentes -- grupos de vetas.

En Llallagua el fallamiento regional de edad tardía parece haberse iniciado en el período del fracturamiento de la veta. Las fallas de edad post-mineral son muy escasas; sólo tres de importancia han sido car-

T A B L A 3.2.2.
ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE TIPO REGIONAL
(TURNEAURE, F.S., 1960).

DISTRITO	ELEMENTOS	Núm.	NORESTE		NORTE		ESTE		NOROESTE	
			Núm.	Promed.	Núm.	Promed.	Núm.	Promed.	Núm.	Promed.
Potosí	Dirección Regional ¹	2							2	N32°W N26°W
	Diques	5	3	N57°E	2	N 3°E				
	Fallas Tem pranas Fallas Tar días.	4			2	N 6°E				
Llallagua	Anticlinal	9							9	N30°W N27°W
	Diques	60	37	N66°E			20	N70°W	3	N31°W
	Fallas Tem pranas Fallas Tar días.	13	5	N44°E			5	N74°W	3	N33°W
Morococala	Anticlinal	1							1	N35°W N40°W
	Diques Fallas Tem pranas	31	26	N59°E			5	N75°W		

CONTINUACION DE LA T A B L A 3.2.2.
ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE TIPO REGIONAL
(TURNEAURE, F.S., 1960).

DISTRITO	ELEMENTOS	Núm.	NORESTE		NORTE		ESTE		NOROESTE	
			Núm.	Promed.	Núm.	Promed.	Núm.	Promed.	Núm.	Promed.
Huanuni	Anticlinal					N15°W				
	Diques ²	18			15	N10°W	3	N74°E		
	Fallas Tem pranas	7			3	N10°E	3	N85°E	1	N67°W
	Fallas Tar dfas.	6					6	N74°E		
Oruro	Dirección									
	Regional ³	11			2	Norte N 3°W	2	N85°W	7	N44°W
	Diques -- Elongados	2	1	N22°E					1	N48°W

- 1 Dirección de los volcánicos Terciarios.
- 2 Dos diques intrusionados en 18 segmentos cortos.
- 3 Dirección de las formaciones paleozoicas.

T A B L A 3.2.3.
GRUPO DE DIRECCIONES DE LAS VETAS.
(TURNEAURE, F. S., 1960).

DISTRITO	G R U P O S	
	DIRECCION	PENDIENTE
Potosí	N 31° E	75° E
	N 53 E	85° SE
	N 6° E	72° E
Llallagua	N 30° E	72° E
	N 55° E	70° SE
	N 6° W	70° E
	N 72° E	73° S
Morococala	N 34° E	75° E
	N 2° E	75° E
	N 45° W	45° NE
Huanuni	N 51° E	50° SE
	N 9° E	73° W
	N 79° E	62° S
	N 41° W	66° NE
Oruro	N 23° E	62° E
	N 55° E	65° NW
	N 1° W	64° W
	N 84° W	70° N
	N 47° W	67° SW

tografiadas en los cinco distritos mineros, dos en Llallagua con dirección N 14° W y pendiente 32° W, otra en Potosí con dirección N 83° E y pendiente 70° N.

La mineralización aparece en forma de filones que rellenan zonas de cizallamiento y fallas normales de desplazamiento ligero. Estos filones son más regulares a profundidad que en la superficie, en donde el fracturamiento ha sido más complejo. Las vetas superficiales están concentradas en los cuerpos intrusivos pero las más profundas aparecen también en las lutitas paleozoicas.

3.2.5. GENESIS.

La formación de los yacimientos de estaño subvolcánicos tipo Bolivia se debe a que una faja magmática, diferenciada a profundidad, proporcionó las rocas volcánicas a intrusivas someras del Altiplano Boliviano. Los esfuerzos provocados por esta actividad ígnea dieron lugar a los fracturamientos por donde ascendieron los fluidos hidrotermales. Los flujos y las tobas estratificadas de El Potosí representan los primeros episodios del vulcanismo, mientras que las intrusiones porfídicas, al igual que la abertura explosiva en Llallagua son manifestaciones más recientes de la actividad ígnea.

Las rocas ígneas intrusivas de la región son poco profundas; de la misma forma, los yacimientos minerales se formaron relativamente cerca de la superficie. La alteración de la roca y la mineralogía de las vetas muestran evidencia de un depósito a temperaturas altas. Además de que la intrusión del magma elevó la temperatura de la zona poco profunda, las so-

luciones minerales mantuvieron la fuente de calor principal. Como las soluciones continuaron fluyendo, la temperatura aumentó gradualmente. Este periodo de temperatura ascendente es correlacionado con la alteración de la roca y el desarrollo progresivo de la clorita, sericita, cuarzo y turmalina; en algunos lugares la alteración fue intensa y penetrante y llegó a destruir conductos magmáticos primarios. Después de la alteración de la roca, continuó el fracturamiento y dió inicio la formación de las vetas. Las temperaturas máximas alcanzadas fueron durante la etapa tardía de la alteración de la roca y la etapa temprana de las vetas, cuando la casiterita fue depositada en abundancia. Posteriormente se depositaron los sulfuros y sulfosales y tomaron lugares en una escala de temperatura-decreciente. La temperatura máxima alcanzada en los yacimientos de estaño-plata fue menor que en los yacimientos de estaño. Probablemente la ebullición local contribuyó a la formación de los fluidos ácidos durante las etapas tardías de mineralización.

En conclusión; los cinco yacimientos minerales descritos, poseen las mismas características y fueron formados a profundidades someras, con rangos de temperaturas que varían entre las típicamente de altas a bajas-temperaturas y son considerados por Routhier (1963), como yacimientos asociados al vulcanismo y subvulcanismo. El grado de telescopia, según --- TURNEAURE, F.S. (1960), es mayor en Llallagua y Huanuni que en Oruro y Potosí. Morococala es considerado como un yacimiento hidrotermal de alta temperatura.

3.2.6. EJEMPLOS.

a).- INTERNACIONALES.

El distrito minero St. Just, Cornualles Inglaterra; la Isla Beilitung, Indonesia; las tres Islas Holandesas de Banka, Billiton y Singkep, - situadas al sur de Malasia; la meseta de Bauchi, Nigeria; el distrito Herberton, Queensland, Australia; la península Seward, Alaska; el distrito -- Kochiu (Yunnan), China; los distritos mineros de Potosí, Llalagua, Morococala, Huanuni y Oruro en Bolivia.

b).- MEXICANOS.

El distrito minero de Santa Eulalia, Chihuahua. En la zona de San Antonio, fue explotado hace varios años un pequeño cuerpo de mineral con - abundante estaño (PAXTON, H.W., 1951; HORCASITAS, A.S. Y SNOW., W.E., ---- 1956). Este cuerpo se presentó asociado mas o menos directamente a un microgranito (localmente se considera pórfido riolítico). Posteriormente, no se ha vuelto a encontrar más mineral de estaño.

3.3. MODELO ASOCIADOS A ROCAS PLUTONICAS.

INTRODUCCION.

Las reservas de depósitos de placer que son comunmente la fuente principal del estaño en el mundo son limitadas, esto significa que en futuro la producción dependerá de yacimientos en macizos rocosos, mismos que se dan en rocas plutónicas; como son los granitos en donde es posible la mineralización en diseminados o en vetas. Una variedad de yacimientos de estaño y wolframio se presentan en el plutón del granito "Mole" dentro del batolito de Nueva Inglaterra, al este de Australia. Estudios de inclusiones fluidas de rocas magmáticas tardías y depósitos minerales hidrotermales indican cambios de presión, temperatura y composición de soluciones hidrotermales y su relación con el cuarzo y otros depósitos minerales, durante la dispersión del calor y de las concentraciones de salmueras producidas por el granito, (EADINGTON, P.J., 1983).

3.3.1. PARAGENESIS.

Después de la cristalización de las rocas magmáticas se produjeron los siguientes agrupamientos de minerales hidrotermales, está enlistados de acuerdo a su temperatura de formación y a las inclusiones fluidas ricas en líquidos:

Minerales de ganga: ortoclasa, biotita, berilo, topacio, fluorita, cuarzo, muscovita, turmalina, microclina, albita.

Minerales de mena: casiterita, wolframita, magnetita, scheelita.

Se presentan de acuerdo a la siguiente secuencia:

1) Complejo pegmatítico; consiste de minerales de grano grueso -- de: ortoclasa, biotita, berilo, topacio, fluorita, cuarzo, muscovita, -- turmalina (gema) ésta se presenta dependiendo de la posición en la secuencia de cristalización. Temperaturas que van de 510°C a 580°C.

2) Mineralización de wolframita diseminada en roca cuarzo-topá -- cica sericitizada. Temperaturas que van de 250°C a 360°C.

3) Vetas de casiterita y cuarzo en granito relativamente inalterado. Temperaturas que van de 350°C a 290°C.

4) Mineralización de casiterita diseminada en los límites de las fracturas y en los cizallamientos de granito sericitizado y cloritizado. -- Temperaturas que van de 350°C a 420°C.

5) Vetas de cuarzo con sulfuros de baja ley bordeados por granito argilitizado. Temperaturas que van de 240°C a 280°C.

6) Vetas angostas de cuarzo y adularia que entrecruzan yacimientos hidrotermales más jóvenes. Temperaturas que van de 290°C a 350°C. -- (EADINGTON, P.J., 1983).

Se presentan alteraciones supergénicas como: silicificación, turmalinización y sericitización.

A la secuencia mineralógica anterior se le denomina zonificación mineral o zoneamiento; la región de Cornualles, Inglaterra, ofrece el --- ejemplo más antiguo y mejor conocido (BATEMAN, A.M., 1957), donde las vetas superficiales de plomo argentífero en la zona epitermal y mesotermal -- que contienen entre otros elementos: antimonio (estibinita), bario - - -

(barita), zinc (blenda), plomo (galena), fluor (fluorita), sílice (cuarzo); pasan a vetas de cobre ya en la zona hipotermal donde se presentan además de fluorita y cuarzo; arsenopirita, calcopirita y wolframita, por último a mayor profundidad pasan a vetas de estaño en la zona neumatolítica, en la que se encuentran además de los minerales anteriores: turmalina, feldespatos, lepidolita y casiterita, esta última zona se desarrolla en el granito (fig. 3.3.1.).

3.3.2.- DATOS ECONOMICOS DEL YACIMIENTO, POSIBILIDADES, CRITERIOS QUE MARCAN LA IMPORTANCIA DEL MODELO.

Durante mucho tiempo Cornualles Inglaterra fue el distrito estannífero más famoso del mundo (BATEMAN, A.M., 1957). En la actualidad al menos 150 minas están registradas en la estructura granítica y rocas que la rodean que contienen estaño, wolframio, cobre, plomo y zinc. Las vetas conocidas se estima que contienen de 100,000 a 250,000 toneladas métricas de mineral de estaño con un promedio del 2 % al 4 %. Hay también pequeñas minas con porcentajes de 10 % a 20 % de estaño para minería selectiva de gambuzínaje (EADINGTON, P.J., 1983).

Una de las principales características económicas de estos depósitos está en el relleno de fisuras, las vetas estanníferas generalmente -- son más comunes sobre las márgenes de las masas graníticas en donde el fisuramiento es más pronunciado. La mayoría del suministro de minerales de estaño en el mundo se obtiene del contacto de vetas graníticas (MANTELL, C.L., P.H.D. 1929).

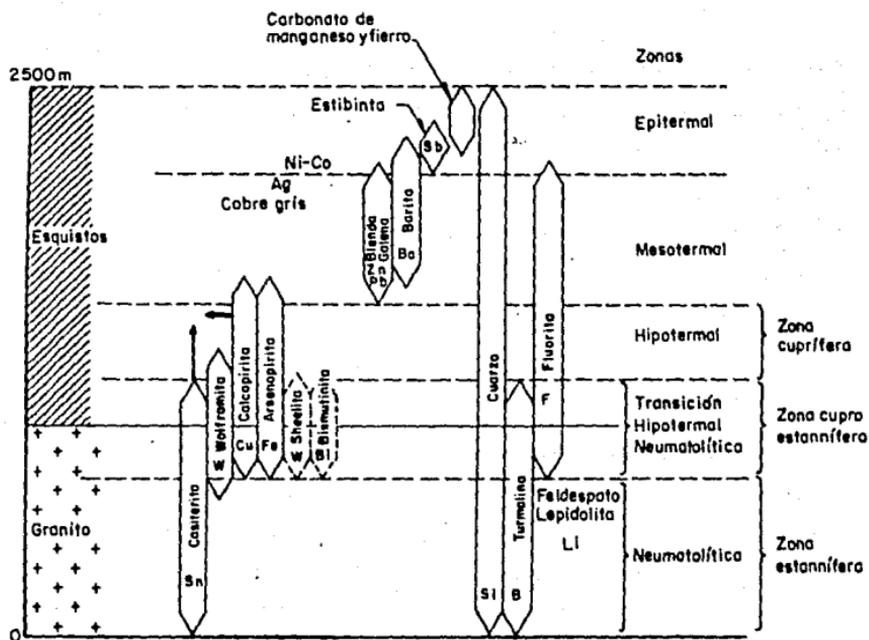


Fig 3.3.1. La sucesión zonal de la paragénesis en los yacimientos de Cornualles según Schneiderhöhn en Routhier (1963).

3.3.3. ROCA ENCAJONANTE.

Calizas y greissens son las rocas encajonantes en estos yacimientos, están asociadas rocas ígneas vecinas como: aplitas, pegmatitas, lamprófidos y riodacitas.

El granito intrusión del Carbonífero al Pérmico a las rocas sedimentarias, las alteró por metamorfismo a hornfels de cuarzo-biotita con desarrollos ocasionales de cordierita y andalucita; al sur y al este de Torrington intrusión a las rocas volcánicas del Pérmico que incluyen a las ácidas de Emmaville, así como a una unidad extensa de riodacitas ---- (EADINGTON, P.J., 1983).

3.3.4. ESTRUCTURAS.

El granito Mole es parte del extenso batolito de Nueva Inglaterra que intrusión a las rocas paleozoicas superiores de un cinturón plegado. Datos radiométricos indican una edad del Pérmico Superior al Triásico para las rocas plutónicas más jóvenes que incluyen la estructura granítica.

El granito tiene la forma oval de un plutón simple; evidencia geofísicas sugieren que es un cuerpo lenticular horizontal que es uniforme en sus composiciones químicas y mineralógicas, por ejemplo: los rangos de contenido de sílice van de 74.1 a 77.3 %, tiene un alto índice de diferenciación de 92 a 95 y concentraciones altas de algunos elementos indicativos: cerca del 0.03 % F y de 80 a 620 ppm Li de modo que la composición mineralógica es aproximadamente 32 % de cuarzo 48 % de microlina-microperfitica, 18 % de albita y 2 % de biotita. Las únicas variantes composicionales son diques menores y sills de granito pegmatítico (cuarzo---

-ortoclasa) y roca cuarzo-topácica la que se considera como líquido residual de la etapa tardía del magma granítico (EADINGTON, P.J., 1983).

Hay variedades porfídicas y equigranulares de grano fino a mediano, éstas pueden ser contadas por procesos normales de enfriamiento del magma granítico, tal como en la parte superior, como en las paredes, en los fisuramientos o divisiones que separan los bloques solidificados con cristalización de grano fino entre el granito.

El granito es cortado por un amplio rango de rocas magmáticas hidrotermales tardía. La secuencia de formación se puede deducir por la relación de cortes transversales hacia el centro de plutón y especialmente donde la apófisis del granito intrusión la parte superior, éste es entre cortado por diques granito-pegmatíticos angostos, diques más grandes, --- sills de roca cuarzo-topácica y conjuntos de complejos pegmatíticos. Los límites con la roca encajonante están bien marcados.

La roca cuarzo-topácica a menudo contiene gran número de cavidades pequeñas (geodas menores de 5 cm de diámetro) de pegmatita, éstas se forman de cristales comunes de cuarzo ahumado, muscovita y biotita; en algunos sitios la pegmatita se presenta entrecortando la roca cuarzo-topácica, granos gruesos de ortoclasa, cuarzo, biotita, berilo, fluorita y muscovita se presentan en vetillas en un cuerpo de esta roca y en las sedimentarias adyacentes (stockworks), ocasionalmente en algunas de las pegmatitas el berilo y el topacio pueden ser calidad gema.

3.3.5. GENESIS.

Estos depósitos de estaño se derivan de la acción neumatolítica - de los mismos magmas que dieron origen a los granitos.

La mayoría de los depósitos se presentan sobre estructuras planas especialmente en una fractura orientada al noreste, parece que las estructuras fueron mayores conductos de fluidos por períodos limitados, tal vez debido a los sacudimientos sísmicos o algún mecanismo similar. Los conductos cerrados después de la mineralización preservan los minerales y -- sus inclusiones de fluidos de alguna otra alteración, algunos minerales - de casiterita contienen wolframio en relaciones texturales que indican -- que la mineralización del estaño y el wolframio es simultánea. Estos depósitos contienen vetas angostas (1 a 2 cm) de cuarzo-esfalerita, algunas veces con galena o cuarzo-adularia que establecen los dos depósitos posteriores como los últimos en la secuencia de rocas hidrotermales que fueron estudiadas.

3.3.6. EJEMPLOS.

Los yacimientos de Billiton y Redruth también en Cornualles Inglaterra, el de Kochiu en Yuman China, el de Bingham en Utah, E.U., el de Zechan en Tasmania, Australia, el de Bushveld en Sudafrica, el de Erzgebirg en Checoslovaquia-República Democrática Alemania.

En México el único yacimiento de este tipo se localiza en Guadalcarzar, San Luis Potosí, no se explota ya que no es económicamente rentable.

3.4. MODELO DE YACIMIENTO DE PLACER, TIPO GUADALCAZAR, S.L.P. MEXICO.

Los principales yacimientos minerales de estaño en México, se localizan en la parte central y norte del país. Comprende la Mesa Central y la Sierra Madre Occidental.

La Mesa Central está limitada al oriente por la Sierra Madre - - Oriental y al sur por el Eje Neovolcánico. Su superficie total es de -- 137,600 Km². La Sierra Madre Occidental tiene una anchura que llega a - medir en algunos lugares hasta 300 Km y está orientada en la dirección - NW - SE con una longitud más o menos de 1,400 Km. (LOPEZ, R.E., 1982).

La República Mexicana produce menos del 1 % del total mundial de estaño; la mayor parte de su producción proviene de la explotación de vetas de pequeña magnitud y de pequeños placeres explotados por gambusi---nos.

En la región de Guadalcázar, situada en la parte central del estado de San Luis Potosí (Fig. 3.4.1.), existen algunos yacimientos en -- forma de placer que contienen estaño, y cantidades menores de oro y plata. Se presenta una sierra alargada de oriente a poniente; está limitada hacia el oriente por la cuenca de abrego; hacia el sur por la de Guadalcázar y al noreste por Realejo. El punto más alto de la sierra lleva el nombre de Cerro de San Cristóbal con una altitud de 2,250 metros sobre el nivel del mar y un desnivel de 460 metros sobre el pueblo de Guadalcázar. Dicho cerro está formado en su parte central por un pequeño -

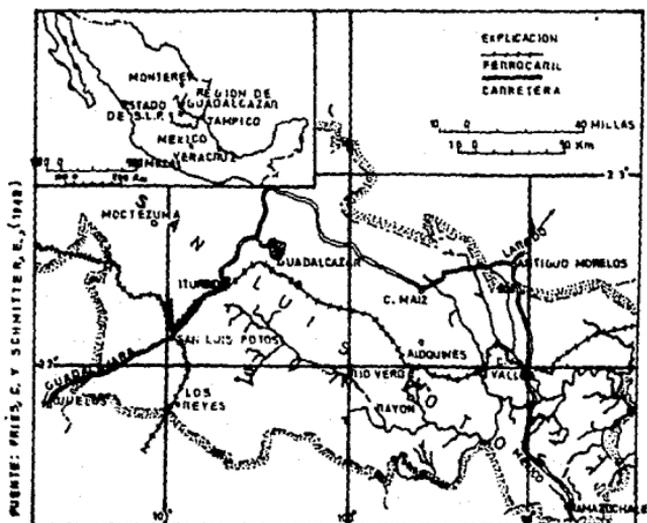


FIG. 3A). MAPA INDICE QUE MUESTRA LA UBICACION DE LA REGION DE GUADALUPE.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
FIG. 3.4.1 MAPA DE LOCALIZACION	
ABAD R. V. GUSTO R. H. F. CORDIA G. J. A.	MARTINEZ R. S. RIOS V. J. R. SOTO P. C. A.
TESIS PROFESIONAL 1991	

cuerpo (stock) de granito con un afloramiento, casi circular, de carácter intrusivo en calizas del Cretácico Inferior.

