



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**Experimentación de un Horno de marcha continua
para tratamiento de Minerales de Mercurio**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

P R E S E N T A N

**JUAN ELIZALDE ARVIZU
JORGE SOLORIO AGUILAR**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
AÑO 1975
FECHA 1975
PROC. M. L. G. J.



A MIS PADRES CON RESPETO Y CARIÑO

A LA COMPAÑERA DE MI VIDA LULU

A LA CHAPARRITA SYLVIA

A MIS HERMANOS Y FAMILIARES

A la gran ayuda que nos ha brindado la Sociedad que nos rodea, agradecemos - las facilidades que se nos otorgo para - la realización de este trabajo; teniendo en consideración que es una Tesis de - - tantas que posiblemente sirva o no para - el beneficio de nuestros semejantes, pero consientes de que por este medio obtendre mos el paso deseado de un pasante.

CONTENIDO.

I.- Generalidades del mineral de mercurio y datos - -
estadísticos del horno.

II.- Objetivo.

- 1.- Por que de este trabajo.
- 2.- Estimación del equipo.
- 3.- Condensación.
- 4.- Pérdidas en general.

III.- Tecnología.

- 1.- Formas importantes de la calibración de los - -
aparatos eléctricos.
- 2.- Optimización de la granulometría.
- 3.- Molienda.
- 4.- Pruebas sin mineral.
- 5.- Pruebas con mineral.
- 6.- Simulador del horno prototipo al nivel de - -
laboratorio.

IV.- Ventajas y Desventajas.

V.- Conclusiones.

I.- Generalidades del mineral de mercurio y datos estadísticos del horno.

A forma de historia; fué ya conocido en la antigüedad por el hombre antes de la era cristiana pues se ha encontrado en tumbas egipcias que datan de 1500-1600 años antes de Jesucristo, aunque más tarde que el oro, la plata, el cobre, el estaño, el plomo y el hierro. Los griegos y romanos le llamaban según si lo encontraban en estado natural o lo hubiesen obtenido en forma artificial del cinabrio ARGENTUM VIVUM (fusum) o bien HYDRARGYRUM.

Las primeras noticias sobre los yacimientos de cinabrio y mercurio se refieren a la existencia de Almadén (España). El cinabrio cristaliza en el sistema romboédrico pero comunmente se presenta muy entremezclado o como eflorescencia, los yacimientos de esta clase se encuentran en Almadén (España); Idria; Italia; Nikitowaka en el Dones en Rusia; en America del Norte en California (Nuevo Almadén, Nueva Idria); México (Huitzucó, Guadalupe, Guadalupeana). Los yacimientos de impregnación formados por sedimentación en aguas termales. Aparecen en su mayor parte en combinación con rocas jóvenes eruptivas

a profundidades no muy grandes. Comunmente llena el cinabrio las cavidades de piedras areniscas, cuarcitas o conglomerados, rara vez acompañan al cinabrio otros minerales (antimonio); en cambio va frecuentemente acompañado de betúnes -- como ganga, la más frecuente es el cuarzo siguiendo después la piedra caliza y dolomía, la riqueza del mineral en general es muy pequeña.

Mercurio símbolo Hg; peso atómico 200.59; número atómico 80; dureza 2.2 y 2.5; punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)-38.89, -- punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$) 356.95; calor específico (cal./g $^{\circ}\text{C}$) 0.03325, su conductividad térmica 0.0201 cal/cm³/cm/seg -- resistividad eléctrica micromios/cm 95.8 a 20 $^{\circ}\text{C}$; calor de -- vaporización K cal/kg 73.267 (20 $^{\circ}\text{C}$). El mercurio es muy volátil y a la temperatura ordinaria su tensión de vapor en mm.- de columna de mercurio es:

	REGNAULT	HERTZ
0 $^{\circ}$	0.0200	0.00019
10 $^{\circ}$	0.0268	0.00050
20 $^{\circ}$	0.0372	0.00130
100 $^{\circ}$	0.7455	0.28500

Es el único metal líquido a temperatura ordinaria; es maleable y dúctil y tan blando que puede cortarse con un cuchillo, se encuentra a veces en estado libre en forma de pequeñas inclusiones en grandes masas de roca, pero el mineral y mena más importante es el sulfuro rojo, HgS (cinabrio). A temperaturas superiores se sublima el HgS dando la variedad roja; el N.P.B.C. no actúan sobre el mercurio. Se amalgama con muchos metales; pero con el Fe en poca escala, de estas amalgamas ligase fácilmente con el oro, plata, zinc, cadmio, estaño, bismuto, plomo y con el cobre finamente dividido; siendo en cambio difícil su aleación con el cobre en pedazos gruesos, con el arsénico y antimonio, con el platino, manganeso, níquel, cobalto, aluminio y bario.

El mercurio se expende en " botellas " de 34.5 Kg (56 lb).

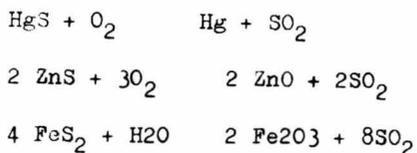
Los óxidos vuelven al mercurio viscoso, pequeñas cantidades de plomo o de estaño rebajan la volatilidad del mercurio. El mercurio es insoluble en ácido clorhídrico o sulfúrico diluido, pero es soluble en ácido nítrico diluido; en ácido sulfúrico hirviendo concentrado así como en agua regia. El mercurio hirviendo arde en el gas cloro dando clo-

ruros mercúricos y mercuriosos, su vapor es incoloro y --
monoatómico, químicamente el mercurio es bastante inerte --
como lo indica su potencial de estandar y su posición en --
la serie electromotriz (no se óxida en el aire a tempera-
turas ordinarias, pero se combina lentamente con el oxíge-
no cuando se mantiene en la atmosfera cerca de su punto de
ebullición). A elevadas temperaturas, el vapor de mercu--
rio conduce la corriente eléctrica.