La superficie erosionada del stock es más alta que la de las calizas circundantes. El material removido por la erosión, proviene de la zona de contacto y se depositó en forma de grandes abanicos aluviales, dentro de las cuencias contiguas y sobre las laderas bajas, en los alrededores del granito (FOSHAG, W.F., Y FRIES, C., 1946).

3.4.1. PARAGENESIS.

Los minerales de mena son: zircón, anatasa, brookita, esfena, cinabrio, topacio, especularita, sulfuros argentíferos, wolframita y scheelita. La casiterita se presenta en forma de pequeños cristales y como fragmentos de riñones; los minerales de ganga son: cuarzo, feldespatos, pedernal, turmalina, fluorita, granate, magnetita, hematita, limonita, pirita y óxidos de manganeso. Entre los minerales pesados más raros, pueden citarse el oro y los minerales que contienen plata, principalmente minerales secundarios derivados por oxidación de los sulfuros argentíferos.

3.4.2 DATOS ECONOMICOS.

De acuerdo con las estimaciones de Fries y Schmitter (1948), el volumen total de la grava granítica existente en la región es de 551,000,000 de metros cúbicos. La mayor parte de este material se encuentra en el abanico de Las Papas, que contiene unos 320,000,000 de metros cúbicos. El abanico de San Diego contiene 214,000,000 de metros cúbicos y el pequeño abanico de Santa Elena únicamente por 17,000,000 de metros -

cúbicos. Por otro lado 15,000,000 de metros cúbicos para la de Realejo - y 2,000,000 de metros cúbicos para la de Trinidad.

El estaño que se produce en México en yacimientos de placer proviene principalmente de pequeñas minas y de gambusinos que lo explotan en vetas de pequeña magnitud. La producción de los gambusinos y pequeños mineros, es reunida por numerosos compradores locales y beneficiada en su mayor parte en las fundiciones instaladas en San Luis Potosí. Por la Compañía Estannífera Mexicana, S.A., y otros de menor importancia.

Se ha observado que el gambusino, al tratar de concentrar el mineral de estaño en planillas, pierde cerca de 50 % del mineral que extrae - de la labor y del cual obtiene no menos de 1 kilo de casiterita con ley - del 40 al 50 %. Todo el material que desperdicia lo deja en el lugar de trabajo o bien como retaque de la obra y en la mayoría se encontraron contenidos variables del 1 al 2 % de casiterita.

Los gambusinos continúan obteniendo por lo general de 200 kilos - de material. 2 a 3 kilos de concentrado de casiterita en riñón y adheridos a las rocas con desperdicios de mineral de grano fino.

Actualmente la explotación de estaño se efectúa a nivel de gambusinos.

El principal problema para la explotación de depósitos de estaño de grandes volúmenes con leyes bajas, es que en la actualidad aún no se cuenta con el sistema metalúrgico, para este tipo de yacimiento.

En la tabla 3.4.1. Se muestra una lista de la producción de estaño en México, que proviene de materias primas nacionales y de importa----

ción + impuro + la producción de los gambusinos, desde 1968-
a 1988.

T A B L A 3.4.1.
PRODUCCION DE ESTARO EN MEXICO
(CONSEJO DE RECURSOS MINERALES, 1989).

AÑOS	TONELADAS	MILES DE PESOS
1968	528	-
1969	498	-
1970	533	-
1971	479	21,955
1972	354	17,300
1973	292	17,566
1974	400	42,736
1975	378	36,554
1976	481	57,981
1977	220	52,463
1978	73	20,744
1979	1291	509,890
1980	1702	749,032
1981	866	451,812
1982	971	1,719,663
1983	1276	2,528,269
1984	1595	4,390,577
1985	1533	-
1986	1488	-
1987	1730	24,237,441
1988	1538	58,598,679

Estas cifras no dan idea de la producción real de los depósitos - Mexicanos pues, como se dijo antes, el material proviene de muy diversas fuentes (incluye reciclaje).

3.4.3. ROCA ENCAJONANTE.

Las rocas encajonantes están constituidas por: grava granítica - primaria, secundaria y tobas riolíticas; la primera presenta colores de - amarillento a pardo rojizo, bien estratificada y está formada por detri-- tos graníticos con menores cantidades de arcilla y fragmentos de peder--- nal; los cantos rodados en las capas de grano más grueso rara vez exceden los 60 cm de diámetro. Por ejemplo, el espesor máximo en la cuenca de -- Guadalcázar es de 100 m y se encuentra a lo largo del eje noreste - su--- roeste (el más largo) de esta cuenca, pero en la cuenca de Realejo el es- pesor es de 24 m. La edad de la grava corresponde al Plioceno - Pleisto- ceno.

La grava secundaria formada por fragmentos de granitos y menor -- proporción de calizas, es de color amarillo claro y ésta se forma por ma- teriales acarreados por los arroyos, como resultado de la erosión y reaco- modo de la grava primaria; en las partes más altas de la cuenca de Guadal cázar el aluvión es de grano grueso puesto que se halla libre de partícu- las finas, y en la parte de menor altitud el material está compuesto por- arena y limo deslavado de los lugares situados a mayor altura. Los can-- tos más grandes que se presentan son de 1.5 m de diámetro. El espesor del aluvión secundario en Guadalcázar como en Realejo alcanza mínimos de 1 m; aunque su espesor máximo en la parte más baja de la cuenca de Guadal

cázar llega a medir 9 m. Esta grava es reciente.

La ausencia de los fragmentos de caliza en la grava granítica primaria se debe a que la mayoría fueron disueltos durante el período de erosión, antes de que pudieran ser acarreados hasta las cuencas, aunque algunos fragmentos pequeños pudieron haber sido disueltos después de su depósito en los abanicos.

Según datos del Consejo de Recursos Minerales, en ambas gravas, - tanto primarias como secundarias, el espesor varía de 1 a 60 m pero no se conoce con precisión cual es el espesor real pues no se han efectuado sondeos que hayan alcanzado al piso del aluvión.

La toba riolítica es de color blanco de grano fino, está compuesta por pequeños fragmentos de vidrio con algunos cristales de cuarzo y -- feldespatos; en ciertos lugares está mezclado con una cierta proporción -- de arena y arcilla derivados de la erosión de la grava primaria. El depósito más extenso de la toba se localiza en la cuenca de Guadalcázar, hacia el sur del pueblo, donde una capa delgada cubre la grava primaria y a su vez también en algunos lugares se halla cubierta por grava secundaria. En el lugar mencionado el espesor máximo de la toba es de 4.5 m, pero en otros lugares es de 1.5 m.

3.4.4. ESTRUCTURAS.

La región de Guadalcázar se caracteriza por contener dos grandes -- abanicos aluviales, que se extienden desde la desembocadura de los arroyos: Las Papas y San Diego; estos abanicos se encuentran unidos para formar una llanura de ligera inclinación, hacia el sureste; forma el partea-

guas que separa la cuenca de Abrego de la de Guadalcázar, el abanico de San Diego es el más alto de los dos y sirve de barrera a las aguas superficiales. Hacia el sur del Cerro San Cristóbal, frente a la cuenca de Guadalcázar, se encuentra un valle ancho. Poco profundo, cuyo fondo fue formado por erosión del arroyo Las Papas. Así como una terraza angosta sobre la ladera meridional de la caliza de la sierra.

En las etapas finales de la construcción de los abanicos aluviales, los depósitos tenían forma de llanura con inclinación variable entre 1º y 3º pero en la actualidad se hallan parcialmente divididos como consecuencia de los depósitos posteriores y además, modificados por hundimiento de sus fondos y por pequeñas fallas.

3.4.5. GENESIS.

El origen de este modelo de yacimiento se debe a la alteración de las rocas y yacimientos que contienen la casiterita, posteriormente un transporte y depósito en lugares específicos de las cuencas vecinas. Tales lugares están definidos por las condiciones de la densidad y de su resistencia a la alteración química.

3.4.6. EJEMPLOS.

Los yacimientos de estaño de placer son sumamente importantes en el mundo para la producción de este metal. A continuación se mencionan sólo algunas de las áreas mineralizadas que tienen un gran significado económico.

a).- INTERNACIONALES.

Los países productores de estaño en yacimientos de placer son: --
Malasia: Perak, Selangor, Negri Sembilan, Kinta Valley y Pahang (BATE--
MAN, A.M., 1957); Indonesia: Bangka, Belitung (Billinton), Kelapa Kampit,
Tikus y Selumar (MELVYN, T., BRUCE, L., BRUCE, R., AND MARVIN, A., 1977);
Inglaterra: Cornualles; Nigeria: la meseta de Bauchi y Congo Belga; Aus-
tralia: Mt. Bischoff (PETRASCHEK, W. E., 1965).

b).- MEXICANOS.

Los Estados de la República Mexicana productores de estaño en ya-
cimiento de placer, en adición al de Guadalcázar, S.L.P. Son Durango, Za-
catecas, Aguascalientes, Jalisco y Querétaro (SMITH, C.W., GUIZA, R., AND
SEGERSTROM, E., 1957).

BIBLIOGRAFIA.

- BATEMAN, A. M., 1957. Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico.-- Editorial Omega, S.A., Barcelona, España, 975 p.
- BRACHO, V. F., 1960. Yacimientos de Estaño en la Sierra de Chapultepec.- Zac., La Ochoa, Durango y Cosío, Aguascalientes. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 48. - México, D. F., pp. 9-13.
- BRACHO, V. F., 1961. Yacimientos de Estaño en La Ochoa, Durango y Juan - Aldama, Zacatecas. Instituto Nacional para la Investigación - de Recursos Minerales, Bol. 60. México, D.F., pp. 17-57.
- CHACE, F. M., 1948. Tin-silver veins of Oruro, Bolivia. Economic Geology, vol. 43, pp. 333-383, 435-470.
- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES, 1989. Sumario Estadístico de la Minería - Mexicana 1968-1988. México, D.F.
- EADINGTON, P. J., 1983. A fluid inclusion investigation of ore formation - in a tin-mineralized granite, New Inghland, New South Wales. -- Economic Geology, Vol. 8, pp. 1204-1221.
- FRIES, C. Y SCHMITTER, E., 1948. Los placeres de estaño de la región de - Guadalcázar, Edo. San Luis Potosí. Instituto Nacional para - la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 17, México, D.F.- 59 p.

- FOSHAG, W. F. Y FRIES, C., 1946. Los Yacimientos de Estaño de la República Mexicana. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 8, México, D.F., pp. 15-36 y 66.
- GRANT, J. N., HALLS, C., SHEPPARD, M. F., AND AVILA, W., 1980. Evolution of the Porphyry Tin Deposits of Bolivia. Mining Geology Special Issue, No. 8, pp. 151-173.
- JUNG, J., 1977. Précis de Petrographie. Ed. Revue et Mise a Jour, Paris, New York, Barcelona, Milán, pp. 250-251.
- HORCASITAS, A. S., Y SNOW, W. E., 1956. Resumen Geológico del Distrito -- Minero de Santa Eulalia, Chihuahua. XX Congreso Geológico Internacional, Excursión A-2 y A-5, pp. 51-61.
- KELLY, Wm. C., AND TURNEAURE, F. S., 1970. Mineralogy, Paragenesis and -- Geothermometry of the Tin and Tungsten Deposits of the Eastern Andes, Bolivia. Economic Geology, vol. 65, pp. 609-680.
- LINDGREN, W., AND CREVELING, J.G., 1928. The ores of Potosí, Bolivia. Economic Geology, vol. 23, pp. 233-262.
- LOPEZ, R. E., 1982. Geología de México. 3a. Edición, Tomo II, México, -- D.F. 454 p.
- MANTELL, W., AND P. H. D., 1929. Tin; Its Mining, Production, Technology, -- and Application. Monograph series No. 51, Book Department the -- quimical Catalog company, Inc. New York, U.S.A., pp. 50-70.
- MELVYN, T., BRUCE, L., BRUCE, R., AND MARVIN, A. 1977. Age of Tin Mineralization and Plumbotectonics, Belitung, Indonesia. Economic-Geology, vol. 72, pp. 745-752.

- PAXTON, H. W., 1951. Geología y mineralización de la mina San Antonio,-- distrito minero de Santa Eulalia, Chihuahua, Consejo de Recursos Minerales, Bol. 28. 41 p.
- PETRASCHEK, W. E., 1965. Yacimientos y Criaderos. Editorial Omega, ---- S.A., Barcelona, España., pp. 171-172.
- ROUTHIER, P., 1963. Les Gisements Metalliferes Geologie et Principies de Recherches, Masson et Cie, Editeurs, 2 Tomos.
- SILLITOE, R. H., HALLS, C., AND GRANT, J. N., 1975. Porphyry tin deposits in Bolivia. Economic Geology, vol. 70, pp. 913-927.
- SMITH, C. W., GUIZA, R., Y SEGERSTRON, E.. 1957. Los yacimientos de estaño en el estado de Durango, Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 36, 63 p.
- TORRES, S.G., Y LOMELI, L. F., 1983. Informe de los Trabajos Realizados en el Proyecto Estaño Regional, en el Período comprendido del 3 de Enero al 30 de Junio de 1983. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, México, D.F., pp. - - 1-20.
- TURNEAURE, F. S., 1960. A comparative study of major ore deposits of central Bolivia. Economic Geology, vol. 55, pp. 217-254 y - - 574-606.

C A P I T U L O IV.

4.- CRITERIOS DE PROSPECCION

- 4.1. GUIAS FISIOGRAFICAS
- 4.2. GUIAS LITOLOGICAS (Y ESTRATIGRAFICAS)
- 4.3. GUIAS ESTRUCTURALES
- 4.4. GUIAS MINERALOGICAS
- 4.5. METODOS GEOQUIMICOS APLICADOS A LA PROSPECCION DEL ESTAÑO.
- 4.6. METODOS GEOFISICOS APLICADOS A LA PROSPECCION DEL ESTAÑO.

BIBLIOGRAFIA.

4.1. GUIAS FISIOGRAFICAS.

4.1.1. ASOCIADOS A ROCAS RIOLITICAS.

Los accidentes topográficos pueden reflejar condiciones favorables a la presencia de la mena. Estas condiciones varían de forma muy amplia; dependen del tipo de yacimiento y de las rocas asociadas, y se expresan en una variedad de formas que estará en función del clima y de los materiales existentes.

Actualmente las rocas riolíticas se encuentran situadas en la Sierra Madre Occidental del País, así como en la Mesa Central en donde se encuentra la mayor concentración de estaño con alto contenido de sílice, -- usualmente son muy resistentes; sin embargo, algunas veces se descomponen rápidamente a minerales arcillosos. En general presentan, crestas poco sinuosas o con alturas uniformes y flancos escarpados, abruptos y a menudo en forma de peñasco (LOBECK, A.K., 1939).

Las elevaciones componentes de la Sierra Madre Occidental están muy próximas unas a otras, con altas cimas paralelas y uniformes separadas por cañones profundos y a veces, con grandes acantilados, especialmente en sus pendientes altas (ORTIZ, A.R., 1956).

4.1.2. ASOCIADO A ROCAS GRANITICAS.

Las superficies graníticas presentan un aspecto rugoso y granulado.

a).- Acumulaciones de bloques y cantos.

b).- Peñas redondeadas.

c).- Carencia de crestones y aristas apuntadas

d).- Erosión en esferas se presenta con formas "acebolladas".

1.- Granitos de grano grueso

2.- Granitos calcoalcalinos

Una de sus características es que aparece formando una masa homogénea y - uniforme en la que no se aprecia ninguna dirección predominante.

La variación de su dureza y resistencia dará como resultado la diversidad de relieves que pueden originar; aparece formando desde grandes-cordilleras hasta extensas penillanuras, tal como se muestra en la tabla- 4.1.2., según López Vergara, M.L. (1978).

T A B L A 4.1.2.
TIPOS DE RELIEVE A LOS QUE DA LUGAR EL GRANITO
(LOPEZ VERGARA, M. L., 1978)

MODO DE PRESENTARSE	MORFOLOGIA	FORMACION DE SUELOS
Relieves Fuertes	Macizos montañosos redondeados y forma domi- cas. Formación de cordille- ras.	Escasos, salvo en cli- mas muy húmedos.
Relieves Medios	Lomas redondeadas, bloques y esferas	Acumulación de suelos - arenosos en las depre-- siones.
Depresiones	Superficies planas rugosas.	Recubrimiento de suelos arenosos frecuentes.

4.1.3. ASOCIADOS A YACIMIENTOS DE PLACER.

Las condiciones topográficas tienen una gran importancia en la acumulación de placeres de estaño. Después de un largo periodo de profunda - meteorización en una superficie de topografía poco abrupta, se liberan las partículas minerales de las rocas; se produce una capa profunda de suelo - residual donde están incluidos los materiales pesados y poco alterables: - posteriormente, las corrientes que se originan acompañadas de una erosión, transportan los elementos y los depositan en lugares favorables (MCKINSTRY, H.E., 1977).

Se hallan situados en cuencas, valles rodeados en todos sus flan--cos por serranías poco elevadas y ligeramente onduladas, que en ocasiones- forman amplias penillanuras; así como terrazas y meandros abandonados.

En la Mesa Central, es común encontrar riolitas, dacitas, andesi--tas y traquitas, como rocas constructoras de las sierras. Los valles que- originalmente fueron profundas depresiones o cuencas lacustres entre las - montañas, han sido posteriormente rellenados con materiales aluviales y se dimentos lacustres derivados de aquellas elevaciones.

Los lugares en que las corrientes pasan de rápidos a aguas tranqui- las son favorables a causa de la reducción de velocidad y se presenta una- mayor oportunidad para el depósito.

Un valle ancho tras una garganta estrecha presenta una oportunidad para el cambio de situación de los canales, con la siguiente reclasifica--ción de placeres viejos.

Un valle ancho permite la formación de meandros con el desarrollo-

llo de canales curvos y arcos cerrados; los lados interiores de las curvas son favorables para la creación de excelentes placeres. El punto de unión de los afluentes son lugares de enriquecimiento si los tributarios corren por terrenos estanníferos.

4.2 GUIAS LITOLÓGICAS Y ESTRATIGRÁFICAS.

Todo yacimiento mineral se encuentra determinado por condiciones litológicas y estratigráficas definidas de acuerdo a su origen, por lo que las asociaciones con las rocas encajonantes son similares; lo que permite establecer criterios de prospección con el apoyo de estas guías.

En el caso de los yacimientos de estaño destaca su afinidad con las rocas ácidas: granitos alcalinos y calco-alcalinos, cuarzomonzonitas, granodioritas y cuarzodioritas. En pegmatitas, neumatolitas y riódacitas se presenta el wolframio asociado al estaño.

4.2.1. ROCAS VOLCÁNICAS.

La mayoría de los yacimientos de estaño en México están asociados a ignimbritas y en los que con frecuencia se presentan calizas como depósitos anteriores.

La presencia de ignimbritas constituye una verdadera guía para la prospección de minerales de estaño.

Los derrames piroclásticos como brechas y tobas se encuentran en forma alternada con las ignimbritas.