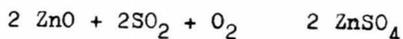
Antiguamente la metalurgia del mercurio se hacía
en depositos superficiales de óxidos, carbonatos o metales
nativos, los óxidos y carbonatos se reducían a metales, por
calentamiento de carbón de madera dejando escapar ala --
atmosfera los productos gaseosos CO y CO₂ y a medida que --
la minería fué desarrollandose para aprovechar las menas --
subterranas comenzaron a utilizar los sulfuros a óxidos, --
antes de proceder a la reducción, en este proceso se --
utiliza como materia prima el aire y la conversión se le --
llama tostación. Con los metales nobles la regulación --
minuciosa del proceso de tostación puede permitir obtener
el metal en estado elemental, si la temperatura es baja --
(= 500°C) y la concentración de SO₂ en la atmósfera --

circundante es alta, se pueden producir sulfatos y esto es un producto indeseable, pues los sulfatos son estables y sólo pueden descomponerse con temperaturas extremadamente altas.

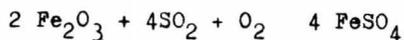
Algunas Ecuaciones Son:



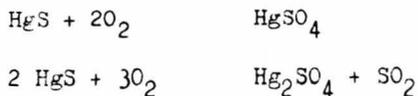
(indeseable)



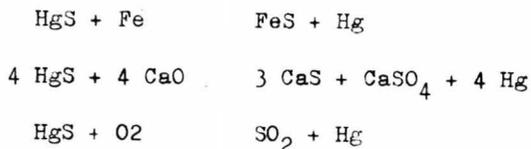
(indeseable)



Para la tostación u obtención del mercurio es sencillo por la gran volatilidad del mercurio. Se reduce únicamente a la tostación de la mena de condensación de los vapores de mercurio, a los 580°C la presión de vapor del cinabrio es igual a la presión atmosférica; por consiguiente, la tostación del cinabrio tiene que llevarse a cabo a una temperatura superior a esta, existen otros inconvenientes; el de que se forma:



Otras veces el cinabrio, en vez de sufrir una tostación, se trata o bien por torneaduras de fierro o bien por el CaO entonces tenemos:



las anteriores reacciones son de descomposición del - - cinabrio.

Un procedimiento de determinación antiguo - -- empleado todavía en esta época, era la destilación de los minerales con adición de cal o confundente negro en retortas de hierro fundido o de arcilla, este procedimiento -- era aplicable a minerales ricos. Pero comunmente existen tres metodos para la tostación del cinabrio, a partir de la mena:

a) Método estático.- Utilizado por la mayoría - de los pequeños mineros; el mineral es colocado en tubos de fierro tapados con lodo se calientan y los vapores son dirigidos hacia un cuarto de condensación.

- b) Método intermitente.- Consiste en un horno rotatorio existe movimiento del mineral en tubos de fierro.
- c) Método continuo.- Horno Nichols Herreschoff pero cuyo costo es elevado.

Según esto en la obtención debemos distinguir:

- 1.- la descomposición del cinabrio y la volatilización del mercurio.
- 2.- la condensación de los vapores de mercurio.
- 3.- el tratamiento de los productos intermedios (stupp.).

El vapor de mercurio se condensa en recipientes refrigerados convenientemente el producto se filtra a - - través de gamuza, para eliminar las impurezas sólidas. Las impurezas disueltas como zinc, estaño y arsénico, se - - separan por destilación, también se puede purificar el -- mercurio vertiendolo en corriente de gotas diminutas a -- través de ácido nítrico diluido y nitrato mercurioso - - (NO_3) 2 Hg que disuelve todos los metales más activos,

A temperaturas ordinarias desprende vapores y estos como el mercurio son venenosos y tóxicos unos de los antivenenos para este caso de intoxicación es el citrato de magnesio; yoduro de potacio, la leche, etc., etc.

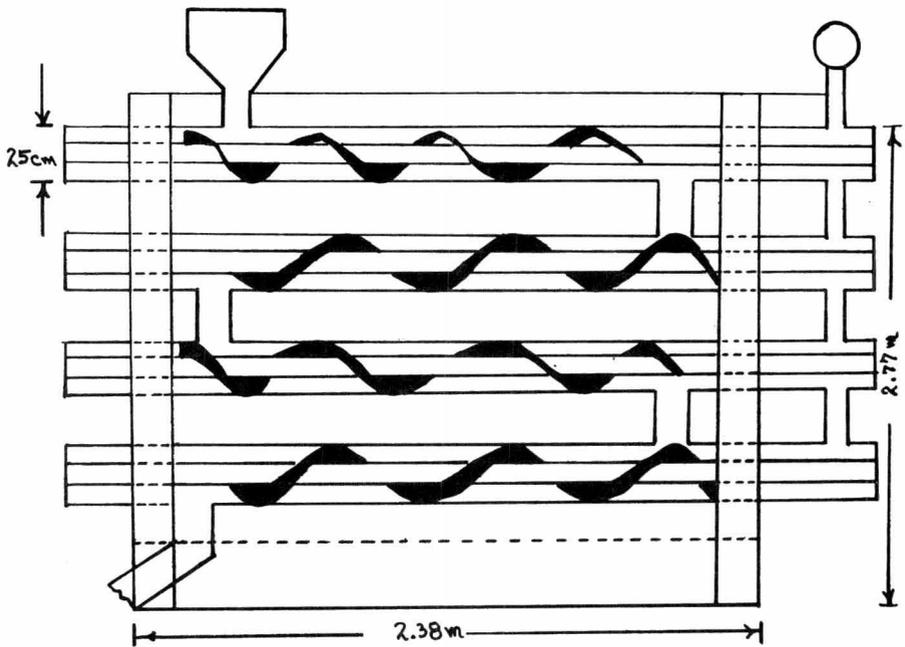
Algunas de las aplicaciones del mercurio es en la preparación de sus compuestos, medicamentos, desinfectantes, pinturas para instrumentos científicos (barómetros, termómetros, etc.), debido a su gran densidad, -- baja presión de vapor a temperaturas ordinarias y que no se adhiere al vidrio el metal sirve para llenar los anteriores aparatos; también sirve en aparatos eléctricos (rectificadores de vapor de mercurio, conmutadores -- interruptores, lámparas de mercurio, reguladores eléctricos de temperatura pilas alcalinas, etc.), también se ha tratado de aplicar su vapor a presión para fuerza -- motriz.

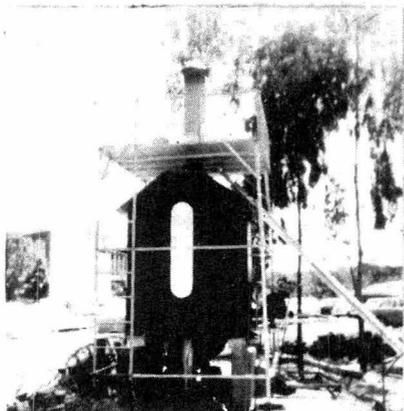
Interviene en forma de cátodo en las cubas -- electrolíticas para fabricación de sosa cáustica y cloro, se emplea como catalizador de algunas reacciones. El -- mercurio requerido en las plantas de cloro es de 500 Kg x tonelada, proyectada de producción de cloro.

La lámpara de vapor de mercurio se emplea en estudios cinematográficos, salas de dibujo y fábricas, emite una luz brillante verdeazulada, que si se emplea cuarzo fundido en vez de vidrio, es muy rica en rayos ultravioleta, forma con muchos metales, amalgamas líquidas, cuando la proporción del otro metal es pequeña, pero pastosa y hasta sólidas al aumentar dicha proporción, las amalgamas de estaño, plata y oro se usan en gran escala en Odontología.

Los hornos para el tratamiento de las menas de mercurio son de dos clases; de fuego directo y de retortas con fuego indirecto, la temperatura a que se ha de calentar la mena para volatilizar el mercurio es la misma en los dos procedimientos. Se tomará como base un horno cuya capacidad oscile entre los 895 Kg los cuales al término de una hora se efectuará el proceso el modelo de dicho horno aparece ilustrado en la figura (1-A).

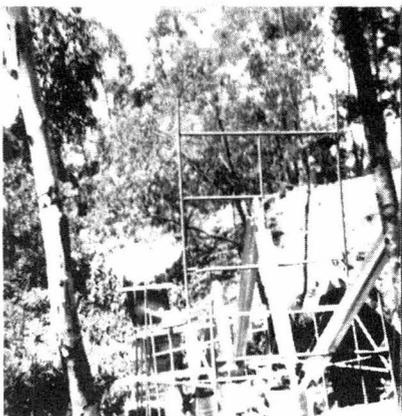
figura (1-A)

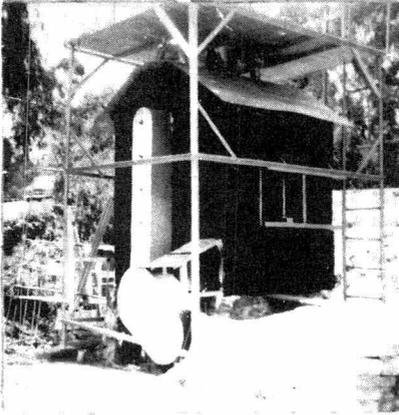




Vista panorámica del horno para
tostar minerales de mercurio.

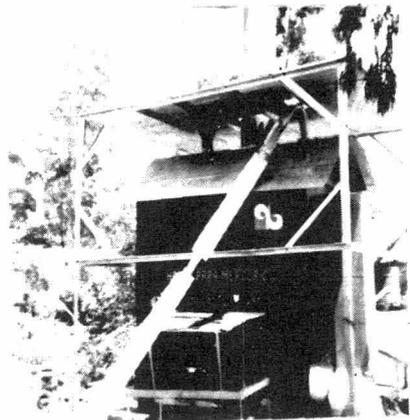
Vista panorámica del condensador,
observándose al fondo el extractor
como también los recipientes donde
se depositará el mercurio.





Vista parcial del horno observándose en la parte inferior del mismo, el motor y el reductor de velocidad para dar movimiento a los tornillos sin fin dentro de los tubos de fundición.

Otra vista del horno, donde se observa la salida del condensador, como también en la parte inferior el quemador.



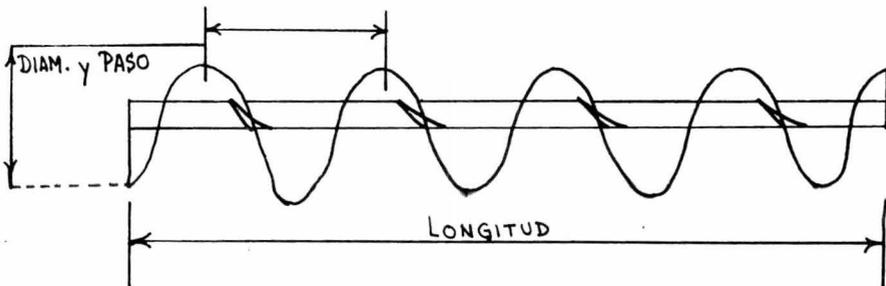
En dicho modelo de horno se asignó tubería de fundición cuyo diámetro interior es de 10 pulgadas y conociendo la densidad aparente del mineral el cual es de 1.3 Kg/ dm^3 y por lo tanto este horno consiste en un cuarto revestido en su parte interior con ladrillo refractario para aprovechar al máximo el calor que se genera, además de tener placas de silimanita para una mejor combustión dicha cámara de combustión tendrá las siguientes medidas:

Altura: 227 cm

Ancho: 238 cm

Longitud: 366 cm.