4.2.2. ROCAS HIPABISALES.

Gran parte de los yacimientos en Bolivia son de este tipo, por lo que rocas ígneas como Diques Dacíticos y Radíticos, stocks, brechas que intrusionan a formaciones sedimentarias como areniscas y lutitas son indicios para la prospección de estos depósitos, caracterizados por desarrollarse a poca profundidad.

Las rocas sedimentarias subyacen a las volcánicas que incluyen: brechas, lavas y tobas, de lo que se puede concluir como más antiguas las areniscas y lutitas, posteriores a éstas los derrames volcánicos y por último los intrusivos que son los que generan el desarrollo de los depósitos.

4.2.3. ROCAS PLUTONICAS.

Cornualles Inglaterra se ha caracterizado por sus yacimientos de estaño asociados a este tipo de litología, que dado su origen se trata de depósitos epigenéticos, en donde los granitos intrusionan paquetes litológicos de calizas asociadas a rocas ígneas como: riocitas, pegmatitas, aplitas, greisens. El sornfels de cuarzo-biotita, es una alteración de las rocas sedimentarias por la intrusión del granito por lo que se considera como gúfa.

Los depósitos sedimentarios se consideran de una edad paleozoica-mientras que los granitos son del Pérmico Superior al Triásico.

4.2.4. DEPOSITOS ALUVIALES.

No es posible aplicar criterios de prospección mediante guías litológicas para este tipo de yacimiento dadas las características de su formación. Sin embargo, estos depósitos se encontraron en la vecindad de los formados en las rocas anteriormente descritas; por tanto, los marcos geológicos con granitos e ignimbritas constituyen guías para la prospección de placeres de estaño.

4.3. GUIAS ESTRUCTURALES.

4.3.1. ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS.

Los yacimientos asociados a rocas volcánicas están caracterizados por pequeñas vetas discontinuas y vetillas, que generalmente contienen estaño de baja ley. Las vetas son predominantemente rellenos de fisuras -- con varios tipos de sílice e incrustaciones de hematita especular y casiterita; la casiterita está frecuentemente presente como estaño de madera (variedad colofome). Las mineralizaciones normalmente forman cuerpos estratiformes; o bien, en forma diseminada. En México se han encontrado -- concentraciones diseminadas de baja ley en cuerpos tubiformes y en zonas tabulares en la matriz de varias rocas riolíticas.

La asociación de las vetas y la presencia del estaño de madera -- son característicos de este medio y han sido reportados en todos los ambientes de este tipo (TAYLOR, R. G., 1979).

4.3.2. ASOCIADOS A ROCAS SUBVOLCANICAS.

Los yacimientos minerales en rocas subvolcánicas están concentrados principalmente en zonas de permeabilidad que se desarrollan dentro - de un dominio de fracturas quebradizas. Los principales tipos de estructuras son: vetas, cuerpos tubiformes y brechas; aunque las fracturas - -

Irregulares en yacimientos de reemplazamiento están también presentes, -- particularmente asociados con horizontes ricos en carbonatos.

Los sistemas de vetas asociados con zonas apicales de intrusiones pequeñas son el tipo predominante y varían desde microvetillas a grandes-vetas. Los sistemas de vetas aislados varían desde una sola fase simple a varias fases complejas; aunque muchas vetas son relativamente pequeñas. Las brechas intrusivas y de colapso son comunes en los ambientes subvolcánicos y presentan excelentes zonas de permeabilidad-depósito. (SILLITOE, R. H. et al., 1975).

4.3.3. ASOCIADOS A ROCAS PLUTONICAS.

Los yacimientos asociados a rocas plutónicas están caracterizados por varios tipos de estructuras, las más importantes son: stockworks, vetillas, filones, cuerpos tubiformes, cuerpos tabulares y a veces lenticulares (MAGAK'YAN, I. G., 1968).

Los yacimientos asociados a rocas plutónicas también se presentan como mantos y chimeneas de dimensiones muy variables. Los primeros, paralelos a la estratificación y los segundos por lo general son verticales y suelen ser muy irregulares en sección transversal, con tendencia a presentar una forma elíptica alargada.

4.3.4 ASOCIADOS A PLACERES.

Los yacimientos asociados a placeres, se dividen, según las condiciones de formación, en placeres eluviales, proluviales, deluviales, aluviales y litorales. Los más importantes son los placeres aluviales y li-

torales. La mayoría tienen forma lenticular alargada y su estructura es complicada; se manifiestan formas muy heterogéneas en diversos niveles. Las intercalaciones de arena a menudo permanecen divididas por rocas - - subyacentes falsas (intercalaciones de sedimentos, por lo general, más compactos), y en el plano, los sectores de arena enriquecidos forman, -- chorros, ramificaciones o bolsas de las más distintas formas y dimensiones. A niveles estructurales más altos los placeres se distinguen por la composición granulométrica de los minerales.

Según la forma de los criaderos, en los yacimientos asociados a placeres se distinguen las variedades de manto, estratificadas, lenticulares, acintadas, de cordón y de nido de diversas dimensiones (HAZHDAN, A. B., 1982).

Los placeres se forman a consecuencia de la concentración de minerales valiosos entre depósitos detríticos que se originan durante la destrucción y la redescomposición del material rocoso y de los yacimientos de minerales. La formación de ellos está relacionada con la meteorización física y química tanto de las rocas como de los minerales.

4.4. GUIAS MINERALOGICAS

Entre las guías, de las más importantes que conducen al descubrimiento de cuerpos mineralizados, se tienen a las mineralógicas. La observación de ciertos minerales en la superficie puede constituir una evidencia de la presencia del yacimiento mineral en el subsuelo.

La utilidad de los minerales como guía se presenta de diversas -

maneras. Se puede considerar:

- Los minerales primarios inalterados
 - * en eluviones y en aluviones
 - * in situ
- Los minerales alterados
 - * los minerales de sombrero de hierro (óxidos) en la estructura de productos de oxidación, susceptibles de informar sobre la naturaleza de la mineralización de los sulfuros.
 - * la alteración de las rocas encajonantes donde las mineralizaciones, son mineralógicamente características.

4.4.1. ASOCIADOS A YACIMIENTOS DE PLACERES.

La casiterita es muy estable y se encuentra en placeres.

Como gufa mineralógica para los minerales primarios inalterados, es por tanto, similar al oro para descubrir nuevos yacimientos. Como el oro es susceptible de enriquecimiento residual en la zona oxidada.

La posibilidad de un enriquecimiento supergénico en la zona de sulfuros ha sido tema de muchas discusiones, pero la mayoría de los geólogos familiarizados con los yacimientos bolivianos y de otras partes creen que el proceso no tiene importancia comercial, si es que acaso tiene lugar. Por tanto, la casiterita, por su peso y resistencia a la desintegración química y mecánica, se clasifica en segundo lugar por su valor como mineral de

placer y como criterio de prospección para placeres es: Aluvionar (de un modo parecido al oro).

La prospección aluvionar es la que se emplea con mayores resultados, ya que ellos han permitido localizar áreas que cubren superficies -- considerables que contienen estaño diseminado, que en el futuro constituirán grandes reservas potenciales de mineral de Sn.

Por ejemplo, los mayores placeres de Sn son los de Malasia, donde se explotan grandes depósitos aluviales que contienen tan sólo media libra de casiterita por yarda cúbica; para esta explotación se emplean dragas del mayor tipo existente.

La estannita, mineral mucho menos abundante, es también estable, -- pero se cree que se descompone, por oxidación, a casiterita.

4.4.2. ASOCIADOS A ROCAS PLUTONICAS

La alteración de las rocas en los depósitos adyacentes también es una guía de prospección. Por ejemplo, para los yacimientos de Sn, la alteración en las zonas apicales de granitos es una actividad metamórfica y compleja son: feldespatización, al mismo tiempo sericitización y muscovitización, greisenización que son los tipos principales de alteración -- ocasionalmente acompañados por argilización y turmalinización (SAINSBURY, C. L., 1960).

En la sericitización, hay un enriquecimiento de sericita y clorita, esta alteración ocurre principalmente por una transformación de feldespatos a sericita de grano fino.

La greisenización, es un término usado por varios autores a partir de la roca greisen, donde la alteración se manifiesta por la descomposición de feldspatos y biotita y por la formación de cuarzo, topacio, mica y depósitos minerales en las rocas graníticas (JANECKA, J., AND STEM-PROK, V. V., 1967).

Geoquímicamente la importancia de OH, F, Li, W, Sn, B y la eliminación de álcalis (especialmente Na), son muy significativas mientras el Si, Al son esencialmente constantes.

La albitización parece ser más frecuente que la microclinización y puede estar acompañada por un enriquecimiento de litio. La albita enriquecida de este tipo es difícil de reconocerse particularmente donde las rocas están solamente alteradas parcialmente. La mayoría de los granitos ricos en albita considerado por una diferenciación magmática son probablemente formados en estas condiciones. Este fenómeno recientemente ha sido observado en diversos puntos dentro de las provincias estanníferas al este de Australia. El fenómeno de enriquecimiento albitico ocasionalmente está acompañado por la presencia de casiterita diseminada más o menos columbita / tantalita. En este contexto recientemente se ha descubierto -- una serie de parches albitizados y lentes que son comunmente investigados en las rocas graníticas en los distritos Irvinebank del campo estannífero El Herberton. Normalmente la feldspatización y la greisenización son menos influenciados por controles fractura / fisura.

La alteración argílica es relativamente común en todas las escalas adyacentes en los depósitos de Sn. La mayoría de estos ejemplos son-

conocidos, por ejemplo, dentro de las provincias australianas, la mayoría ocurre en Bells Hill, NE de Tasmania, Cooktown y en porciones del distrito Herberton.

Sin embargo, poco son los estudios detallados, y muchos aspectos espacial y temporal quedan oscuros.

La turmalinización es relativamente común y la mayoría de los apogranitos contienen grumos y nidos de turmalinas que ocasionalmente contiene algo de casiterita. Muchas veces esto no es señal de un control de -- fracturas y la turmalina parece ser parte integral de la roca magmática.

Los skarn pirometasomáticos son característicos en el contacto -- ígneo formados por reemplazamiento irregular o depósitos controlados por fracturas. Sin embargo, como guía de prospección en skarn estanníferos -- se tiene: magnetita, ocasionalmente acompañado por fluorita.

4.4.3. ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS

Como guía de prospección en rocas volcánicas se tiene un ejemplo muy característico en México: la especularita (FOSHAG, W. F., AND FRIES, C., 1942), como mineral incrustado en vetas y vetillas acompañado con crisotobalita, tridimita, cuarzo, calcedonia y ópalo, sin embargo la silicificación está presente (SMITH, W. C., SEGERSTROM, K., AND GUIZA., 1950).

4.4.4. ASOCIADOS A ROCAS SUBVOLCANICAS

La pirrotita y la esfalerita, así como otros minerales con contenido de W, Ag, y Zn, pueden ser buenas guías mineralógicas en rocas subvolcánicas acompañados con seritización.

4.5. METODOS GEOQUIMICOS

La geoquímica es la ciencia que se encarga del estudio químico de la corteza terrestre; por tanto, uno de sus objetivos es el análisis de la dispersión de los diferentes elementos en las rocas. Al formarse un yacimiento mineral, se creará una aureola alrededor del mismo cuerpo, con diseminación de los elementos formadores de la propia mineralización.

La movilidad de tales elementos dependerá de su química y será un factor decisivo para la existencia y consistencia de las aureolas mencionadas.

Por tanto, la geoquímica de prospección se basa en la detección de las dispersiones de los elementos alrededor de los cuerpos mineralizados, lo cual tendrá como finalidad definir una orientación hacia el lugar donde se encuentra el depósito mineralizado. Esta aureola constituye una anomalía química con respecto al contenido normal de los elementos en la corteza terrestre (PETRASCHECK, W. E., 1965).

Los elementos según su naturaleza pueden tener una movilidad muy grande en cuyo caso, su empleo en la prospección no es de gran utilidad, puesto que en amplias regiones se presenta un exceso de determinado elemento y en tanto su anomalía es enorme; y es muy difícil de interpretar y no es concluyente para su prospección.

Por el contrario, existen elementos cuya movilidad es casi nula; en este caso no se presentan anomalías o se presentan con escasas dimensiones de tal manera que su identificación equivale a identificar el pro-

pio yacimiento. La aplicación de los métodos geoquímicos en la prospección del estaño no es factible, porque los minerales de estaño presentan una alta resistencia a la alteración, lo cual tienden a mantener su forma oxidada y las aureolas de dispersión asociadas a la mineralización prácticamente no existen.

Por el contrario, existe una dispersión mecánica que consiste en la fragmentación y diseminación de granos de mineral lo que será tratado en la prospección aluvional.

En la tabla 4.5.1., según LEVINSON (1974), en CACHAU, F. (1977), se presenta la movilidad relativa de los elementos en aureolas secundarias de dispersión alrededor de los yacimientos.

El estaño se presenta para cualquier medio químico con una movilidad que varía de muy pequeña a nula. Lo cual viene a corroborar lo anteriormente dicho.

T A B L A 4.5.1.
 MOVILIDAD RELATIVA DE LOS ELEMENTOS EN AUREOLAS SECUNDARIAS DE DISPERSION
 (LEVINSON, 1974)

MOVILIDAD RELATIVA	CONDICIONES DEL MEDIO			
	OXIDANTES	ACIDAS	NEUTRAS A ALCALINAS.	REDUCTORAS
Muy Grande	Cl. I. Br. S. B	Cl. I. Br. S. B	Cl. I. Br. S. B Mo. V. U. Se. Re	Cl. I. Br.
Grande	Mo. V. Se. Re Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra Zn	Mo. V. Se. Re Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra Zn Cu. Co. Ni. Hg. Ag. Au	Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra	Ca. Na. Mg. F. Sr. Ra.
Moderada	Cu. Co. Ni. Hg. Ag. Au As. Cd	As. Cd	As. Cd	As. Cd
Baja	Si. P. K Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl	Si. P. K Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl Fe. Mn	Si. P. K Pb. Li. Rb. Ba. Be Bi. Sb. Ge. Cs. Tl Fe. Mn	Si. P. K Fe. Mn

CONTINUACION DE LA T A B L A 4.5.1.
 MOVILIDAD RELATIVA DE LOS ELEMENTOS EN AUREOLAS SECUNDARIAS DE DISPERSION
 (LEVINSON, 1974).

MOVILIDAD RELATIVA	CONDICIONES DEL MEDIO			
	OXIDANTES	ACIDAS	NEUTRAS A ALCALINAS.	REDUCTORAS
Muy baja a nula	Fe. Mn Al.Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierra raras	Al.Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierras raras	Al.Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierras raras Zn Cu.Co.Ni.Hg.Ag.Au	Al Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierras raras S. B Mo. v. U. Se. Re Zn Cu.Co.Ni.Hg.Ag.Au As.Cd Pb.Li.Rb.Ba.Be Bi.Sb.Ge.Cs.Tl

4.6. METODOS GEOFISICOS.

Los métodos geofísicos están basados en la exploración del subsuelo por las diferentes propiedades físicas de los materiales que lo componen y las variaciones de los campos de la tierra; su objetivo es el de -- ayudar a la prospección minera en su desarrollo para la localización de -- yacimientos minerales.

Los métodos geofísicos que se emplean en al búsqueda de los yacimientos de estaño son: magnéticos, gravimétricos y eléctricos. Lo cual son verdaderas guías útiles en al búsqueda de minerales de estaño.

El método magnético proporciona una información sobre las estructuras que conducen al descubrimiento de los cuerpos de estaño. Sin embargo los minerales de estaño son muy pocos magnéticos, por tanto, se -- emplea su asociación con otros minerales como son la magnetita y pirrotita, la intensidad magnética es detectable.

El método de magnetometría aérea es uno de los métodos de gran -- ayuda, ya que es rápido y económico; el reconocimiento desde el aire permite mapear las zonas de rocas ácidas susceptibles de contener estaño -- diseminado; sin embargo, es indispensable una exploración detallada posterior sobre el terreno.

El método gravimétrico está basado en las anomalías que presentan los diferentes minerales, las anomalías gravimétricas son utilizadas en la detección de masas anómalas en el interior de la corteza, cuya densidad difiere de las rocas circundantes. Estas masas pueden representar

CONTINUACION DE LA T A B L A 4.5.1.
 MOVILIDAD RELATIVA DE LOS ELEMENTOS EN AUREOLAS SECUNDARIAS DE DISPERSION
 (LEVINSON, 1974).

MOVILIDAD RELATIVA	CONDICIONES DEL MEDIO			
	OXIDANTES	ACIDAS	NEUTRAS A ALCALINAS.	REDUCTORAS
Muy baja a nula	Fe. Mn Al.Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierra raras	Al.Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierras raras	Al.Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierras raras Zn Cu.Co.Ni.Hg.Ag.Au	Al Ti.Sn.Te.W Nb.Ta.Pt.Cr.Zr Th. Tierras raras S. B Mo. v. U. Se. Re Zn Cu.Co.Ni.Hg.Ag.Au As.Cd Pb.Li.Rb.Ba.Be Bi.Sb.Ge.Cs.Tl

los yacimientos de minerales de densidades altas, como los de hierro, -- plomo, zinc, etc.

El primer paso en el procedimiento a seguir en estos casos es -- eliminar las tendencias regionales de las anomalías, debidas a las estructuras profundas, hecho esto, las anomalías locales resultantes corresponden a la existencia de masas anómalas en el interior de la corteza relativamente cerca de la superficie. Estas breves ideas constituyen el fundamento de los métodos de prospección gravimétrica, utilizados para detectar masas anómalas en el interior de la tierra, por ejemplo, los yacimientos de minerales (McKINSTRY, H. E., 1977).

El método eléctrico, resulta especialmente adecuado en los minerales de origen magmático. En la prospección de yacimientos minerales, es de gran importancia utilizar este método, ya que se han obtenido buenos - resultados en sus interpretaciones, lo cual pueden ser generados naturales y artificiales o por el tipo de corriente continua y variable, el resultado, es la obtención de una curva de la distribución de la resistividad con la profundidad, o la detección de la presencia de una masa de resistividad anómala. Las medidas de la resistividad superficial constituyen la base de los métodos de prospección eléctrica de corriente continua, estos métodos consisten fundamentalmente en introducir una corriente ---- eléctrica continua de una intensidad conocida entre dos electrodos y medir la diferencia de potencial entre otros dos (DEL VALLE, T. E., 1987).

BIBLIOGRAFIA.

- CACHAU, F., 1977. La Géochimie en Exploration Minière. Annales des Mines. Paris, Francia., pp. 77-83.
- DEL VALLE, T. E., 1987. Apuntes de Introducción a los Métodos Geofísicos de Exploración. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- FOSHAG, W. F. and FRIES, C., 1942. Tin deposits of the Republic of Mexico, United States Geological Survey - Bulletin. 935-C, pp. 99-176.
- HAZHDAN, A. B., 1982. Prospección de Yacimientos Minerales. Editorial MIR, Moscú, URSS., pp. 325-331.
- JANECKA, J. and STEMPROK, V. V., 1967. Endogenous tin mineralisation in the Bohemian Massif. A technical conference on tin. London International Tin Council. Vol. 1, pp. 245-265.
- LOBECK, A. K., 1939. Geomorphology. McGraw-Hill Book Company Inc., New York and London., pp. 40-41.
- LOPEZ VERGARA, M. L., 1978. Manual de Fotogeología. Ediciones J.E.N., Madrid, España, pp. 180-190.
- MAGAK'YAN, I. G., 1968. Ore Deposits. Tin. International-Geological Review. Vol. 10, pp. 108-121.

- MCKINSTRY, H. E., 1977. Geología de Minas. Editorial Omega, S. A., Barcelona, España, 671 p.
- ORTIZ, A. R., 1956. Notas sobre la fisiografía y petrografía a lo largo de la carretera panamericana entre Cd.- Juárez, Chih. y México, D.F.. Congreso Geológico - Internacional, Vigésima Sección. Excursión A-2 y A-5.
- PETRASCHECK, W. E., 1965. Yacimientos y Criaderos. Editorial Omega, S.A., Barcelona, España, pp. 228-230.
- SAINSBURY, C. L., 1960. Metallization and post-mineral hypogene argillisation, Lost River Tin mine, Alaska. Economic Geology. Vol. 55, pp. 1478-1506.
- SILLITOE, R. H., HALLS, C., and GRANT, J. N., 1975. Porphyry tin deposits in Bolivia. Economic Geology. Vol.- 70, pp. 913-927.
- SMITH, W.C., SEGERSTROM, K. and GUIZA., 1950. Tin deposits of Durango, México, United States Geological Survey Bulletin. 962-D, pp. 155-203.
- TAYLOR, R. G., 1979. Geology of tin deposits. Elsevier Scientific publishing company, New York, USA, 440 p.

C A P I T U L O V .

5.- SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION

5.1. MINERIA SUPERFICIAL

a). EXPLOTACION DE PLACERES

b). EXPLOTACION A CIELO ABIERTO

5.2. MINERIA SUBTERRANEA

a). TUMBE SOBRE CARGA

BIBLIOGRAFIA.

5. SINTESIS DE METODOS DE EXPLOTACION

La minería del estaño, como de cualquier otro mineral, puede ser planeada considerando varios aspectos que dependen del tipo de yacimiento, de su forma o estructura y de la profundidad de éste. Básicamente se pueden utilizar dos métodos generales de explotación que son superficial y -- subterránea; la elección de alguno de estos métodos está ligada principalmente a la cercanía con respecto a la superficie, que tenga el yacimiento. Para yacimientos que afloran o se encuentran a menos de 100 metros de profundidad, el método seleccionado será el de minería superficial mientras -- que para yacimientos cuya profundidad sea mayor a los 100 metros se eligirá algún método de minería subterránea, a menos que la relación encape mineral sea muy pequeña.

En México se han explotado los yacimientos de estaño por medio de los dos métodos, aunque las mayores producciones se han dado por explotaciones a cielo abierto o minería superficial. La minería subterránea ha -- contribuido con poco a la producción total del estaño dada su rara existencia y que los yacimientos explotables por este medio son pequeños stock---works con bajo tonelaje explotable si tienen buenas leyes. En el país no existen yacimientos conocidos que se pueden explotar en esta forma y que a la vez resulten económicos (LEWIS & CLARK., 1964).

5.1. MINERIA SUPERFICIAL.

Entre los métodos superficiales, de acuerdo al tipo de yacimiento-- se pueden distinguir los siguientes; según Gómez, R. D., (1985).

a). Explotación de placeres.

-Mediante monitores hidráulicos.

-Mediante dragas, metoescrepas y similares.

- b). Explotación a Tajo Abierto, bajo el sistema convencional de --
banqueo generalmente con la ayuda de explosivos.

Entre de los métodos superficiales se ha visto que la explotación de placeres y terrazas aluviales mantiene un lugar preponderante, ya que - la mayor parte de la producción del estaño se ha obtenido mediante de éstos.

A continuación se describen los métodos superficiales más utilizados con algunas de sus variantes.

a) EXPLOTACION DE PLACERES.

Un placer se muestrea mediante pozos o barrenos para poder definir la distribución de sus valores calcular sus reservas y evaluar su importancia económica. En forma sucinta, los pasos a seguir en la explotación de un placer son la excavación y el acarreo del material de aluvión que contenga a la casiterita.

Antiguamente se consideraba el uso de la batea y de canalones como métodos de explotación de placeres a baja escala; éstos ahora sólo se pueden considerar como equipo usado para la concentración gravimétrica, por lo que su descripción se encuentra incluida dentro del capítulo de metalurgia (CUMMINS and GIVEN, 1973).

Los equipos que actualmente son considerados eficientes en la explotación de placeres son los monitores hidráulicos, dragas, metoescrepas y similares.

MONITORES HIDRAULICOS.

Para planear la explotación del mineral de casiterita depositada - en un placer mediante monitores hidráulicos se deben definir los siguientes datos:

- Topografía del placer. Sus curvas de nivel son requeridas para poder seleccionar los puntos de ataque, los lugares para el arrastre hidráulico y el depósito finalmente del material estéril o colas.
- Consistencia y granulometría del material de aluvión, así como su ley para determinar su valor comercial por unidad de volumen.
- Gasto de agua necesario y disponible para estimar el ritmo diario de producción.

Una vez investigados los datos anteriores, se hace el proyecto para determinar equipos, tuberías y obras requeridas para la explotación hidráulica del placer.

El uso de los monitores hidráulicos predomina en las explotaciones a gran escala, cuando es necesario descapotar el material estéril del aluvión que cubre a los placeres y en las capas que contienen el mineral de casiterita.

El uso del método de explotación de placeres con monitores hidráulicos, siempre y cuando se cuente con yacimientos extensos y potentes; entre otras condiciones que deben cubrir estos yacimientos son: que la roca del fondo o la base del placer debe tener pendientes del 2 a 6 % para materiales finos y gruesos respectivamente y sobre todo que se disponga con suficiente agua para usarla a presión.

Los monitores hidráulicos son dispositivos especiales conectados con una tubería de alimentación en cuyo extremo libre se coloca de un chiflón o boquilla de acero que produce el chorro.

DESCRIPCION DE OPERACIONES.

El monitor se fijará al suelo con anclas laterales, pero tendrá movilidad de 360° en el plano horizontal y 20° en el plano vertical. Al agua se le da presión mediante bombas, o por columna o altura, estos monitores hidráulicos trabajan a presiones de 5 a 20 kg/cm².

Gracias a la presión obtenida por las bombas, del chiflón sale un fuerte y abundante chorro de agua de al ser dirigido al material de aluvión, hace que éste sea desintegrado in-situ, el material del área que ha sido expuesta al gran chorro de agua queda susceptible de ser transportado o arrasado por la misma agua, con la ayuda de la gravedad a través de zanjas, canales y acequias previamente hecha; el mineral es recolectado para su posterior concentración gravimétrica.

DRAGADO.

La draga es una balsa o barcaza de madera o acero estructural, se puede decir es una máquina flotante de excavación continua o intermitente, combinada con una planta de concentración gravimétrica, provistas de:

- Draga de almeja o cucharón.
- Equipos de excavación continua como Rosario de canjilones o rueda de canjilones.
- Equipos de transporte como bandas y canales.
- Equipos de clasificación y lavado como trommel.
- Equipos de concentración gravimétrica del material de aluvión, - - - sluices, Jigs o medio pesado.

-Sistema de bombeo y tubería.

-Una planta diesel generador de electricidad.

Al igual que en la explotación mediante monitores hidráulicos, en la explotación mediante dragas flotantes ya sea en lagos naturales o artificiales es necesario contar con cierta información como: la topografía y profundidad del placer, naturaleza del material de aluvión consistencia y granulometría y la cantidad de agua disponible.

Las dragas se utilizan siempre y cuando se requiere explotar el placer a gran escala y se cuenta con placeres potentes y extensos, bajo un lago natural o artificial; estos placeres también deben cumplir con la condición de que el material contenido en él, no esté cementado y no debe contener - - abundancia de rocas grandes. La pendiente de la roca del fondo o la base -- del placer no deberá exceder en más del 2 % procurando que ésta sea casi horizontal.

El agua es un factor importante ya que se debe contar con la cantidad suficiente para formar un lago artificial y a su vez reponer el líquido que se pierde por percolación.

DESCRIPCION DE OPERACIONES.

Se forma un estanque o lago artificial donde la draga flota y realiza sus operaciones; este lago, si es artificial, avanza conforme se lleva a cabo la explotación.

La draga avanza sobre el lago a medida que va excavando por delante y en la parte posterior descarga el material no utilizado o ganga, y con él

mismo va rellenando las áreas o huecos que deja al avanzar.

La excavación del placer cuyo material se encuentra depositado en el fondo o al frente del lago artificial, se lleva a cabo por medio del trabajo realizado por un rosario de canjilones; el canjilón una vez que se encuentra en el fondo, excava y llena su cucharón con el material de aluvión para después transportarlo a la superficie y depositarlo en la tolva de almacenamiento. Los canjilones de las dragas tienen una capacidad de 42 a 560 litros cada uno y la velocidad media de operación de 21 a 24 canjilones por minuto. Una draga puede excavar desde 8" hasta 160" por debajo del espejo de agua.

El proceso de clasificación se inicia una vez que el material se encuentra en la tolva de recepción, de ésta pasa a un trommel, el material que contiene los valores por recuperar, las arenas y gravas hasta $\frac{1}{2}$ ", pasa a través de las mallas; posteriormente, es descargado sobre sluices, jigs, mesas concentradoras o tambores de medio pesado donde se lleva a cabo la concentración gravimétrica y el material grueso que no pasa el trommel, que se ha analizado como estéril, descarga a una banda transportadora instalada sobre una pluma inclinada, que lo acarrea y descarga en la parte trasera de la draga. El tamaño medio de los minerales valiosos, incluida la casiterita, se recupera en los jigs.

El uso de estas dragas se ha expandido en todo el mundo, una de sus aplicaciones importantes ha sido en el continente asiático y a continuación se da una referencia de esta aplicación en Tailandia.

Los pequeños mineros Thai, región al sureste de Asia, usan las dra-

gas como método de explotación para extraer el estaño acumulado en depósitos acuíferos. Existen en operación alrededor de 300 dragas y sus tamaños son muy variados dependiendo del tipo que sea la barcaza; estas dragas pueden ser de simples a complicadas contando con equipos de corte y succión, además de estar provistas de lo último en procesos primarios de clasificación gravimétrica como son: jigs hidráulicos, ciclones y también pequeñas bateas a bordo para el tratamiento de la mena de estaño. En algunas operaciones se siguen usando simples dragas con mangueras de succión de 100 mm de diámetro que son controladas por buzos en el fondo.

A algunas millas de Natai, se localiza la zona minera de Billiton -- Tailandia; esta zona es explotada mediante el sistema de dragado, y son utilizadas dragas de succión. Tienen un alcance de dragado de hasta 24.4 metros y están equipadas con tubería de succión y descarga de 26". Su capacidad de dragado es de 5429 m^3 /hora de agua a una profundidad máxima, mientras que de estos 5429 m^3 , 604 m^3 son de sólidos recuperados con una relación de 11.2 % de lodo.

Cuentan a bordo con una planta de concentración primaria que tiene el siguiente equipo: cribas vibratorias, jigs primarios, secundarios y terciarios, un espesador y un tanque para el almacenamiento de los concentrados obtenidos en el proceso.

En el periodo de lluvias, alrededor de 2 meses, se utiliza un arreglo de 5 anclas denominado "Arbol de Navidad", su principal función es de dar estabilidad a las dragas durante el mal tiempo para proseguir sus operaciones ininterrumpidamente.

El desplazamiento de las dragas es de 100 en 100 metros y generalmente cubre períodos de operación de 8 meses al año. Se dragan aproximadamente 2'880,000 m³ de material sólido por cada draga con una producción de 530- m³/hora, la ley promedio es de 0.47 kg de estaño por m³, produciendo aproximadamente 1,111 toneladas métricas de estaño por año durante los 80's.

Estas dragas, tienen servicio y mantenimiento por medio de un remolcador y un barco de servicios generales que se encargan de proveerlas de agua, aceite y refacciones en general para un día completo de labores. Mediante un barco auxiliar se transporta concentrado en forma de slurries o pulpas al poblado de Phuket. Este barco tiene una capacidad para transportar 60 toneladas de slurries, pero por razones de seguridad y estabilidad sólo son transportadas 40 toneladas con un promedio del 30 al 40% de estaño en el concentrado.

La planta de concentración primaria de las dragas está capacitada para producir concentrados de mayor ley, pero en la actualidad se cuenta con el peligro de robo de los embarques de estaño por lo que se consideró más seguro transportar concentrados de menor ley, pese a lo cual se cuenta con protección durante todo el trayecto.

En Billiton Tailandia se opera una planta de procesamiento de estaño por gravedad, produciendo un concentrado con el 98 % de estaño. El proceso incluye cribado, separación por gravedad en jigs, molienda, clasificación en mesas vibratorias para posteriormente pasar a una separación magnética. El producto ahí obtenido es enviado a una refinería en Tailandia que es la más grande del país, para producir estaño metálico, en total se tienen 3 refine-

rias repartidas en todo el territorio; la fundición anteriormente mencionada, también es una de las más importantes a nivel mundial contribuyendo con un 15 % al total mundial de la producción de estaño metálico.

En Burma, se encuentran grandes depósitos de estaño combinado con tungsteno, los depósitos son de tipo de placer donde se encuentra como mineral de estaño únicamente la casiterita. La mina de Mawchi llegó a ser la mina más grande del mundo teniendo un yacimiento de depósito aluvional lodoso, la relación estaño-tungsteno es de 2 a 1, la mena tiene un contenido de 0.97 % de estaño y 0.52 % de tungsteno.

Heinda se encuentra a 40 km de Taboi, es un yacimiento de estaño aluvional que tiene un contenido de casiterita de 0.69 %, la peculiaridad de este depósito es que la casiterita se encuentra en forma de conglomerados y su concentración es por medios gravimétricos.

Dentro de esta provincia metalogenica hay muchas pequeñas minas -- que juegan un papel muy importante dentro de la producción de estaño de este país, en los años 80's se han abierto otras minas en Tenasserim con buenos contenidos de estaño y tungsteno, aún se tienen localizados algunos yacimientos ricos que todavía no son explotados.

b). EXPLOTACION A CIELO ABIERTO.

"Una mina o tajo a cielo abierto es una excavación hecha en la superficie terrestre para poder extraer minerales útiles o comercialmente -- aprovechables, para este fin; también es necesario eventualmente remover grandes cantidades de material estéril o tepetate" (GOMEZ, R. D., 1985). -- Esta es comunmente la definición que dan algunos autores cuando se trata --

de describir una mina superficial o tajo a cielo abierto, para el caso típico del estaño esta definición no sería del todo correcta ya que los yacimientos de estaño que contienen comunmente casiterita diseminada se encuentran no solo cercanos a la superficie sino que afloran en ella, tal es el caso de los yacimientos de formación de ignimbritas, que se explotan principalmente sobre la superficie del terreno.

El tener este tipo de yacimientos generalmente implica el tener muy poco material estéril que remover, lo que trae consigo menores costos de producción y una recuperación de casi el 100 % del material contenido en el depósito mineral.

Con los yacimientos de éste tipo se puede emplear la minería a cielo abierto, ya sea en un banco o en bancos múltiples. El uso de uno de estos métodos dependerá de dos factores que son: la altura total del yacimiento, el tipo y/o tamaño del equipo de perforación y cargado. En general a mayor altura de los bancos corresponde una mayor eficiencia de la perforación y rezagado, debido a que se tienen menores costos por tonelada quebrada y rezagada, así una vez que se tiene la altura total del yacimiento, se determina si la operación se hará mediante uno o varios bancos; a continuación se dá una breve descripción de ellos.

EXPLOTACION A CIELO ABIERTO MEDIANTE UN BANCO.

Se llama así cuando la explotación se lleva a cabo en un sólo nivel de explotación, la altura de dicho banco varía de 12 a 25' para roca poco estable y roca firme respectivamente, la producción dependerá de la capacidad del equipo así como del número de puntos de ataque en el banco; para el

tipo de yacimiento aquí presentado puede tener dos puntos de ataque como - se muestra en la secuencia de la figura V.1.

BARRENACION.

En cualquiera de los puntos de ataque se empieza por la barrena---ción. La selección del diámetro de barrenación depende en gran parte del tipo de roca que se tiene, de la producción deseada y del tamaño de fragmentación requerida. La mayoría de las grandes operaciones a cielo abierto han adoptado diámetros de entre 7 7/8" y 12 1/4" de diámetro, las operaciones medianas utilizan diámetros entre 6" y 7 7/8" y la operación más pequeña cuenta con diámetros de 2 1/2" a 6" (MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS-DUPONT, 1983).

Existen varios criterios para la selección del diámetro de la barrenación, entre ellos el que dice que el tamaño de fragmentación tiende a incrementarse cuando la relación entre la profundidad del barreno y el diámetro de éste es menor que 60.

También se maneja otro criterio que depende del tipo de roca. Para rocas duras es usual que se den barrenos con diámetros pequeños de 2 1/2" a 6" con una plantilla de barrenación relativamente cerrada, esto es que el espaciamiento entre barreno y barreno y entre línea y línea es de 6 a 12' y su profundidad variará según la altura del banco. Por el contrario, para volar rocas menos duras se usan diámetros de barrenación más grandes de 9" a 12" y su plantilla de barrenación es más amplia, tanto en el espaciamiento entre barrenos como entre líneas, siendo éste de 30' a 50'.

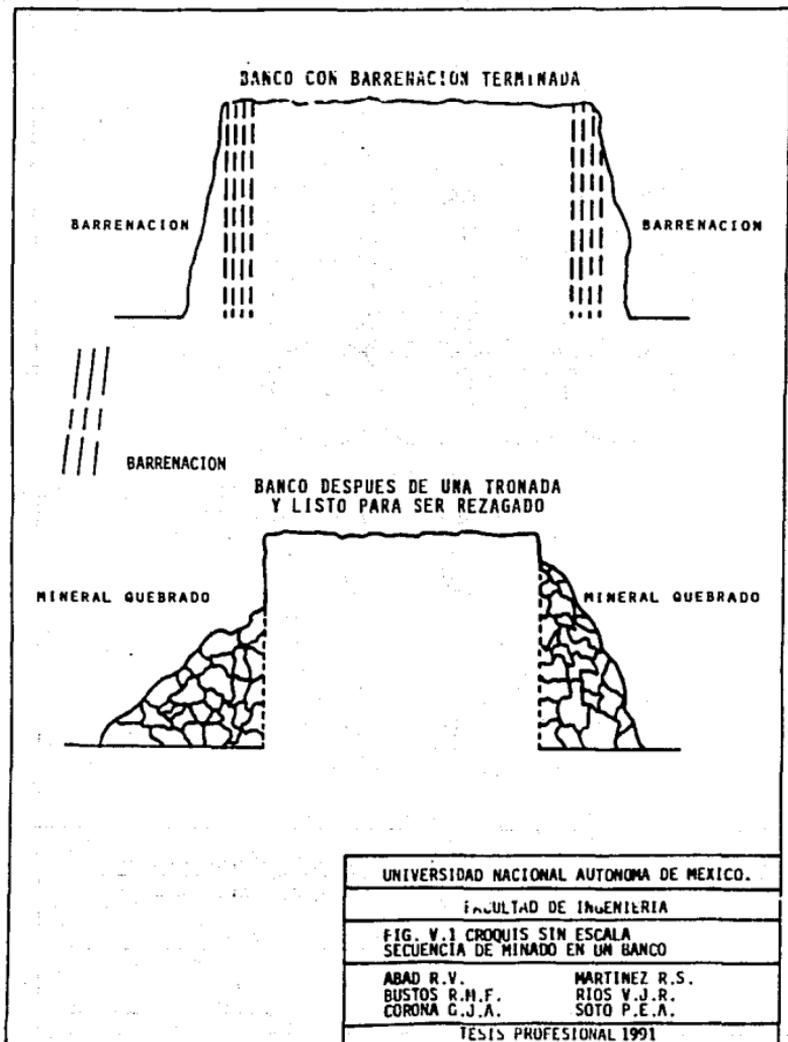
Existen varios tipos de plantillas de barrenación, las más frecuentes usadas: cuadradas, rectangulares y en "tres bolillo".