Como se observa los tubos de fundición (4) -- están colocados transversalmente y cuyo diámetro de 2.54 dm, dentro de estos tubos se transportará el mineral mediante un tornillo sin fin. Según la siguiente figura (2-A).



Enseguida algunos datos estadísticos del material de la cámara de combustión:

$$T 1 = 800^{\circ}\text{C} = 1500^{\circ}\text{F}$$

$$T 2 = 20^{\circ}\text{C} = 93.8 \text{ F}$$

dimensiones del tabique = 229 x 114 x 64 mm

Espesor de la pared = 8 pulgadas = 0.669 pies

Se usará ladrillo de caolín aislante cuya conductividad - -
térmica es:

$$K = \frac{0.15 \text{ B.T.U.}}{\text{hr pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}}$$

y cuya area es: $A = 419 \text{ pies}^2$.

II.- Objetivo

1.- Por que de este trabajo.

La finalidad de este trabajo es de hacer -
el proceso de tostación en una forma inenterrumpida, es - -
decir una operación continua del horno para tostar mineral
basándose en lo anterior se pensó que podrían tener las - -
características de una producción haciendo uso de un horno
horizontal que transporte el material por medio de un - -
tornillo sin fin, este horno consta de una distribución de
tubería como se dijo con anterioridad. Dado que los grandes
depósitos de minerales de mercurio algunas veces se - - -

encuentran en lugares donde hay poca comunicación y alejadas de cualquier centro de población y los pocos recursos económicos por parte de los usuarios de este horno es necesario - que el sistema de beneficio tenga cualidades de una instalación sencilla para su fácil erección y mecanismo, como también emplear poco personal para su objetivo, como consecuencia habrá menor desembolso que si se tratara de un equipo -- complejo como ya se explicó, las minas que se encuentran - - alejadas de centros poblados se observa que el aprovisionamiento de los energéticos no es sencillo por lo cual el sistema para tostar deberá tener en uso eficiente y gasto mínimo de energéticos.

Anteriormente en los hornos si se puede decir - - estilo primitivo (hornos de retortas) se realizó un estudio en las zonas de explotación, gran parte de producción -- de mercurio tenía deficiencias a consecuencia de muchos - - defectos como el mal manejo de hornos y a la vez su mal - - construcción, es decir se perdía a gran escala el material - tratado debido a fugas, debido a instalaciones no previstas y planeadas para tal efecto, desperdiciando el costo unitario gran consumo de combustible y lo que es más crítico, el

riesgo consecuente para los trabajadores dado a que están --
expuestos directamente estos hacia los vapores de mercurio --
y finalmente contribuyendo a la contaminación ambiental. De --
todo lo anterior expuesto se persigue hacer que reduzcan --
estas fugas como también minimizar el precio unitario y como
punto principal la seguridad y protección del elemento humano.

Otra de la finalidades de este sistema es el bajo --
costo de transporte hasta lugares lejanos e inaccesibles --
debido a esto se tratará de optimizar y planear un horno sen-
cillo además que sea de fácil adquisición por parte de los --
medianos y pequeños propietarios de minas, hacer un mínimo --
consumo de energéticos y tengan alta producción.

Este metal como ya hemos indicado se obtiene tan --
sólo del cinabrio y precisamente por vía seca, se ha intentado
utilizar la práctica por vía húmeda o electrolítica por razón
de higiene, pero no se ha realizado a gran escala porque la --
vía seca es más sencilla y barata y porque la experiencia --
adquirida puede realizarse con pérdidas relativamente pequeñas
adoptando medidas de precaución se disminuye considerablemente
el efecto perjudicial sobre la salud.

El procedimiento por vía seca se funda en que el --

sulfuro de mercurio se descompone a temperaturas superiores a 400° , bien sea bajo la acción del aire o de la cal calcinada o del hierro metálico, y el mercurio se volatiliza. --

Los vapores de mercurio se precipitan después en aparatos de condensación apropiados y el mercurio se obtiene en parte directamente en forma metálica, y en parte en forma de productos intermedios, es decir, impurificados con polvo, productos de destilación del combustible y del betún contenido en el mineral (stupp). Y la obtención del mercurio mediante el procedimiento por vía húmeda o electrolítica, por --

razones indicadas anteriormente no se obtiene el mercurio de este modo en gran escala a pesar de haberse intentado, se --

intentó tratar minerales de mercurio con una solución de --

cloruro cuproso y cloruro de sodio en presencia de una --

aleación cobre-zinc; con lo cual el mercurio que queda libre, según la ecuación $Cu_2 Cl_2 + HgS = CuCl_2 + CuS + Hg$, se amal--

gama con la aleación cobre-zinc, y se obtiene de esta amalga--

ma por destilación. Este es pues, más bien un proceso de --

enriquecimiento, también para la obtención electrolítica se --

propuso electrolizar una solución de sulfuro de mercurio, en sulfhidratos de calcio, bario, estroncio o magnesio, en ella se precipita el mercurio en estado metálico y se recuperan --

las primeras materias para la obtención de nuevos sulfhidra--

tos. Este procedimiento no fué empleado ya que hemos citado el empleo del bromo en combinación con la electrólisis para el tratamiento de hollines.

2.- Estimación del equipo.

Para la selección del equipo se terminó de -- detallar el horno como lo es el de instalar todo el equipo adicional, colocar las colchonetas de lana mineral (aislan te), colocación de las placas de asbesto-cemento, fabricación de pilotes de cemento refractario para soportar las -- placas de silimanita en la cámara de combustión del horno, -- colocación de placas de flectoras de calor en la parte - - interior del horno, se diseño y construyó una nueva chime-- nea, así como readaptación de un extractor para que tuviera una mayor sección de extracción de gases, construcción de - termopares, instalación de equipos de medición de tempera-- tura, motorreductor, quemador, así como también el sistema de alimentación de combustible a dicho quemador.

Se necesita una quebradora para el proceso de - - trituración y molienda del mineral, un tipo de quebradora - será de marca DENVER cuya capacidad sea de 900 Kg de mine-- ral molido por hora, el mineral correspondiente a este estu

dio deberá molerse a un diámetro aproximado de 1/2 pulgada que corresponde a una concentración de 0.49% las dimensiones de dicha quebradora serán:

Modelo	Motor	R.P.M.	L	H	W	Peso Aprox.lb
8" x 10"	10 H.P.	325-375	28"	30"	32"	630 lb

Para llevar a cabo el proceso como ya se dijo - -
anteriormente se requiere del siguiente calor teórico - - -
613876 K cal, más un exceso del 10% del calor teórico, - -
debido a posibles pérdidas por flujo de calor convección, - -
radiación por lo cual se tiene:

$$613876 \text{ Kcal} + 61387.6 \text{ Kcal} = 675263.6 \text{ Kcal.}$$

Para esto se requiere de un quemador que funcione a base - -
de combustible de marca caisa, dicho quemador trae adapta- -
do un soplador cuyo objeto es proporcionar aire necesario --
y requerido para quemar el diesel necesario por lo que - --
consigna al tanque de combustible debe construirse de tal --
forma que sirva de almacenamiento de combustible necesario -
durante una semana este puede ser hecho de acero estandar, -
además de necesitar un medidor de nivel, que consiste en --
un tubo de vidrio graduado y colocado en uno de los extre- -
mos del tanque.

Como retortas se usarán tubos de fierro fundido cuyo diámetro nominal es de 10 pulgadas cédula 40 cuya longitud de cada tubo es de 2.50 m dentro de estos tubos se encuentran los gusanos sinfín o gusanos transportadores del mineral y cuyo diámetro nominal es de 2 1/2 - - pulgadas. Los tornillos sinfín serán construidos mediante las siguientes especificaciones, pero no son recomendables debido a una serie de recomendaciones dada por una compañía especialista en tratamientos térmicos de la - - cual se hablará más adelante (cap. V).

Especificaciones de cada tornillo:

Espiral _____ fabricada en placa de 1/4 pulgada de
espesor acero inoxidable, tipo 446.

Diámetro _____ 9 pulgadas.

Paso _____ 9 pulgadas.

Flecha _____ tubo de 2 pulgadas de diámetro nominal de acero inoxidable, tipo 446

Cabecera _____ Dos fabricadas con placa 3/16 pul--
(buje) gadas de espesor provistas de chumaceras de brida. Además estos bujes -
son cubiertos con una caja de lámina
inoxidable (los 8 bujes) para redu

cir fugas de los vapores de mercurio.

También estos tornillos sinfín emplearan un --
equipo motriz según el diseño de dicho horno, que se --
integra por un motorreductor de aproximadamente de 5 H.P.,
en el cual exista un sistema que reduzca de 720-850 R.P.M.
a 3-5-7 R.P.M. que se requieren para llevar a cabo el --
proceso. Un sistema para reducir esas R.P.M. puede ser --
mediante un sistema de poleas o bien mediante catarinas, --
también mediante un reductor de velocidad.

La mezcla gaseosa compuesta de dióxido de azufre
oxígeno, nitrógeno y mercurio es corrosiva y pasará por el
condensador debido a esto se usará como material para el --
condensador tubería de acero al carbón de 5 cm ó 2 pulga--
das nominal, cédula 40 para un mayor enfriamiento.

3.- Condensación:

La condensación de los vapores de mercurio se --
verifica por refrigeración. Como es natural, ésta se efec--
tuará con tanta mayor rapidez y será más eficaz cuanto --
menos diluidos estén los vapores de mercurio por el vapor
de agua y otros gases. Con el empleo de aire es también --

menor trabajo necesario, pues la capacidad del horno es - - mayor y finalmente, las sustancias adicionales sólidas - - tengan únicamente aplicación con minerales ricos. Pero como además no pueden evitarse en absoluto los escapes de mercurio que por razón de su fuerte concentración eran muy perjudiciales para la salud y ocasionaban pérdidas relativamente grandes. Las sustancias sólidas adicionales se emplean únicamente en casos excepcionales. En la condensación del mercurio se precipitan también los productos de destilación del combustible o los componentes bituminosos de los minerales, así como el polvo de éstos y del combustible, los cuales retienen al mercurio en forma finamente dividida y en forma combinada y estos productos reciben el nombre de Stupp u hollín metalúrgico.

Al condensador va a entrar una mezcla gaseosa con la siguiente composición; mercurio y dióxido de azufre.

1.- Para el enfriamiento del mercurio, la temperatura final del proceso ha sido fijada en 40°C , este enfriamiento se lleva a cabo en tres partes:

- a) enfriamiento del vapor de mercurio.
- b) Condensación del mercurio.

c) enfriamiento del mercurio condensado.

Para el condensador los gases indeseables son el dióxido de azufre, oxígeno, nitrógeno, se dispone de aire como medio de enfriamiento previendo que en el lugar donde se instale el horno exista escasez de agua la cual pasará de 22°C a 23.5°C teóricamente hablando.