La mejor distribución de energía para una buena fragmentación de la roca se logra con el uso de la plantilla a "tres bolillo", teniendo una relación bordo espaciamento entre 1 y 1.5. Las plantillas cuadradas y --rectangulares proporcionan menos cobertura como lo muestra la figura V.2 --donde se aprecian las áreas de influencia del explosivo en los barrenos, --en las plantillas cuadradas se encuentran zonas que no entran en las áreas de influencia de ningún barreno, mientras que en las plantillas a "tres bolillo" hay un recubrimiento total en el banco.

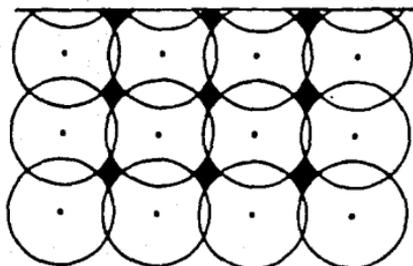
La plantilla cuadrada tiene igual bordo y espaciamento; los barrenos en cada línea están alineados directamente enfrente de los barrenos de la línea de enfrente.

La plantilla rectangular, tiene un bordo menor que el espaciamento, los barrenos de cada línea tienen también alineamiento con los barrenos de enfrente. Figura V.3.

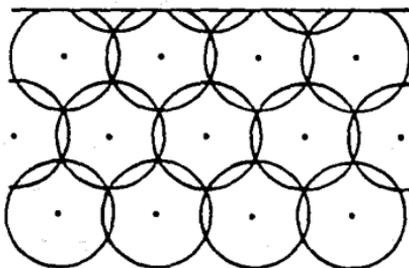
La plantilla en "tres bolillo" puede tener también bordo y espaciamento igual. Sin embargo es más usual con el bordo menor que el espaciamento. Los barrenos en filas alternadas están a la mitad del espaciamento de la fila de enfrente. Los beneficios reales de una plantilla a "tres bolillo", pueden ser menos evidentes en terrenos muy fracturados, donde --los planos de factura impiden seriamente el desarrollo de las ondas radiales. Figura V.4.



C U A D R A D O



T R E S B O L I L L O .



AREAS DE INFLUENCIA EN LA BARRENACION



AREAS SIN INFLUENCIA

DEPTO TECNICO ATLAS DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FA. ULTAD DE INGENIERIA.

FIG. V.2

PATRONES DE BARRENACION

ABAD R.V.

BUSTOS R.M.F.

CORONA G. J.A.

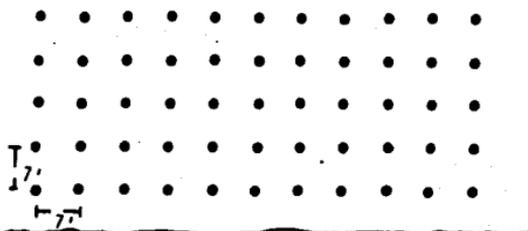
MARTINEZ R.S.

RIOS V.J.R.

SOTO P.E.A.

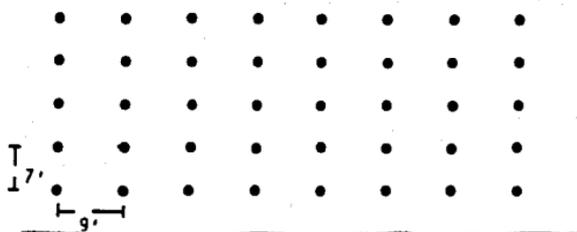
TESIS PROFESIONAL 1991

PLANTILLA CUADRADE DE 7' X 7'



CARA LIBRE

PLANTILLA RECTANGULAR DE 7' X 9'



CARA LIBRE

● BARRENACION

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

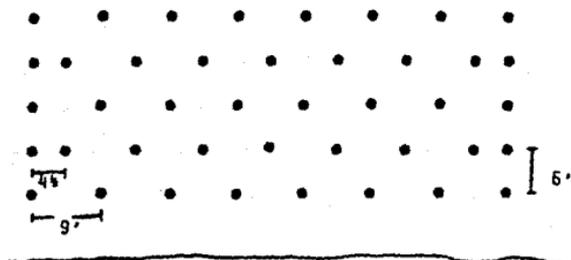
FACULTAD DE INGENIERIA.

FIG. V.3
PLANTILLAS CUADRADE Y RECTANGULAR

ABAD R.V.	MARTINEZ R.S.
BUSTOS R.N.F.	RIOS V.J.R.
CDRONA G.J.A.	SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991

PLANTILLA EN TRES BOLILLO DE 6' X 9'



CARA LIBRE

● BARRENO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

FIG. V.4
PLANTILLA EN TRES BOLILLO

ABAD R.V.	MARTINEZ R.S.
BUSTOS R.M.F.	RIOS V.J.R.
CORONA G.J.A.	SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991

También con diámetros pequeños en bancos altos, la barrenación sufre desviaciones con resultados en la plantilla en la pata, muy diferentes a los planeados en la parte superior del banco. Por lo tanto en estas condiciones los resultados de una plantilla a "tres bolillo", pueden ser superados por la conveniencia de usar una plantilla cuadrada.

VOLADURA

Los factores que intervienen en los resultados de la voladura son los siguientes; según el Departamento Técnico de Atlas de México, (1988).

1. Tipo de roca.
2. Tipo de explosivo.
3. Factor de carga.
4. Factor de energía.
5. Geología estructural.
6. Simetría de la barrenación.
7. Forma de cebado.
8. Utilización de retardadores.

1. Tipo de roca. El comportamiento de las ondas provocadas por la detonación de un explosivo en un barreno es diferente para cada tipo de roca. La propagación de las ondas es más rápida en una roca dura que en roca blanda (ver tabla 5.1.). La composición de la roca tiene gran influencia en la fragmentación de ésta. Muchas rocas duras se rompen con mayor facilidad que una roca suave.

2. Tipo de explosivo. Cada explosivo cuenta con características-

propias como son: densidad, velocidad de detonación, resistencia al agua y energía disponible.

3. Factores de carga. Se define como la cantidad de explosivo -- utilizado por cada metro cúbico o por cada tonelada de roca y se expresa en gr/m^3 o gr/ton .

El factor de carga que se utiliza varía según el tipo de roca. Pero aún cuando se trate de un mismo tipo de roca puede variar dependiendo de: el grado de intemperismo, la geología del yacimiento o el tamaño del equipo utilizado en la operación de carga, acarreo y el tamaño de la trituradora.

4. Factor de energía. El factor de energía depende del tipo de explosivo que se está utilizando; es importante constatar que aún con el mismo factor de carga se pueden tener factores de energía diferentes. Esto obedece a la energía que proporciona cada explosivo.

Este factor se mide en unidades de energía por metro cúbico - - - (U.E./m^3) o unidades de energía por tonelada (U.E./ton). En algunas aplicaciones, puede ser necesario considerar la distribución de energía en el barreno cuando las condiciones geológicas del terreno las requieran.

5. Geología estructural. Las estructuras geológicas tales como fisuras, oquedades, fallas, potencia y posición de los estratos, etc., -- juegan un papel muy importante en los resultados de las voladuras, por lo que deben de tomar las precauciones pertinentes para optimar los resultados.

T A B L A 5.1.
VALORES TÍPICOS DE VELOCIDAD DE LAS ONDAS "P" Y "S"
(DEPARTAMENTO TÉCNICO DE ATLAS DE MÉXICO, 1988)

M A T E R I A L	VELOCIDAD m/seg (p)	VELOCIDAD m/seg (S)	DENSIDAD
Granito	3900-6100	2100-3350	2.67
Gabro	6500	3450	2.98
Basalto	5600	3050	3.00
Dunita	8000	4100	3.28
Arenisca	2400-4300	900-3050	2.45
Caliza	3000-6100	2750-3200	2.65
Lutita	1800-4000	1050-2300	2.35
Sal	4400-6400	---	---
Yeso	2100-3600	1100	2.30
Pizarra	3600-4450	2850	2.80
Marmol	5800	3500	2.75
Cuarcita	6000	---	2.85
Esquisto	4500	2900	2.80
Gneiss	4700-5600	---	2.65
Aluvión	500-2000	---	1.54
Arcilla	1100-2500	580	1.40
Suelo residual o vegetal	150-750	90-550	1.1-2.0
Arena	1400	450	1.93
Agua	1450	0	1.0
Hielo	3350	---	0.9
Aire	340	---	---

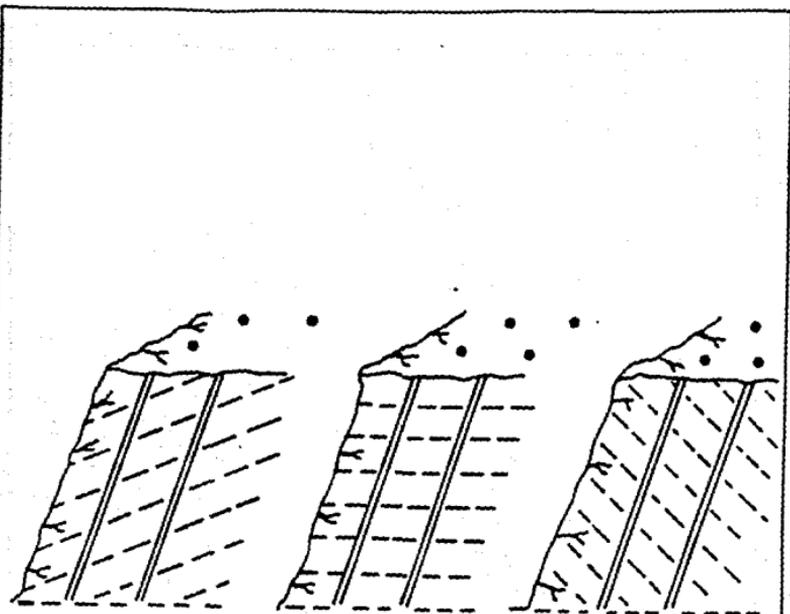
En rocas fisuradas las voladuras deben ser planeadas cuidadosamente tomando en cuenta la magnitud de las fisuras, normalmente los patrones de barrenación no deben ser muy amplios, y se deben de utilizar explosivos de baja velocidad y que generen mayor cantidad de gases. Cuando se utilizan diferentes tipos de explosivos conviene señalar que las unidades de energía por unidades de peso son importantes y se deben tomar en cuenta al comparar sus efectos.

En rocas estratificadas las voladuras deben ser planeadas tomando en cuenta el echado y rumbo de la estratificación. Cuando la estratificación tiende a la horizontal es conveniente que la inclinación de los barrenos permita atravesar los planos de contacto de los estratos para optimar el funcionamiento de los explosivos. Figura V.5.

Si la estratificación tiende a la vertical es conveniente disponer las voladuras de tal manera que el barreno rompa en ángulo recto con los planos de estratificación. Figura V.6.

6. Simetría de la Barrenación. El paralelismo entre barrenos así como la simetría del patrón de barrenación son factores que intervienen en la homogeneidad de la fragmentación de una voladura. Figura V.7.

Cuando no se tiene en cuenta este factor los resultados que se esperan no podrán ser homogéneos y pueden presentar, en algunos lugares --- excelentes resultados y en otros muy malos, debido a las diferentes concentraciones de carga explosiva provodados por la desviación de los barrenos. Figura V.8.



MENOS ADECUADO

ADECUADO

ADECUADO



ESTRATIFICACION



BARRENACION

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

FIG. V. 5
MODELO DE ESTRATIFICACION

ABAD R.V.

MARTINEZ R.S.

BUSTOS R.M.F.

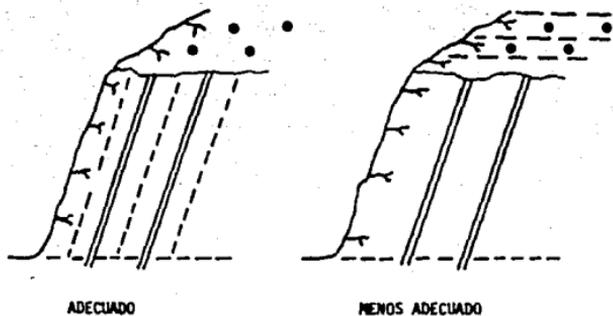
RIOS V.J.R.

CORONA G.J.A.

SOTO P.E.A.

DEPTO. TECNICO ATLAS DE MEXICO

TESIS PROFESIONAL 1991




 BARRENACION

DEPTO. TECNICO ATLAS DE MEXICO

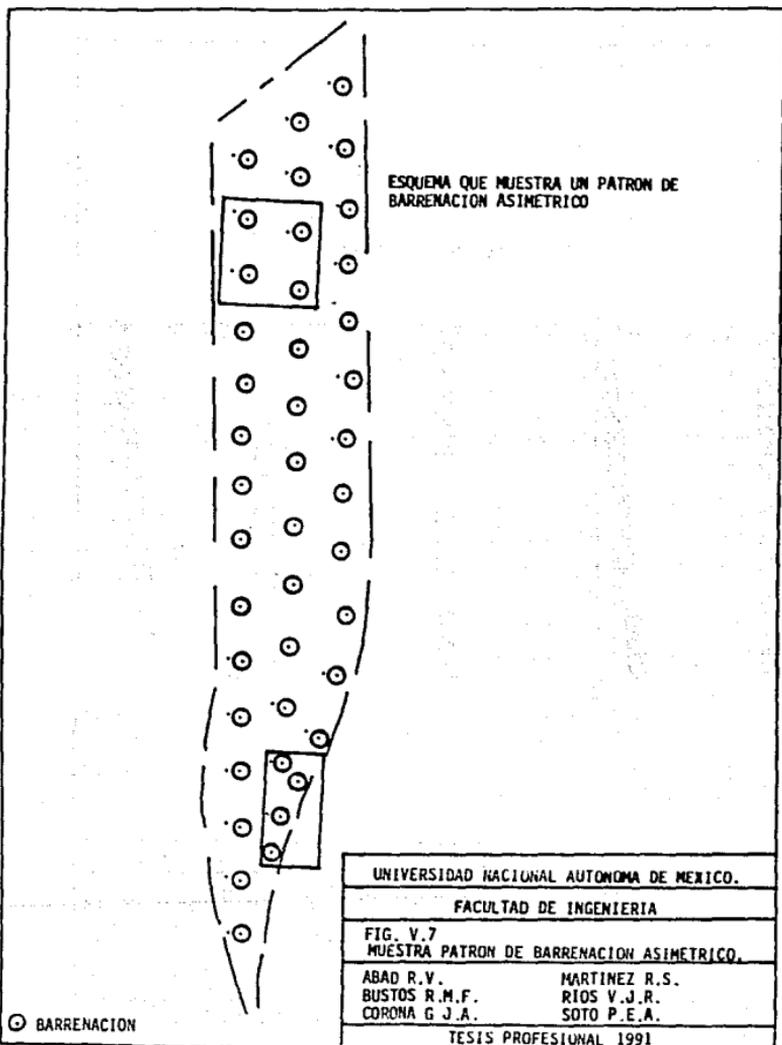
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

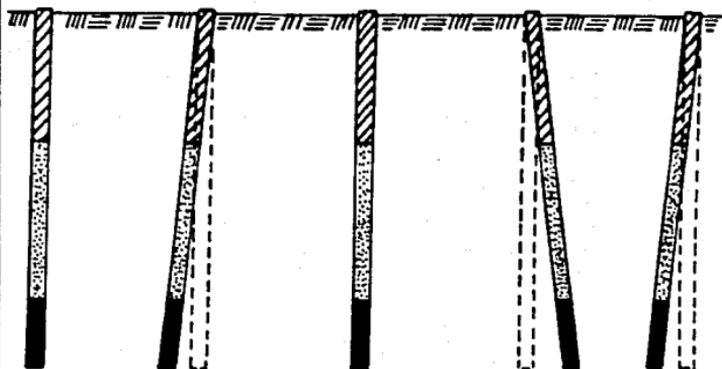
FIG. V.6
MODELOS DE ESTRATIFICACION

ABAD R.V.	MARTINEZ R.S.
BUSTOS R.M.F.	RIOS V.J.R.
CORONA G.J.A.	SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991



DESVIACIONES EN LA BARRENACION



BARRENACION SIN DESVIACION

DEPTO. TECNICO ATLAS DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

FIG. V.8
MUESTRA LA DESVIACION DE LA BARRENACION.

ABAD R.V. MARTINEZ R.S.
BUSTOS R.M.F. RIOS V.J.R.
CORONA G.J.A. SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991

7. Forma de cebado. El cebado adecuado de un explosivo es de vital importancia para obtener una reacción completa del explosivo que se está detonando, tanto en calidad como en cantidad de producto cebante.

Los cebos son más efectivos cuando se colocan de tal manera que la onda de detonación de los iniciadores y de la carga cebo, se dirija en dirección hacia donde se desplazará la onda de detonación.

En la figura V.9 se muestra la identificación de los parámetros que intervienen en una voladura a cielo abierto.

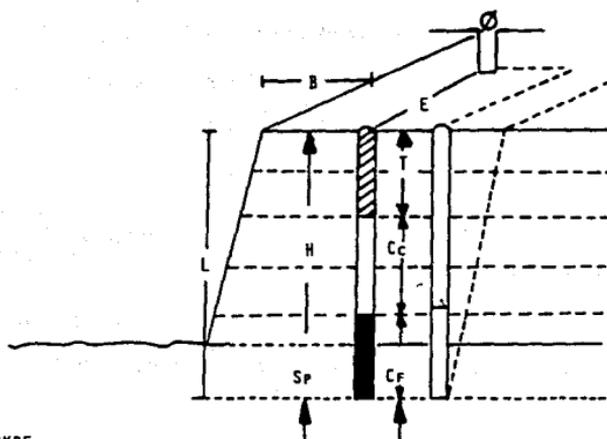
REZAGADO.

Consiste en levantar el mineral que se encuentra en el banco de producción y que fue producto de una tronada.

El cálculo de las unidades dependerá únicamente del ritmo de producción que se requiera de su volumen y factor de abundamiento.

ACARREO.

Al igual que el equipo de rezagado su capacidad estará determinada sólo por el ritmo de producción requerido; el acarreo se refiere al -- transporte del mineral y del estéril, en caso que haya del banco a la -- planta de beneficio o a los terrenos o tiraderos, respectivamente, lo normal es que se utilicen para el acarreo, unidades con llantas, ya que se ha comprobado que son más aptas dada su versatilidad y su gran gama de capacidades.



DONDE:

- B = DIAMETRO DEL BARRENO (PULGADAS)
- B = BORDO (m)
- E = ESPACIAMIENTO (m)
- L = LONGITUD DEL BARRENO (m)
- H = ALTURA DEL BANCO (m)
- T = TACO (m)
- Sp = SUB-PERFORACION (m)
- Cc = CARGA DE COLUMNA (m.kgs)
- Cf = CCARGA DE FONDO (m.kgs)
- Fc = FACTOR DE CARGA (GR/T)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

FIG. V.9
PARAMETROS DE VOLADURAS.

ABAD R.V. MARTINEZ R.S.
BUSTOS R.M.F. RIOS Y.J.R.
CORONA G.J.A. SOTO P.E.A.

DEPTO. TECNICO ATLAS DE MEXICO

TESIS PROFESIONAL 1991

EXPLOTACION MEDIANTE BANCOS MULTIPLES.

La explotación a cielo abierto que se hace mediante bancos múltiples es aplicable a yacimientos mayores de 15 metros, dada la configuración típica de los yacimientos de estaño los bancos múltiples se harían en forma horizontal y estarían únicamente unidos por la rampa que sirve de acarreo.