4.- Pérdidas en general:

Para la misma constitución de los minerales.

Si consideramos (desde este punto de vista) la fase de obtención del mercurio se ve que en la descomposición del cinabrio y en la volatilización del mercurio, así como también en el tratamiento de los productos de destilación, son las pérdidas pequeñas mientras que la condensación de los vapores de mercurio es la que tiene mayor participación en la pérdida total.

Si con este objeto seguimos la marcha del mercurio en el tratamiento de los minerales podremos distinguir prescindiendo de las pérdidas por pulverización y desperdicio de los minerales antes de que lleguen al horno, las siguientes pérdidas parciales:

a) Pérdidas en el horno: 1.- por gases desprendidos del horno y de la chimenea; 2.- por penetración del mercurio en la mampostería del horno y en la fundación del mismo; 3.- por combustión incompleta de los minerales y 4.- por vapores de mercurio arrastrados por los residuos calientes.

b) Pérdidas en los aparatos de condensación: 1.- por aguas de condensación que salen de los aparatos, o por las de refrigeración que entran en ellos, las cuales contienen mercurio; 2.- por mercurio metálico que los atraviesa; 3.- por penetración del mercurio metálico, en el material de los aparatos de condensación; 4.- por pérdidas de los residuos bituminosos (stupp) y del mercurio metálico en la limpieza de los aparatos de condensación; 5.- por gases que contienen mercurio que escapan por las partes de los condensadores que no cierran herméticamente.

c) Pérdidas por la chimenea en forma de stupp y vapores de mercurio.

d) Pérdidas en el tratamiento de los productos bituminosos.

Las pérdidas en el horno mismo son en todo caso pequeñas y pueden evitarse con relativa facilidad, siempre que no se trate de gases muy ricos de hornos de recipientes y de la combustión de minerales muy ricos. El desprendimiento de gases por el tragante puede evitarse con buenos cierres herméticos para los gases y con un tiro suficiente.

Muchas de las pérdidas que se verifican en los aparatos de condensación, como la debida al agua o la penetración del mercurio así como desperdicios, lo mismo que la que se realiza por la chimenea, dependen poca hasta cierto grado con su magnitud absoluta por unidad de tiempo de la cantidad de mercurio tratada y, en consecuencia, con una gran producción diaria representan un tanto por ciento menor. Si esta disminución es mayor que el aumento por un tratamiento peor, la pérdida total será menor o más pequeña.

Los primeros aparatos de condensación (tubos) inmediatamente detrás de los hornos, en los cuales se depositan unos residuos bituminosos y se señala como esta formación de residuo como otra causa de las pérdidas,

pués el residuo bituminoso dificulta la reunión del --
mercurio condensado y transporta a largas distancias --
pequeñas bolitas de mercurio, que exigen una gran exten
ción de las cámaras de condensación, lo cual también --
conduce a pérdidas y finalmente hace preciso el trata--
miento de dichos residuos y esto tampoco se verifica --
sin pérdida.

III.- Tecnología.

1.- Formas importantes de la calibración de los aparatos eléctricos.

En primer término se hablará de la fabrica - -
ción de los termopares y en cuya formación se emplea el
siguiente material: Variac; el cual sirve para propor--
cionar la corriente directa que sirve para dar el - --
chispaso en contacto con el mercurio contenido en el --
aceite orgánico y lo cual permite que se solden los - -
alambres designados para el termopar (Cromel-Alumel). -
El aceite orgánico sirve para amortiguar el choque del
chispaso del alambre cromel-alumel en contacto con el -
mercurio y la corriente eléctrica, cabe mencionar que -
tanto el aceite, como el mercurio se encuentra en cubas
o recipientes amplios para una mejor forma de soldar --

el termopar y mayor facilidad de manipulación del operador.

Una vez soldado el alambre se procede a recubrirlo con cornisas de porcelana o bien de tela de asbesto para una mayor seguridad de no registrar mal la temperatura, ya que dicho alambre va designado a rodear la cámara de combustión y podría en algún punto donde se ponga en contacto con la estructura del horno y esto ocasionaría una lectura errónea de temperatura, es decir nadamás registraría la temperatura de la estructura del horno y no la requerida por el proceso en si la única parte que debe estar en contacto directo del termopar a la parte fijada es la punta soldada. La calibración de los termopares, se realizó con el fin de conocer con exactitud la verdadera temperatura registrada en la carátula, lo anterior fué realizado colocando la unión de los alambres (punta soldada) dentro de un pequeño horno calentado por resistencias y registrando en los extremos opuestos los milivolts producidos (por medio de un milivóltmetro digital). A continuación se reportan datos donde fué designado el termopar (Cromel-Alumel).

Par de metales	Temperatura hasta la que se les -- puede usar.	Tension en mv/°C
cobre-constantan	500°C	0.04
hierro-constantan	600°C	0.04
cromel-alumel	1300°C	0.0488
nikel-niquel-cromo	1300°C	0.0488
platino-platino-rhodio	1600°C	0.015
tungsteno-platino-rhodio	2300°C	0.0173

A continuación se reportan los resultados:

TERMOPAR

CROMEL-ALUMEL.