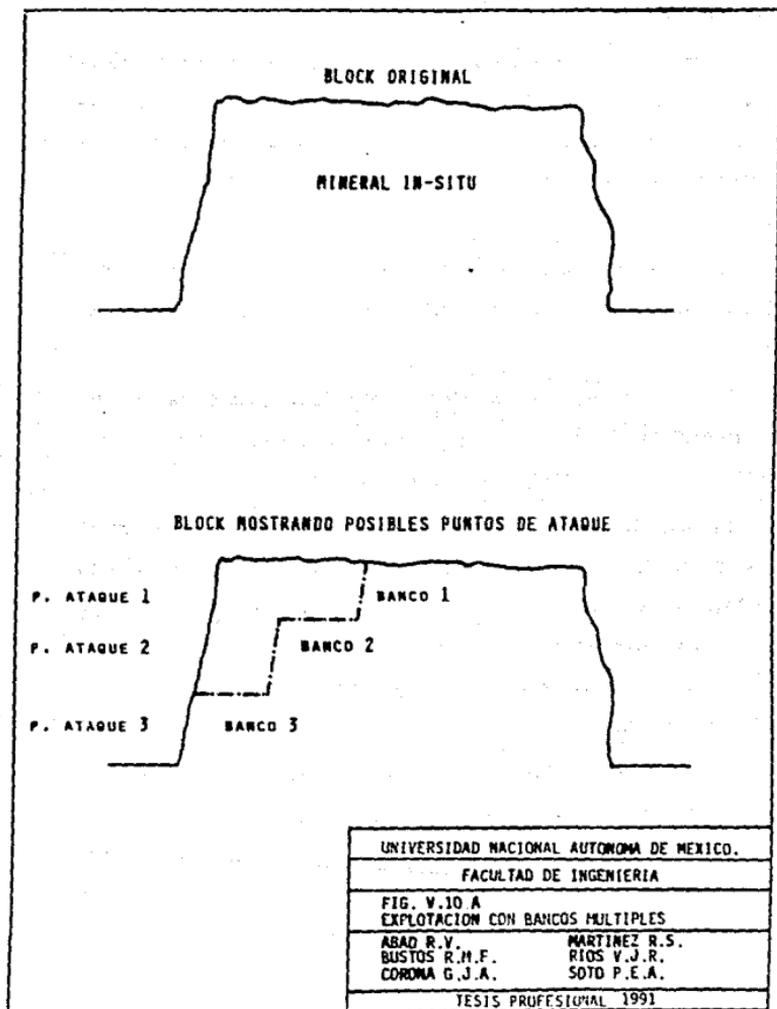
Los parámetros de barrenación, rezagado y acarreo son los mismos que los ya explicados para la explotación a cielo abierto mediante un sólo banco.

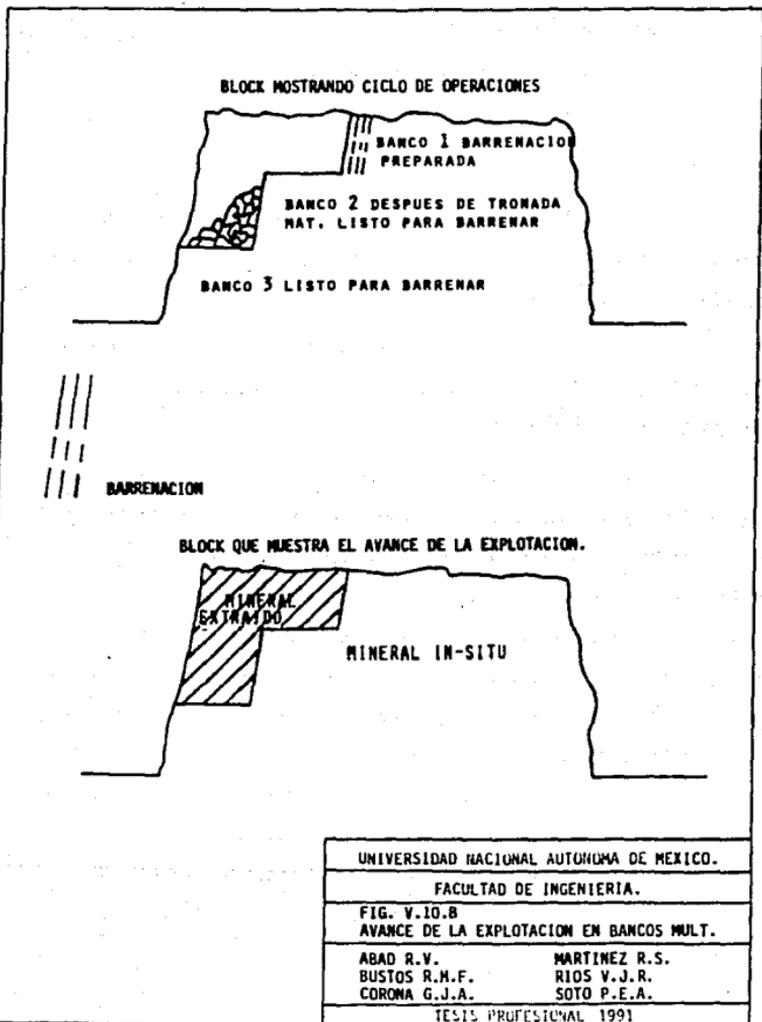
Cuando se lleva la explotación en bancos múltiples es más común tener ritmos de producción más grandes ya que en este caso se cuenta con más puntos de ataque. Figuras V.10A y V.10B.

En ambos tipos de explotación, de un solo banco y en bancos múltiples, se puede llegar a extraer tonelajes altos aún cuando la ley de estaño sea baja, ya que los costos de operación son relativamente bajos comparados con la minería subterránea y por tanto es posible explotar mineral de baja ley relativamente y tener tonelajes mayores sin llegar a tener pérdidas económicas.

El tumbado a cielo abierto es más ventajoso que el tumbado subterráneo si se toma en consideración los siguientes factores:

- Mayor flexibilidad de operaciones.
- Menores costos.
- Mejores condiciones ambientales de trabajo.





- Mayor recuperación.
- Mejor control de las leyes de estaño.
- Mayor seguridad de las condiciones de trabajo.

5.2. MINERÍA SUBTERRÁNEA.

Como ya se hizo mención, anteriormente, se emplea la minería subterránea cuando se cuenta con yacimientos cuya profundidad está muy por debajo de la superficie.

En la República Mexicana se han encontrado depósitos de estaño -- con casiterita; estos depósitos se encuentran en pequeños filones o stock-works que arman en riolita.

Es usual que los filones y vetillas sean de buenas leyes (0.8 a 3.5 % de estaño) aunque potencialmente tienen tonelajes bajos; la mayor parte del mineral de estaño es explotado por gambusinos que trabajan con métodos rudimentarios y cuentan apenas con el equipo indispensable como son: cuñas, palas, marros y ocasionalmente explosivos. La escasa potencia de las vetas o laborios existentes y su forma irregular hacen notar que es usual seguir los trabajos a rumbo de veta con el mínimo de excavación posible por medio de picos para tumbar el mineral; también se usan explosivos cuando se encuentran en zonas profundas ya que los cantos de la formación son muy grandes; estos gambusinos sacan apenas lo indispensable del material estéril de los respaldos. Cuando llegan agotar el mineral a la vista de una excavación pronto la abandonan. Dejan muy poco mineral a la vista en las minas abandonadas y casi nada en los terrenos don

de realizan el despunte o lavado del material (FRIES, C. y SCHMITTER, E., 1948).

Sólo se desarrollan trabajos de extracción en pequeña escala ya que generalmente se hacen labrados irregulares que siguen los enriquecimientos de los stock works y formaciones de brecha; en algunos de ellos se demuestra la persistencia de la mineralización a rumbo y en otras a profundidad, aunque se encuentre mineralización a profundidad, las obras mineras cuentan con muy poco desarrollo debido principalmente a que los gambusinos cuentan con poco equipo para la explotación a grandes o medianas profundidades (SMITH, C.W., GUIZAR, R. y SEGERTRIM, E., 1957).

Para los gambusinos ha resultado costoso la explotación de muchos de los pequeños yacimientos de estaño in-situ ya que casi no hacen uso de maquinaria y explosivos. La explotación se realiza por excavaciones angostas en las porciones ricas situadas entre respaldos relativamente estériles. Es sumamente pequeña la proporción de casiterita diseminada en la roca de los respaldos de las vetillas, ocupando por lo general, una zona angosta inmediata a ésta. La anchura de la mayoría de los laberios de las minas no sobrepasan la amplitud necesaria para que un hombre pase con dificultad por ella, ensanchándose nada más donde se han encontrado bolsas de material rico.

Si se tiene en cuenta que las vetas tienen casi sin excepción espesores menores a 25 cm y que en su mayor parte están formadas por meras incrustaciones en las paredes de grietas angostas, erráticamente interrumpidas por bolsa o clavos, se comprenderá que para llevar a cabo una explotación sistematizada y con la ayuda de maquinaria y equipos propios

para chicas o medianas producciones habrá de ampliar el angosto espacio - más allá de los respaldos, bajando por tanto la ley del material tumbado. Por lo consiguiente debe de tratarse de labrar a un mínimo la anchura del laborío, y no serán aplicables, como se comprende, los métodos ordinarios de desarrollo mediante el empleo de maquinaria, en los que habría que extraer mucha roca estéril.

El material que se tumba es extraído mediante un pequeño malacate de mano o bien es cargado por los operarios hasta el exterior, donde se quiebra o pepena a mano para lavarse después en una plantilla, constituida por una plataforma ligeramente inclinada, para posteriormente transportarlos hasta las poblaciones vecinas.

Los defectuosos sistemas de explotación que se siguen han originado que gran parte de las minas se encuentren aterradas y en malas condiciones para proseguir trabajos. En caso de querer continuar la explotación de estas minas en el transcurso del tiempo es de recomendarse la sistematización de los procedimientos de explotación que se siguen, para mejorar y conservar las obras de extracción como son tiros y niveles, ya que al volver a explotar algunas minas que se habían abandonado anteriormente por falta de mineral, se han encontrado excepcionalmente nuevos clavos de mineral.

Hay pocos datos acerca de la producción de estaño, así como de la ley de las menas procedentes de los yacimientos explotados en escala algo mayor a la ordinaria. Los datos obtenidos bastan de cualquier manera, para demostrar que no ha sido costeable en ningún caso el tipo de explota-

ción por minería subterránea ya que comparando los métodos de minado que prevalecen a nivel nacional con los métodos mecanizados de explotación a gran escala de los demás minerales, es de dudarse que mediante algún nuevo método se consiga reducir los costos de minado del estaño en vetas, -- stock-works y en general cualquier método de explotación subterránea.

Algunos yacimientos de Zacatecas tienen buenas leyes, por ejemplo se cuenta con depósitos como "El León", que alcanza hasta 3.7% de estaño - en formaciones de vetillas, al igual que éste existen otros yacimientos - con diversos tipos de cuerpos como son: diseminados, relleno de fisuras, - etc., pero la desventaja es que se cuentan con tonelajes bajos de aproximadamente 80,000 toneladas que no son económicamente explotables si se -- analiza que el yacimiento sólo tendría vida de un año si se tuviera un -- ritmo de producción de 220 ton/día. Económicamente no sería explotable - dados los costos que se tendrían por las obras de desarrollo y explota--- ción. Existen algunos otros yacimientos que cuentan con tonelajes más -- grandes pero su ley baja considerablemente a 0.327% de estaño (VAZQUEZ,-- T. R., 1990).

La explotación subterránea sólo tiene importancia a nivel mundial en Bolivia. En las restantes zonas mineras importantes se han explotado algunos filones. A estos filones se llega por el método usual de tumba - sobre carga. Los depósitos de Bolivia forman vetas estrechas y complejas en mezcla con minerales de cobre, plomo, bismuto, arsénico y azufre, en - algunos casos wolframio; dichos depósitos requieren de costoso laboreo y - costoso sistema de concentración, lo cuál unido a los elevados gastos de-

transporte hace que Bolivia sea el productor importante de más alto costo de operación a nivel mundial.

La mina de estaño más importante y grande de Bolivia, Huanuni se encuentra a 100 km al sureste de Oruro en el centro del cinturón boliviano de estaño.

Huanuni es la mina más rica de Comibol y ciertamente la mina de estaño más rica del mundo. Esta unidad había suspendido sus operaciones por la crisis mundial de estaño que hubo en 1986, cuando el precio del estaño bajó a 2.57 dolares/libra; durante este cierre la unidad tuvo pérdidas por 2 millones de dólares. Ahora vuelve a la producción con 1,000 toneladas diarias. Su ley promedio es buena, 1.7 % de estaño, y puede llegar a alimentar a la planta mineral con ley de 2.5 % ya que existen clavos ricos con leyes de hasta 3.5 % de estaño.

Se tiene programada una producción de 300 toneladas mensuales de concentrado de estaño.

En el período en que esta unidad estuvo fuera de operación y producción se hicieron desarrollos en las áreas superiores de la mina y se realizó exploración en los niveles profundos; en dichos niveles, la exploración ayudó a identificar que existe mineralización con leyes más altas que el 3.5 % de estaño. Actualmente se están realizando programas de explotación, con todo esto se ha determinado que Huanuni tiene un futuro muy próspero. El desarrollo de la mina está en pleno avance y se reconstruyó completamente la concentradora.

El depósito está formado de cuarzo-casiterita en un anticlinal de

rocas sedimentarias sobre un intrusivo.

Las vetas que están asociadas a fracturas, causadas por el plegamiento de las rocas sedimentarias son muy cortas tanto en ancho como en -- largo, tienen un buzamiento de 70 a 80° y son generalmente de 0.8 a 1.0 me-- tros de ancho, aunque en ocasiones pueden llegar a 2.00 metros. El minado se realiza en dirección de las vetas.

Cuenta con un nivel principal, tiene dos tiros casi verticales, -- Prometedora de 160 metros y Cruz de 240 metros, que dan acceso a niveles -- más profundos; el 60 % de la producción total de la mina proviene de estos niveles.

El área de mineralización y el ancho de las vetas aumenta a mayor-- profundidad, esto augura un próspero futuro para la unidad, si todo esto -- se confirma, tanto las reservas como las leyes aumentarán y la mina será -- más rica.

Los niveles principales tienen una separación de 40 metros, el mé-- todo de minado es el de tumbé sobre carga que a continuación se describe.

a) TUMBRE SOBRE CARGA (GUERRERO, L.E., 1985).

Aplicabilidad. Para vetas de potencias variables (de 2 a 10 me-- tros) con inclinaciones mayores a 50°. La mineralización deberá ser lo -- suficientemente consistente para autosoportarse; los respaldos deben ser-- mediana firmeza por cuestiones de seguridad y evitar también la dilución-- cuando se esté vaciando el rebaje.

Obras de preparación. Existen dos variantes: una empleando pa--

rrillas y chutes, la otra es empleando cruceros para rezagar con pala - - neumática.

Para el primer caso y una vez bloqueado el cuerpo a explotar, es necesario colocar primeramente un subnivel 4 metros arriba del nivel al - alto y a rumbo de veta, enseguida se cuele un segundo subnivel 4 metros - arriba del anterior también a rumbo de veta y descubriéndola en su totali - dad.

Se cuelean los contrapozos del chute (un total de 5 por rebaje), - separados unos 20 metros entre sí del nivel inferior al primer subnivel y se instalan las parrillas. De ésta se cuelean los contrapozos al segundo - nivel desde donde se inicia la explotación. Al centro del rebaje se cue - la un contrapozo para explorar la veta y servir de ventilación.

La segunda variante es muy similar a la anterior, en muchas de -- las operaciones, por lo que únicamente se mencionaran las diferencias - - principales. Se empieza colando un contrapozo en un extremo del rebaje y que servirá de acceso al subnivel 4 metros arriba del nivel; este contra - pozos se aloja al alto de la veta. A continuación se cuele el primer cru - ceros a una distancia de 10 metros del contrapozo, con un desarrollo de 6 - metros hacia abajo y una sección de 3.0 x 3.0 metros; estos cruceros se - dan cada 20 metros y a continuación se cuele el otro contrapozo extremo - para el camino a 10 metros del último crucero.

En el fondo de los cruceros y con una sección inicial de 1.5 x -- 1.5 metros se cuelean contrapozos para chorreaderos, buscando la veta para ir en ella antes de llegar a la elevación del subnivel; el primer trueno-

se da horizontalmente para que la carga no invada el crucero; los siguientes truenos en esos chorros ya pueden darse a 45° y con secciones mayores pues se deberá formar un embudo para el mejor deslizamiento del mineral -- quebrado. A continuación se cuele el subnivel descubriendo la veta.

Obras de explotación. A partir del subnivel y en un extremo del rebaje se inicia el tumbado en forma horizontal y se extrae del chorro correspondiente un tercio del tonelaje tumbado y se trata de que el punto -- más alto del rebaje sea la salida del aire para ventilación; deben también irse colando los caminos laterales y avanzarse junto con el rebaje. En -- los lugares del rebaje donde la consistencia de la roca es débil se dejan pilares para soportar el alto. La recuperación es de 80 a 90 %, tiene seguridad media y buena ventilación.

VENTAJAS.

- a) Se pueden explotar yacimientos de diversos tamaños.
- b) Se requieren pocas obras de desarrollo, por lo que éstos costos son bajos.
- c) No se requiere el uso de madera en el lugar de trabajo debido a que -- los respaldos se sostienen solos.
- d) No hay necesidad de mover el material tumbado (no hay traspaleo).
La extracción del mineral se hará por gravedad.
- e) Los trabajos de tumbado se hacen sobre piso seguro, el cual es proporcionado por la carga que permanece en el rebaje.

- f) Pueden trabajar simultáneamente un gran número de hombres que dependerá del tamaño del rebaje.
- g) Se obtiene una buena ventilación y en forma fácil, la circulación de aire por los contrapozos laterales, por lo que el costo de ésta es bajo.
- h) Es un método barato con una recuperación aceptable del 80 al 90 %.

DESVENTAJAS.

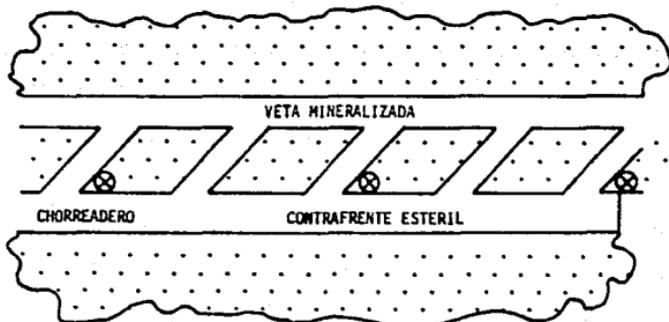
- a) Aunque el rebaje puede ser llevado rápidamente a la fase de producción solamente se dispone de un tercio de la mineral quebrado de inmediato.
- b) Se mantiene gran cantidad de material quebrado dentro de la mina dos tercios del tumbado, por tanto, queda dinero inactivo sujeto a las variaciones del mercado.
- c) Si las paredes durante la explotación llegan a aflojarse o tornarse no consistentes, la carga se verá diluida durante la extracción del mineral.
- d) Hay pocas posibilidades de hacer una clasificación entre mineral, mineral pobre y tepetate. Debido a que si se dejan como pilares "caballos de tepetate" podrían ocasionar un encampanamiento de la carga.
- e) Las características físicas del mineral deben ser tales que permitan extraerlo con facilidad una vez tumbado. Los materiales que se apelmazan considerablemente después de tumbados, no pueden ser explotados -- por éste método.

- f) Cuando se utilizan chutes, es necesario tener carga no muy gruesa para evitar los encampanamientos en los mismos.
- g) Cuando los echados de la veta tienen una disminución puede complicarse considerablemente la extracción del mineral.
- h) Si hay cambios en las características físicas del mineral y roca encajonante, se hace necesario un cambio de método.
- i) Es difícil mantener limpios los caminos durante el acarreo así mismo los caminos laterales de anillado, a medida que se suben se pueden cerrar.
- j) Si el lugar es húmedo, el mineral se oxida y posteriormente esto afecta a su proceso de beneficio.
- k) En vetas muy anchas, si llegan a presentarse zonas fracturadas o debilitadas, llegan a ocurrir desprendimientos bruscos haciendo inseguro el trabajo.

En esta mina, Huanuni, se emplean locomotoras eléctricas para llevar el mineral a la quebradora. En la planta concentradora se ha instalado una nueva concentradora por gravedad. La concentradora es la típica construida en una pendiente para tener la mayor ventaja de gravedad, la planta se ha estado reconstruyendo, tienen nuevos jigs, molino de bolas, mesas concentradoras, sin embargo se sigue con el tradicional método de concentración por gravedad.

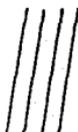
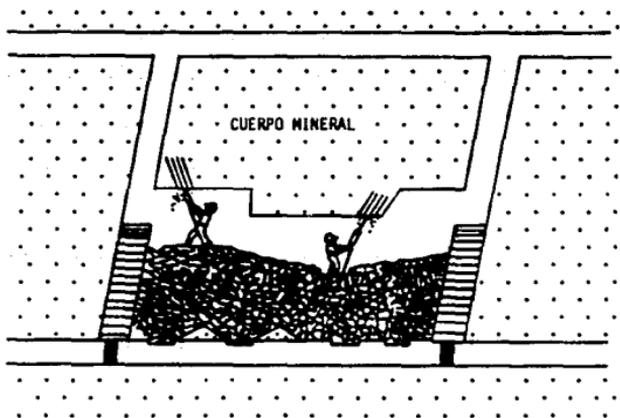
La mina Huanuni puede llegar a producir 400 toneladas de estaño por mes.

En las figuras V.11 y V.12 se muestran esquemas del sistema del tumbé sobre carga.



⊗
 CHORREADERO
 GUERRERO, I.E.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.	
FACULTAD DE INGENIERIA.	
FIG. 11 SISTEMA DE TUMBE SOBRE CARGA	
ABAD R.V. BUSTOS R.H.F. CORONA G.J.A.	MARTINEZ R.S. RIBS V.J.R. SOTO P.E.A.
TESIS PROFESIONAL 1991	



BARRENAION

GUERRERO, L.E.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.	
FACULTAD DE INGENIERIA.	
FIG. 12	
SISTEMA DE TUNBE SOBRE CARGA.	
ABAD R.V.	MARTINEZ R.S.
BUSTOS R.M.F.	RIOS V.J.R.
CORONA G.J.A.	SOTO P.E.A.
TESTS PROFESIONAL 1991	

BIBLIOGRAFIA.

- CUMMINS and GIVEN., 1973. Mining Engineering Hand Book. AIME. New York,-
York, U.S.A.
- DEPARTAMENTO TECNICO DE ATLAS DE MEXICO, 1988. Uso de Explosivos en Méxi-
co. Atlas de México, S.A., pp. 179-198.
- FRIES, C. y SCHMITTER. E., 1948. Los placeres de estaño de la región de --
Guadalcazar, Edo. de San Luis Potosí. Instituto Nacional pa-
ra la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 17. México,-
D.F., 59 p.
- GÓMEZ, R. D., 1965. Apuntes de Explotación de Minas III. Facultad de In-
geniería, UNAM, México, D.F.
- GUERRERO, L. E., 1985. Planeación y Programación de Proyectos Mineros. -
Industrial Minera México, S.A., pp. 5-7.
- LEWIS & CLARK., 1964. Elements of Mining. John Wiley and Sons, Inc. - -
New York, U.S.A.
- MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS DUPONT, 1983. Sección de Desarrollo de-
Ventas, División de Productos Explosivos E. I. Dupont. De ---
Nemours y Co., Willmington Delawerg., pp. 267-298.
- SMITH, C. W., GUIZAR, R. Y SEGERTRIM, E., 1957. Los Yacimientos de Esta-
ño en el Estado de Durango, Instituto Nacional para la Inves-
tigación de Recursos Minerales. Bol. 36, México, D.F.
- VAZQUEZ, T. R., 1990. Carta Metalogenética del Estado de Zacatecas. Te-
sis Profesional Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F.

C A P I T U L O VI.

6.- METODOS DE BENEFICIO

6.1. TRITURACION Y MOLIENDA

a). CONCENTRACION

6.2. FUNDICION DEL ESTAÑO

a). FUNDICION EN HORNO DE HOGAR ABIERTO U HORNO DE CUBA.

b). FUNDICION EN HORNO DE REVERBERO

6.3. REFINADO DEL ESTAÑO

a). REFINACION ELECTROLITICA

6.4. PROCESO ELECTROLITICO ALCALINO

BIBLIOGRAFIA.

6.-METODOS DE BENEFICIO.

El mineral de estaño, que se presenta principalmente en forma de casiterita impura proveniente de diversos tipos de yacimientos o depósitos de placer se benefician por medios mecánicos o de concentración gravimétrica,-- aprovechando su gran densidad para la separación de impurezas por medio de mesas vibratorias, jigs, medio pesado o simplemente por tratamientos de lavado en tanques asentadores, canalones y hasta en bateas.

Los minerales de estaño provenientes de vetas son reducidos al tamaño necesario por métodos convencionales de trituración y molienda, eventualmente hasta el tamaño de 20 mallas para lograr su liberación; el concentrado que resulta es, generalmente de menor grado (60-70 % de estaño) que los concentrados provenientes de depósitos de placer. Cuando están presentes los sulfuros, se eliminan por flotación o por separación magnética.

La recuperación de estaño es del rango de 50 a 80 % debido a que la casiterita proveniente de vetas y de depósitos de placer está finamente distribuida.

El concentrado de casiterita proveniente de depósitos de placer es casi puro por lo que es reducido fácilmente. La casiterita se reduce a estaño por calentamiento con carbón a una temperatura de 1200 a 1300°C. Algunos minerales de veta contienen como impurezas sulfuros que deben ser eliminadas antes de fundirlos, esto se logra por tostación de los concentrados de estaño con o sin fundente seguido de un tratamiento con ácido o agua.

El proceso para la obtención de estaño metálico continúa con una serie de fusiones o refinación ya que la mayor parte del metal obtenido por re

ducción de concentrados y de escorias, contiene algunas impurezas que fueron reducidas junto con el estaño, las cuales deben ser eliminadas para que el estaño tenga el grado de pureza que requiere el mercado.

6.1. TRITURACION Y MOLIENDA.

La sección de triturado tiene como finalidad principal reducir el tamaño del mineral proveniente de los cuerpos primarios como de los depósitos de placer. La quebradora primaria se usa para la primera reducción del mineral; posteriormente es clasificado en una criba donde los fragmentos que necesitan reducirse de tamaño, son descargados a la quebradora secundaria que opera un circuito cerrado con la criba vibratoria para así asegurar una alimentación uniforme a la sección de molienda (OTERO, R. E., 1969).

La molienda se lleva a cabo con un molino de bolas que trabaja en circuito cerrado con un ciclón hidráulico; de este proceso se obtiene un producto de aproximadamente -20 mallas para tratamiento en las mesas Wilfley subsecuentes, con el cual se reduce al mínimo el exceso de molienda de la casiterita.

En el ciclón hidráulico, en condiciones constantes de presión y densidad de pulpa se logra la clasificación de las partículas formando dos espirales encontradas, una exterior de flujo descendente que arrastra partículas gruesas +20 mallas y otra espiral interna de flujo ascendente que arrastra las partículas finas -20 mallas. Las fracciones grandes (+20 mallas) regresan al molino de bolas; las partículas -20 mallas son alimentadas a las mesas para lograr una mejor eficiencia en la concentración. Los concentrados o partículas pesadas provenientes de estas mesas de concentración son --

limpiados en mesas subsecuentes.

a). CONCENTRACION

Mesas concentradoras.

La moderna mesa de choque es un tablero concentrador con ranuras - - ideado para la descarga continua del concentrador por el movimiento mecánico del tablero (ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA, 1962).

Otro perfeccionamiento es un sistema para suministrar una corriente-continua de la pulpa sobre el tablero y listones de madera sobrepuestos de - diferentes dimensiones y que aumentan en su longitud, cuya altura varia en- - tre 13 mm en el extremo de la cabecera y 4 mm o menos en el punto en que si- - gue el tablero liso. La máquina combina las ventajas de la clasificación -- gruesa y de la superficie lisa para la concentración.

Los choques son producidos por un mecanismo impulsado por un motor, - por lo general del tipo de biela y palanca acodada. Los golpes son rápidos - y alternados, que aceleran rápidamente a las partículas en una dirección y - en la otra, y dichos golpes se aplican en la dirección de las ranuras y en - ángulo recto con el movimiento de la pulpa. El principio de la película en- movimiento y el de la sedimentación estorbada por los listones, se complemen- tan por un movimiento lateral de las partículas, cuya magnitud es proporcio- nal al peso y tamaño de éstas.

El tablero propiamente dicho tiene un tamaño que varia entre 3.60 y - 4.80 metros de largo por 1.20 a 1.80 metros de ancho. Está cubierto de li- - nóleo o caucho, al cual están pegados los listones a una distancia de 25 a -

36 mm unos de otros. El material llega al tablero por ranuras o agujeros en un trozo corto de canal que hay en el extremo superior de la cabecera. Más allá de este punto, un canal distribuidor de agua de lavado llega hasta el extremo de descarga de la mesa. El tablero está soportado de modo que puede inclinarse en sentido transversal aproximadamente 10° con respecto a la horizontal y puede realizar un movimiento alternativo en dirección longitudinal.

La pulpa que contiene la mezcla de partículas que llegan al tablero son sometidas primero a la acción concentradora de los listones, por medio de la cual las partículas pesadas forman una película en el fondo y las ligeras son arrastradas por el agua de lavado sobre el borde de los listones; las capas más pesadas se mueven lateralmente a lo largo de las ranuras por el efecto de los golpes.

El uso de series de listones orientados en direcciones diferentes facilitan la acción de limpieza. Las partículas toman una trayectoria que es la resultante de la fuerza del agua de lavado en dirección longitudinal y la aceleración mecánica del movimiento de golpes que tiende a moverlas en ángulo recto a través del tablero. Las partículas ligeras son afectadas en mayor grado por el movimiento transversal y se mueven más lejos a lo largo del tablero mientras que las partículas pequeñas y pesadas son menos afectadas y su trayectoria se aproxima más a una línea recta; el resultado de esto es que las partículas se desparraman en forma de abanico formando zonas de mineral que, a medida que caen sobre el borde de la mesa, se recogen por separado en canales estacionarios.

La capacidad de las mesas de clasificación de tamaño normal varía -- entre 22.5 toneladas en 24 horas para material de tamaño medio y 90 toneladas en 24 horas para materiales gruesos; pero en el trabajo de limpieza de materiales finos quizá el máximo sea 9 toneladas, o menos, en 24 horas.

La tabla 6.1. (ORNELAS, T. J., 1986), muestra algunos valores característicos y parámetros óptimos para la separación gravimétrica de minerales de estaño, wolframio y minerales semejantes.

Existen otros medios de concentración gravimétrica, algunos ya han caído en desuso, otros son utilizados actualmente gracias a su óptima operación. La descripción de algunos de estos métodos se dá a continuación.

BATEA.

La batea es un trasto circular de acero o madera, además de la batea se usa pico y pala como herramientas adicionales. Para hacer una tentadura en batea se procede a hacer lo siguiente: Se desmenuzan a mano las gravas y arenas de casiterita con la batea sumergida en el agua; a la batea se le imprime un movimiento giratorio para que se asienten las partículas más pesadas y se vayan con el agua, las más ligeras.

Un sólo hombre puede lavar 764 litros de material de aluvión en 10 horas.

CANALONES HIDRAULICOS, SLUICES. (GOMEZ, R. D., 1985).

Son cajones en forma de canal generalmente de madera, que sirven para lavar y concentrar por gravedad y con agua corriente el mineral de casiterita contenido en un placer.

T A B L A 6.1.
PARAMETROS PARA LA SEPARACION GRAVIMETRICA DE MINERALES DE ESTANO.
(ORNELAS, T. J., 1986)

P A R A M E T R O S	MESA ARENA GRUESA DE 1 A 3 mm	MESA ARENA FINA DE 0.2 A 1 mm
Relación ancho: largo de la mesa	2.5	1.8
Deslizamiento mm	16-26	12-18
No. de deslizamientos min ⁻¹	200-270	270-320
Inclinación de la mesa grados	4-10	2-4
Elevación Longitudinal de la mesa mm	20-30	10-20
Relación volumétrica en la alimentación sólido/líquido	3.5:1-5:1	3.5:1-4:1
Relación volumétrica sólido/líquido cantidad de H ₂ O en el flujo transversal	1:1-1.5:1	1.5:1-1
Altura del riffle del lado de accionamiento mm	26-18	18-12
Distancia de los riffles mm	30-45	25-40
Alimentación t/hr	4-2	2-0.9

Los riffles o listones se colocan transversalmente en el fondo de los cajones, para detener partículas gruesas o pesadas a lo largo del canal. Para retener partículas pequeñas, se coloca un recubrimiento en el fondo -- del canal de material poroso de goma donde las partículas pesadas son retenidas (ORNELAS, T. J., 1986). Los principales objetivos de los riffles son los siguientes: retardar el movimiento de la pulpa para que las partículas más pesadas se asienten, formar trampas para retener la casiterita y producir remolinos que clasifiquen por tamaños los materiales atrapados entre -- los riffles.

CONCENTRADOR EN ESPIRAL HUMPHREY.

La espiral Humphrey consiste en 5 o 6 vueltas de un conducto de -- sección transversal semicircular modificada. Está fabricada de hierro fundido, recubierta o no de caucho; tiene una altura de 1.90 metros y un diámetro de 60 centímetros. La mezcla de sólidos y agua se introduce por la parte superior en una caja de alimentación y al correr hacia abajo las partículas más pesadas se concentran en una faja a lo largo del lado interior de la corriente. Unos portillos con partidores ajustables para sacar los productos pesados están colocados en el punto más bajo en la sección transversal del conducto. Cada abertura se conecta por debajo una manguera que lleva el concentrado y el producto mediano a una tubería central colectora.

Un pequeño conducto paralelo al canal principal suministra agua para arrastrar la ganga fina separándola del concentrado y enviándola a las colas. Los minerales ligeros son arrastrados por el agua que circula rápidamente en el canal y son descargados en el extremo de la última vuelta de la espiral.

El concentrador funciona enteramente por la acción de la gravedad - y no contiene piezas mecánicas; la separación de los componentes pesados -- del material se realiza en gran parte por las fuerzas centrífugas.

PROCESO DE FLUJO PULSANTE HIDRAULICO. (ORNELAS, T. J., 1986).

En este proceso se forman capas de partículas a través de un flujo-pulsante, de acuerdo a su densidad tamaño y forma de la partícula.

En las figuras VI.1 y VI.2 se observa la parrilla utilizada para -- la separación a través de la cual, el fluido, agua y/o aire, se introduce-- en forma intermitente de acuerdo al sentido de las flechas.

En la figura VI.3A la carga se sumerge y se eleva en un fluido en - reposo, mientras que en VI.3B el fluido es impulsado para separar particu-- las en reposo.

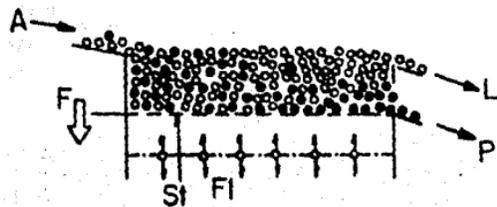
Los parámetros importantes son: densidad, distribución del tamaño- de partícula de la alimentación y su forma, tipo de flujo e intensidad del fluido a través de las capas de partículas, frecuencia de pulsaciones.

6.2. FUNDICION DEL ESTAÑO.

El concentrado de casiterita proveniente de depósitos de placer es casi puro por lo que es reducido fácilmente en la fusión reductora.

Algunos minerales de veta contienen impurezas en forma de sulfuros como plomo, bismuto, antimonio, zinc, cobre, fierro frecuentemente asociados a la casiterita, estos elementos interfieren en la reducción y son con siderados como contaminantes del estaño, por lo que es necesario hacer una

SEPARACION GRAVIMETRICA POR FLUJO PULSANTE



- A) ALIMENTACION
 L) PRODUCTO LIGERO
 F) FLUIDO
 P) PRODUCTO PESADO
 F) FUERZA DE GRAVEDAD
 ST PARRILLA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

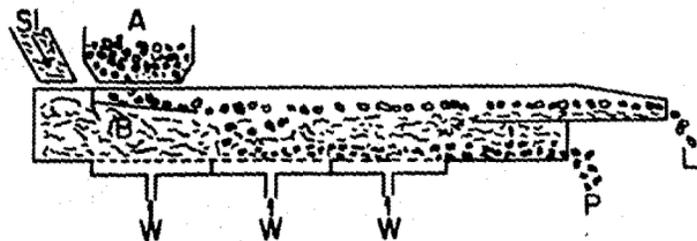
FIG. VI.1
 SEPARACION GRAVIMETRICA

ABAD R.V.
 BUSTOS R.M.F.
 CORONA G.J.A.

MARTINEZ R.S.
 RIOS V.J.R.
 SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991

CUBA VIBRADORA



- A) ALIMENTACION
 B) LECHO DE MEDIO PESADO
 L) PRODUCTO LIGERO
 P) PRODUCTO PESADO
 SI ALIMENTACION DEL MEDIO PESADO
 W) AGUA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA.

FIG. VI.2
 CUBA VIBRATORIA

ABAD R.V.

MARTINEZ R.S.

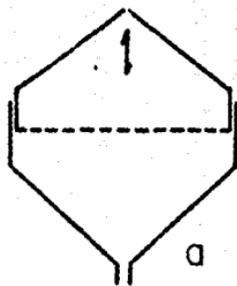
BUSTOS R.M.F.

RIOS V.J.R.

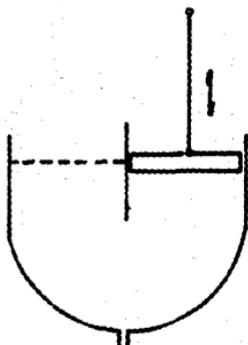
CORONA G. J.A.

SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991



a



b

A) CRIBA HIDRAULICA DE INMERSION (FLUIDO EN REPOSO)

B) JIG. PULSACION DEL FLUIDO CON BOMBA DE PISTON

ORNELAS T.J.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

FIG. VI.3
SEPARACIÓN GRAVIMÉTRICA

ABAD R.V.
BUSTOS R.M.F.
CORONA G.J.A.

MARTÍNEZ R.S.
RIOS V.J.R.
SOTO P.E.A.

TESIS PROFESIONAL 1991

preparación del mineral antes de llegar a la fundición, parte de la separación de los contaminantes se hace en la concentración por gravedad, gracias al alto peso específico del estaño, o por flotación del mineral, pero otros sulfuros están combinados con la casiterita por su peso específico parecido, por lo que no se puede llevar a cabo la separación. Gracias a la mejora de la flotación diferencial se ha hecho posible que la separación de los sulfuros de plomo, plata, bismuto y antimonio sea más completa, eliminando gran parte de ellos en la concentración por flotación.

La tostación elimina la mayor parte del azufre, arsénico y algo de antimonio en forma de óxidos volátiles; transformando a los elementos fierro, cobre, bismuto y zinc en sus óxidos correspondientes. El sulfuro de plomo se oxida a sulfato. Los óxidos de bismuto, cobre, fierro y zinc son eliminados por tratamientos con ácidos diluidos (TAGGART, A.E., 1945).

El plomo, bismuto, antimonio y plata pueden ser eliminados por una tostación clorurante y después filtrado con ácidos diluidos. El tungsteno puede ser eliminado tostando el concentrado con carbonato o sulfato de sodio.

a). FUNDICION EN HORNO DE HOGAR ABIERTO U HORNO DE CUBA.
(TAGGART, A. F., 1945).