Termopar únicamente			Termopar con cable		
Tiempo	mv	°c	mv	°c	diferencia
0	0.106	3	0.20	5	+2
0.05	8.20	202	8.71	214	+2
0.10	12.32	303	12.60	310	+7
0.15	14.95	366	14.90	365	-1
0.20	16.90	412	16.65	406	-6
0.25	18.50	450	18.20	443	-7
0.30	19.90	483	19.50	474	-9
0.35	21.00	509	20.70	502	-7
0.40	22.10	535	21.90	530	-5
0.45	23.20	560	22.80	551	-9
0.50	23.90	577	23.70	572	-5
0.56	24.90	600	24.70	595	-5
1.00	25.50	614	25.40	612	-2
1.05	26.10	628	26.00	627	-1
1.10	26.70	642	26.60	640	-2
1.15	27.10	652	27.10	652	0
1.20	27.70	667	27.80	669	+2
1.25	28.20	678	28.30	681	+3
1.30	28.70	690	28.80	692	+2
1.35	29.10	699	29.20	702	+3
1.40	29.40	707	29.70	714	+7
1.45	29.80	716	30.10	723	+7
1.50	30.20	726	30.40	731	+5
1.55	30.60	735	30.70	738	+3
2.00	30.80	740	31.10	747	+7
2.05	31.30	752	31.40	754	+2
2.15	31.90	766	31.90	766	0
2.30	32.70	786	32.60	783	-3
2.45	33.30	800	33.30	800	0

Una vez realizadas estas pruebas se procedió a colocar los termopares en el horno, uno de éstos se colocó en el tubo de salida de los gases, se debe tener cuidado que dicho termopar y cuya punta esté libre para registrar bien la temperatura es decir que no tenga contacto con la tubería de la salida de los gases ya que de serlo así nadamás se registraría la temperatura de la tubería y no de los gases que salen hacia el condensador. Otro termopar va colocado en el tubo de fundición superior aquí si la punta de dicho termopar deberá estar en contacto directo con el tubo de fundición de tal modo que se registre la temperatura correctamente; de la misma manera se colocarán los demás termopares a los distintos tubos de fundición. Podemos decir que la finalidad de los termopares es de controlar la temperatura máxima requerida en cada tubo.

Para la calibración de las caratulas (galvanómetros), el uso general de estas es de detectar una cierta intensidad de corriente o bien un voltaje la cual está en función del tiempo y también la requerida por el sistema que se vaya a tratar, en este caso mediante

termopares los cuales están expuestos al calor desprendido por el quemador y por medio de este sistema se registra -- la temperatura en los galvanómetros, debido a la sensibi-- lidad se tendrá cuidado de no mover demasiado éstos para -- evitar lecturas erróneas y esto se puede lograr colocando los galvanómetros en el tablero de control; su intensidad se registra desde 0°C 1100°C.

Por lo que consta al quemador, cuya función por lo que respecta a la cámara de combustión es de propor-- cionar el calor necesario para llevar a cabo el proceso -- de tostación del mineral y para que exista una mejor -- fluidez de calor dentro de dicha cámara se deben colocar placas de silimanita en tal forma que el calor llegue a -- los tubos de fundición y de los cuales el tubo inferior -- que es el que está más expuesto al quemador tendrá la -- máxima temperatura requerida; mientras que la temperatura en los tubos restantes va a ser inferior en sentido ascen-- dente, es por eso que el quemador es de mucha influencia para el proceso de tostación de minerales regido mediante un control de temperatura. El quemador puede funcionar en dos formas distintas una de ellas puede ser en forma --

automática y otra si se puede decir continua; en la --
primera se realizaron pruebas, trabajando quemador jun-
to con el motorreductor en un tiempo aproximado de 6,8-
y hasta 12 horas graduando el tiempo de encendido del -
quemador, como también el tiempo de apagado, para esto
se debe tener cuidado cuando al enviar la señal de en-
cendido entablero observar cuidadosamente que realmente
encienda el quemador ya que de no serlo así se riega --
demasiado combustible y al encender la chispa de este -
producirá tal vez una explosión. Además si no se contro-
laran estas graduaciones de temperatura y tiempo habría
peligro de que en la cámara de combustión se cayeran --
los pilotes que sostienen las placas de silimanita y --
también el agrietamiento de la misma cámara y por eso -
se aconseja calentar y enfriar gradualmente para evitar
estos deterioros. A medida que se alcanzaba las tempera-
turas requeridas en los distintos tubos de fundición --
los cuales son , la del tubo inferior de 800°C , el que
sigue de 600°C ; el que sigue 400°C , el que sigue de --
 200°C y también la temperatura del tubo de salida de -
gases la cual es aproximadamente de $178-180^{\circ}\text{C}$ y la --
temperatura de la chimenea habíá un lapso de calenta- -

miento y uno de enfriamiento respectivamente, en los - -
cuales subia la temperatura hasta 820°C y se observaba
que no pasara de esa temperatura y al enfriar descendia
la temperatura hasta 780°C y también se observaba que no
descendiera más; es decir el lapso de calentamiento y --
enfriamiento comprendía entre los 40°C , en este lapso se
anotaban las temperaturas respectivas, de todos los ter-
mopares y además el tiempo cuando descendia la tempera--
tura se hacía un chequeo general cada 30 minutos a parte
de que cada 10-11 minutos aproximadamente se anotaban - -
las lecturas correspondientes las cuales se observan en -
las tablas (E-1). El método de funcionamiento de forma --
continua del quemador no es muy aceptable aún cuando la -
temperatura se alcanza más rápidamente y más uniforme--
mente, no es recomendable debido a que si la cámara se --
calentara de un sólo intento se correría el riesgo como -
se dijo anteriormente de agrietarse dicha cámara y el --
peligro de caerse los pilotes que sostienen las placas --
de silimanita.

2.- Optimización de la granulometría.

Se procedio a un análisis granulométrico --
del mineral de mercurio procedente de Huítzucro Gro. y de

Querétaro Gro. El objeto de este análisis fué la clasificación por tamaño de partículas de dicho mineral, previa molienda en el instituto de Geología y facultad de - - - Ciencias Químicas, U.N.A.M.

A continuación se realizó un estudio mineralógico a los minerales de mercurio de los estados de Guerrero y Querétaro.