El método más antiguo para obtener el estaño ha empleado los hornos de hogar abierto o de cuba para fundir los concentrados de estaño usando -- como combustible el coque, y como fundentes, para poder producir escoria fácilmente fusible, caliza, sílice y otros materiales. Las temperaturas excesivamente altas no son necesarias en la fundición por que el óxido es redu-

cido por carbón a una temperatura relativamente baja. Cuando la fundición se lleva a cabo se emplean hornos de hogar abierto, parecidos a los que se usan para fundir el plomo con la excepción de que se manejan temperaturas más bajas y presiones más altas. La principal diferencia entre la fundición del estaño y la de otros metales está en el contenido de estaño en la escoria de la primera colada.

La formación de silicatos de estaño es causa de dificultades económicas; esto sucede cuando el estaño se combina con la sílice, pero dichos silicatos tienen bajo punto de fusión y no estorban al buen funcionamiento de los hornos. La escoria producida en los hornos de cuba son usualmente ricas con contenido de 10 a 25 % de estaño.

Un asentador con camisa de ladrillos se emplea a veces como colector de la escoria y del estaño procedente del horno de cuba; la escoria fundida que reboza del asentador cae en un recipiente, que se vierte en agua para ser granulada. En otro método la escoria es extraída después de su solidificación y luego se machaca para someterla a un nuevo tratamiento para recuperar el estaño que contiene.

Una vez que el estaño ha sido reducido pasa a la refinería para un tratamiento posterior: para eliminar aún más las impurezas o para ser moldeado en lingotes para su venta en el mercado.

b). FUNDICION EN HORNO DE REVERBERO.

En las plantas de reducción se usan hornos de reverbero para la fundición del concentrado de estaño primario y para refundir la escoria de la

primer colada con el fin de obtener extracciones adicionales de estaño. En estos hornos es posible una mejor recuperación ya que las escorias producidas contienen menos estaño que las producidas en el horno de cuba, la composición final de esta escoria es la siguiente:

SiO ₂	35%
FeO.....	18%
CaO.....	28%
Sn.....	3%
MgO y Al ₂ O ₃	16.5-17%

El horno de reverbero es el más apropiado para fundir los concentrados finamente molidos pues en ellos la pérdida de estaño como polvos es mucho menor. Esto es importante por la razón del alto costo del estaño. Un equipo colector de polvos es necesario para el buen éxito de la operación. El hogar de ladrillo refractario tiene un declive hacia la piqueta u orificio de colada situado cerca del centro de uno de los costados lo suficientemente bajo para que cuando esté abierto descargue el horno completamente.

Los hornos de reverbero utilizan con frecuencia combustible sólido, el combustóleo es excelente. Este horno puede tratar hasta 15 toneladas de carga, consistente en concentrados de estaño que se mezclan con un 15 ó 20 % de carbón antracita y las cantidades requeridas de piedra caliza, escorias, arenas y subproductos procedentes de la refinación del estaño, para producir una escoria con la composición requerida. Después de ser perfectamente mezclada, la carga se agrega al horno. La fundición del estaño es una operación que se realiza por tareas o intermitentemente, cada carga

se cuela o vacía antes de agregar la siguiente. Como la carga siguiente debe ser fundida tan rápidamente como sea posible para reducir el estaño sin pérdida de tiempo, se agrega aquella al horno inmediatamente después de haber sido sangrado éste.

El proceso es llevado a cabo a temperaturas de 1200 a 1300°C y se requieren de 10 a 12 horas para tratar completamente una sola carga. En el transcurso de la primera fundición, una pequeña cantidad de estaño entra a la escoria, por que es aconsejable producir el metal lo más puro posible cada operación y después volver a tratar esta escoria para recuperar una parte del estaño que contiene.

La escoria producida en la fundición inicial ordinariamente contiene del 10 al 25% de estaño, y esta escoria no puede ser desechada, por su contenido de estaño. La operación para volver a tratar esta escoria es llevada a cabo con el objeto principal de recuperar el mayor porcentaje de estaño que se tenga contenido en ella.

La escoria se tritura en trozos de aproximadamente 3/4" para fundirla de nuevo en el horno. El estaño metálico fundido es vaciado por el fondo del asentador y se cuela en lingotes cuyo peso tendrá aproximadamente 75 libras para su venta en el mercado o es enviado a refinería para un tratamiento posterior en caso de que las especificaciones requieran de una operación de refinamiento.

La nueva fundición de las escorias, a fin de recuperar el estaño, se lleva a cabo en hornos del mismo tipo que los hornos de reverbero usados para fundir el concentrado del mineral pero es necesario elevar la temperatura has

ta 1480°C por que la reducción de estaño contenido en los silicatos es más difícil que la de los óxidos del mineral. Comúnmente se utilizan residuos de antracita como agente reductor y se requiere en cantidad demasiado grande. Además se agrega caliza como fundente. Se utiliza también fierro metálico o cal para reemplazar al estaño en los silicatos.

El estaño producido usualmente es muy impuro, contiene una gran cantidad de fierro y es conocido como "Estaño Duro". El recuperar el estaño de las primeras escorias y de otros productos es una de las operaciones más difíciles con las que se enfrenta un metalurgista, se necesita un gran cuidado y un control experto si es que las segundas escorias tienen un porcentaje muy alto de estaño.

Bajo las mejores condiciones, las escorias que resultan de esta fundición no deberán contener más del 1% de estaño; aunque frecuentemente contienen hasta 3%. La operación de fundición de escorias, llevada a cabo como un proceso en lotes, requiere aproximadamente de 16 horas. El metal reducido es enviado a refinación y las escorias son desechadas.

6.3. REFINADO DEL ESTAÑO.

Ya se ha hecho mención anteriormente, de lo difícil que es remover muchas de las impurezas sin que haya una pérdida de estaño, como consecuencia la composición del metal depende en gran parte de la asociación que se tenga con otros metales no ferrosos, en la ubicación y naturaleza de los depósitos del mineral involucrado. Por este factor, el estaño de ciertas localidades se ha hecho famoso, no por los métodos metalúrgicos involucrados en la recuperación y refinación del metal, sino simplemente por que estas -

localidades tienen minerales más dóciles para su tratamiento que otros.

La mayor parte del estaño obtenido de la reducción por fundición de los concentrados o escorias debe ser refinado antes de que sea llevado al mercado. La naturaleza y extensión de esta operación dependerá, naturalmente, de las impurezas presentes que también están en función de los minerales originales. Comúnmente se usan dos métodos para la refinación que son:

Refinación Térmica.

Refinación por Depositación Electrolítica.

La refinación térmica es, con mucho, la más importante de la refinación ya que puede ser suficiente para obtener estaño puro. Fundamentalmente comprende dos etapas: licuación y ebullición.

La licuación se hace en un pequeño horno de reverbero a temperaturas justamente necesarias para la fusión del rango de 1200°C, esta temperatura se incrementa lentamente para que la fundición del metal sea lenta y uniforme.

De los metales que acompañan al estaño, algunos tienen puntos de fusión notablemente más elevados y se separan formando una escoria sólida, así el hierro es eliminado en una gran cantidad, el arsénico, antimonio y cobre quedan en parte de la escoria líquida. Por el contrario el plomo y el bismuto generalmente subsisten con el estaño fundido.

Si el primer estaño obtenido no es suficientemente puro, otras impurezas pueden ser removidas con la ebullición o agitándolas. La ebullición

ción se complementa con varas o troncos de madera verde introducidos en el estaño fundido, al ser descompuestos por el calor, la madera provoca la -- formación de gases que agitan el baño líquido, el oxígeno del aire y compuestos de la madera forman con las impurezas compuestos más ligeros que -- flotan en el metal fundido formando espuma; ésta se retira de la superfi-- cie para fundirla de nuevo con otros concentrados del mineral y recuperar-- su contenido de est año. El estaño limpio se vacía del horno a los moldes fuera de éste.

Además del uso de los hornos de cuba y reverbero, es posible reali-- zar la fundición en hornos eléctricos de tres fases.

a). REFINACION ELECTROLITICA.

Durante la segunda guerra mundial y después de algunos años, con -- el intento de desarrollar una industria doméstica se hizo un esfuerzo en -- Estados Unidos para establecer esta industria. Ya que los minerales que -- se obtenían de Bolivia eran impuros, se hizo necesario refinar el metal re-- ducido; consecuentemente fue utilizado un proceso electrolítico por la -- "American Smelting and Refining Company".

En general los tanques y equipo fueron muy similares a aquellos -- utilizados en el sistema múltiple de refinación de cobre pero los electro-- litos fueron muy diferentes.

Algunos tipos de electrolitos fueron probados encontrando que el -- óptimo es el que contiene 15 % de ácido fluorosilícico, 0.1% de ácido sul-- fúrico y 4 % de estaño estanoso.

Con esta composición del electrolito se da mayor adhesión al estaño y se previene la formación de sales básicas de estaño, pero más tarde se encontró que este reactivo podría ser reemplazado por sustitutos más eficientes y baratos como el bencol, fenol o tolueno. La composición tuvo finalmente los siguientes porcentajes:

Acido sulfúrico.....8%
Acido cresol-fenol-sulfónico.4%
Estaño estanoso3%

También se encontró que es recomendable usar pequeñas cantidades de agentes adicionales para mejorar el caracter físico del metal depositado.

Se deben tener condiciones de operación más estrechas que en la refinación electrolítica del cobre. La temperatura del electrolito en particular es un factor importante para obtener un desgaste uniforme del ánodo y una alta recuperación de lamas. La temperatura de operación más deseada es de 35°C con una densidad de corriente de 10 amperes por pie cuadrado y una caída de potencial de 0.35 volts por tanque. Con ánodos conteniendo 95% de estaño, el tiempo de desgaste total es de 21 días, período en el cual 3 producciones de cátodos son recuperados.

Los ánodos están formados por estaño impuro en forma de barras y el cátodo es estaño puro.

El estaño electrolítico producido da un análisis de 99.99%.

Las lamas en su mayor parte se quedan en el ánodo y su análisis -

registra los siguientes datos:

Au	0.12 onzas por tonelada.
Ag	130 onzas por tonelada.
Pb	20 %
Cu	5 %
As	3 %
Antimonio	5 %
Bi	20 %
Sn	30 %

Esta lama es tratada por fusión en un horno de copelación bajo -- condiciones oxidantes; de esta operación se separa el estaño eliminando - las impurezas.

Las escorias obtenidas en esta operación, que contienen arsénico, antimonio, bismuto y otras impurezas se podrán regresar para ser fundidas y embarcadas a la refinería electrolítica de plomo para la recuperación - del bismuto.

La recuperación del estaño secundario ha sido un problema económico importante. Los materiales de los cuales el estaño puede ser recupera do son las escorias producidas en la operación de estañado y de los frag- mentos de la lámina de estaño (ambas nuevas o viejas), también es conside rada la hojalata, residuos de latas, etc.

Para la recuperación del estaño secundario se utiliza el proceso- electrolítico alcalino que a continuación se describe.

6.4. PROCESO ELECTROLITICO ALCALINO. (TAGGART, A. F., 1945).

Este proceso se lleva a cabo en un tanque grande con un electro--lito de hidróxido de sodio, fragmentos de lámina de estaño conteniendo al rededor del 2% de estaño, forman el ánodo mientras el cátodo está hecho de lámina de acero; sobre el cátodo se forma una esponja de estaño, la --cual puede ser removida por intervalos, posteriormente es lavada y fundida. El proceso no es muy satisfactorio ya que el control es difícil por la absorción de dióxido de carbono del aire y por las sales complejas que se forman en el baño.

Proceso modificado de electrolito. Hasta 1930 el método que gene--ralmente se usó fue el proceso clórico ya que el tetracloruro de estaño - (SnCl_4) producido, encontró un mercado listo en la industria textil. Pe--ro con los cambios revolucionarios que tomaron lugar en la fabricación y--producción de textiles, el uso de este agente fue abandonado, razón por - la cual este mercado tendió a desaparecer. Por lo que se hizo necesario--convertir el estaño a forma metálica.

Esencialmente el proceso consiste en tratar los fragmentos bajo - condiciones controladas de temperatura y concentración de reactivos en un baño alcalino en el cual sea agregado un agente oxidante.

Para eliminar el papel, productos selladores, lacas y residuos de las latas y de otros materiales de recuperación es necesario que se laven con detergentes efectivos. La operación es conducida en ductos de opera--ción abierta y el estaño es removido en forma de una solución acuosa de -

Stannite de sodio, después de remover el sodio, la solución es desechada a una batería de celdas electrolíticas en el cual el estaño es depositado en cátodos de acero. De estos el estaño es removido vaciándolo posterior_{mente} a un baño de estaño fundido directamente.

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

ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA, 1962. Concentración por Gravedad. -- México, D.F., Daniel Boldó, Impresor Tomo 7, pp. 773-776.

GOMEZ, R. D., 1985. Apuntes de Explotación de Minas III. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.

ORNELAS, T. J., 1986. Memorias del IV encuentro sobre concentración de minerales. Sistema dinámico de separación en medio pesado. - Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 224-264.

OTERO, R. E., 1969. Concentración de minerales de estaño en una planta - móvil. Tesis Profesional. Facultad de química, UNAM. México, D.F.

TAGGART, A. F., 1945. Hand Book of Mineral Dressing. Ores and Industrial Minerals. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A., pp. -- 439-459.

CAPITULO VII.

7.- USOS Y DESTINO INDUSTRIAL

7.1. USOS - DESTINO INDUSTRIAL - APLICACION

BIBLIOGRAFIA.

7.1.-USOS - DESTINO INDUSTRIAL - APLICACION.

El estaño tiene muchas aplicaciones industriales; se emplea para fabricar vajilla y objetos decorativos, para cubrir (estañar) los metales fácilmente oxidables, como el cobre, plomo y fierro, dado que ofrece considerable resistencia a la oxidación. Uno de los productores más conocidos en la actualidad es la hojalata con que se fabrican envases de diversos tipos- que utilizan principalmente la industria de conservas alimenticias, por ser atóxicos. Se usa también en forma de muchas aleaciones con otros metales y en forma de láminas delgadas y rara vez se usa solo, excepto en tuberías de destilería o en forma de hojas de papel de estaño para envoltura (aunque el "papel de estaño" tiende a ser sustituido en la actualidad por el "papel de aluminio"), (ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA EUROPEO-AMERICANA, 1924).

Diversas industrias utilizan también este metal; la industria eléctrica, para el estañado de los hilos conductores; las industrias químicas y agrícolas, para la fabricación de piezas varias o el revestimiento de canalizaciones y utensilios para la preparación de compuestos de estaño (bióxido para pinturas y esmaltes, sulfuro para la decoración cloruro para tintes); la industria farmacéutica, para tubos y recipientes; la industria mecánica, para aplicaciones varias, en forma de chapas, placas estañadas o chapadas (plomo chapeado de estaño por ambas caras (GRAN ENCICLOPEDIA - - - LAROUSSE, 1972).

El estaño se usó antiguamente en raspaduras y en polvo. El polvo de estaño se utiliza para metalizar los papeles decorativos; en pasta sirve para unir metales. Los productos químicos de estaño son usados principal--

mente en tejidos, estampados y en la industria de la seda. Las sales estánicas son grandes reductoras y se utilizan para imprimir. El cloruro estánico es un poderoso mordente que se usa para el algodón o el lino, al igual que el estannato de sodio. Para la lana se usa como mordente cloruro estannoso. En cerámica se utilizan óxidos estánicos los cuales sirven para dar color blanco opaco al esmalte (OTERO, R. E., 1969).

El estaño se combina con muchos otros metales formando muy diversas aleaciones, algunas de las cuales tienen importancia por sus aplicaciones industriales, como los bronce, que son principalmente aleaciones de estaño y cobre. Las aleaciones ricas en estaño se utilizan sobre todo para elaborar el metal blanco o antifricción con que se forran interiormente los cojinetes y cuya plasticidad facilita el pulimentado de los mismos y la absorción, por incrustación, de las partículas arrastradas por el lubricante. -- Las composiciones de estas aleaciones a base de estaño son muy numerosas; -- las principales corresponden a un contenido de estaño de 60 a 90 %, con un 4 a 15 % de antimonio, 0.5 a 15 % de plomo, 4 a 10 % de cobre y, a veces -- una pequeña adición de cadmio. El contenido de estaño es del orden de hasta un 20 % en la composición de metales antifricción a base de plomo, o de plomo y antimonio (GRAN ENCICLOPEDIA LAROUSSE, 1968).

Por razón de su bajo punto de fusión, el estaño aleado con el plomo constituye diferentes soldaduras, como las llamadas "soldadura de hojalatero" (45 a 65 % de estaño), "soldadura de calderero" (30 a 40 % de estaño) y "soldadura de plomero" (25 % de estaño).

Con el antimonio (15 a 20 %), que lo endurece, el estaño sirve para

la fabricación de utensilios domésticos y de grifos o espitas para la industria química.

Los revestimientos de estaño para recubrir el cobre y otros metales son importantes aplicaciones del estaño, pero la más interesante es la hojalata para envases. Entre un tercio y la mitad de la producción mundial de estaño se utiliza en la fabricación de la hojalata. El sistema de envasar productos alimenticios en delgadas láminas de fierro recubiertas con una película de estaño fué inventado en Inglaterra por Peter Durand, en 1810. Este fué el primer uso moderno que tuvo el estaño para conservar los alimentos, no obstante que mucho antes los romanos habían utilizado éste metal como revestimiento interior para envases de alimentos (NEWCOMB, E., AND KENNY, N., 1962).

La adición de estaño al cobre para producir los bronce, le proporciona al cobre mayor dureza. Cobre con 5 % de estaño se utiliza para acuñar; mientras el bronce para cañones contiene de 8 a 10 %, lo cual le proporciona una gran dureza y resistencia. El metal de campana contiene un porcentaje de estaño que varía entre 16 y 25 %. Para láminas brillantes de reflectores se utiliza un 33 % de estaño y un 61 % de cobre.

Las aleaciones de estaño y antimonio con uno o más metales son de gran importancia. Los metales antifricción tienen diferentes componentes de acuerdo con la velocidad y la carga que van a resistir. El metal blanco o Britania es uno de estos metales.

BIBLIOGRAFIA .

ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA EUROPEO-AMERICANA, 1924. Espasa-Calpe, S.A., Tomo XXII, Madrid, España., pp. 658-673.

GRAN ENCICLOPEDIA LAROUSSE, 1968. Larousse, Tomo VIII, PARIS-BUENOS AIRES-MEXICO., pp. 547-548.

GRAN ENCICLOPEDIA LAROUSSE, 1972. Editorial Planeta, S.A., Tomo IV, Barcelona, España., pp. 547-548.

NEWCOMB, E., AND KENNY, H., 1962. Miracle Metals. Putnam's Sons, New York, U.S.A., 193 p.

OTERO, R. E., 1969. Concentración de Minerales de Estaño en una Planta-Móvil. Tesis Profesional, Facultad de Química, UNAM, México, D.F.

CAPITULO VIII.

8.- CONCLUSIONES

8.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

Para la roca volcánica dada la explotación y el gran volumen con leyes muy bajas lo que no permite la explotación del estaño en la actualidad - por factores económicos ya que el beneficio resulta muy caro. No obstante, se recomienda una exploración sistemática de los yacimientos en las ignimbritas que contienen estaño diseminado, para cuantificar y evaluar las posibilidades económicas de su exploración a gran escala, en un futuro.

Se debe organizar una investigación que permita explotar con beneficio económico estos yacimientos de alto tonelaje-baja ley.

Los yacimientos de estaño se presentan en vetillas angostas, en los planos de junta de las ignimbritas, en algunas formaciones de brecha y aglomerados mineralizados y en ignimbritas que contienen estaño diseminado.

RECOMENDACIONES:

La cartografía geológica detallada para México, y la prospección por estaño, primero debe comenzar en algunas de las áreas que se citan a continuación: Zona de Juan de Aldama y áreas circunvecinas del Edo. de Zacateca.

En Cuencamé, Dgo. (Sierra de la Silla), Zona de Juan de Avino, Dgo.