Mineral de Guerrero: cinabrio en montmorillonita, fórmula HgS ley 0.17% (la montmorillonita es un - - mineral de arcilla, cuya composición química es de silicato hidratado de aluminio con vestigios de calcio magnesio y sodio de color amarillo arcilla) rojo (cinabrio).

Mineral de Querétaro: cinabrio en roca caliza, fórmula HgS , ley 0.5, color gris (roca) rojo (cinabrio).

Análisis granulométrico del mineral de mercurio (HgS) procedente de huitzucó Gro.
tipo mallas Standar Tyler; peso total de la muestra - - -
=63.2 Kg mallas usadas:

20 mallas	20
48 "	-20 + 48

65 mallas		-48 + 65
100 "		-65 + 100
Residuo		-100

mallá	abertura nominal	mm.	inch.	pesos obtenidos	% de Hg.	fracciones en peso
20	micrón 800	0.833	0.0328	0.5 Kg.	0.01	0.0078
48	micrón 300	0.295	0.0116	10.1 Kg.	0.16	0.15
65	micrón 200	0.208	0.0082	4.1 Kg.	1.02	0.065
100	micrón 150	0.147	0.0058	6.3 Kg.	2.23	0.098
Residuo	-100			41.3 Kg. - 2 Kg. <hr/> 39.3 Kg.		
Total				60.3 Kg.		

Pérdidas = 63.2 - 60.3 = 2.9 Kg.

3.- MOLIENDA:

En este punto hay que conciderar que la molienda va a depender en parte del tamaño de la roca donde se encuen - tra las vetitas de cinabrio y al tiempo de triturar va a quedar el mineral a un tamaño uniforme, para después facilitar la mo-- lienda del mismo mineral la cual se hace en diferentes molinos como lo son de quijadas, de bolas, de disco, etc. etc.

Una vez realizada la molienda que fué aproximadamente 5 ton. de mineral de este tonelaje se molieron -- cargas aproximadas de 200 Kg - 300 Kg para los diferentes experimentos, se procedio a un análisis por tamizado el -- objeto es el de obtener una clasificación del mineral que se trata, las mallas utilizadas standar tyler (10,20,60,- 80,100 mallas). Este análisis se efectuó una vez que el -- mineral ha sido molido, en donde se desea obtener un diá-- metro relativo de la partícula, lo mismo que el volumen -- relativo de esta manera se desea investigar a que tamaño -- de partículas es necesario tratar el mineral, para obtener un mejor rendimiento en el horno, a la vez que se comprue-- ba el arrastre que sufren las partículas debido a la fuer-- za de succión ejercida por el extractor y por el arrastre mecánico de los tornillos dentro de los tubos del horno -- para tostar minerales de mercurio. Se comprueba además en que malla se concentra el mineral de mercurio, en el caso del mineral procedente de huitzuco Gro. casi la totalidad del mercurio queda en el residuo.

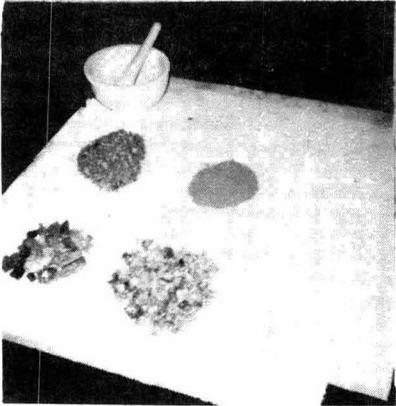
A continuación se muestran algunos de los expe-- rimentos efectuados a diferentes mallas y diferentes R.P.M. en el horno. Se designa T_1 como temperatura del tubo supe--

rior, T_2 la temperatura del tubo siguiente y así sucesi -
vamente T_3 y T_4 .

6

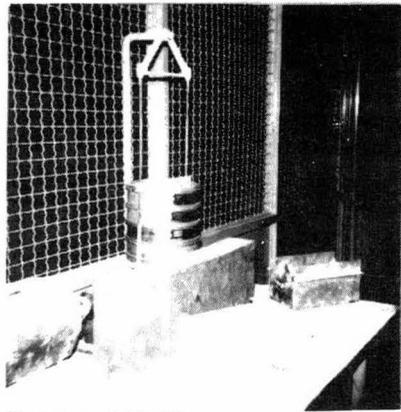
Kg.	Molienda (mallas)	R.P.M.	Temperatura °C	Análisis %		Recuperación
				I	F	
5	60	5	T ₁ 375 T ₂ 400 T ₃ 500 T ₄ 520	0.34	0.08	76.4
5	60	10	320 370 480 520	0.34	0.09	73.5
5	60	15	375 400 500 530	0.34	0.09	73.5
5	60	20	380 420 500 530	0.34	0.09	73.5
5	60	25	380 415 500 520	0.34	0.08	76.4
5	60	30	380 420 500 540	0.34	0.12	64.7
5	60	35	390 420 518 540	0.34	0.16	52.9
5	60	40	400 420 510 530	0.34	0.20	41.0
5	60	50	400 420 505 520	0.34	0.22	35.2

Kg	Molienda (mallas)	R.P.M.	Temperatura °C	Análisis %		Recuperación
				I	F	
5	20	5	360	0.91	0.05	94.5
			360			
			480			
			500			
5	20	10	365	0.91	0.1	82
			375			
			400			
			500			
5	20	25	360	0.91	0.3	67
			400			
			520			
			540			
5	20	35	410	0.91	0.4	56
			440			
			520			
			535			
5	20	50	420	0.91	0.5	43.9
			445			
			520			
			540			
5	80	15	380			
			420			
			500			
			540			
5	80	30	380			
			420			
			500			
			540			



Mortero en el que fué molido
el mineral para su posterior
análisis.

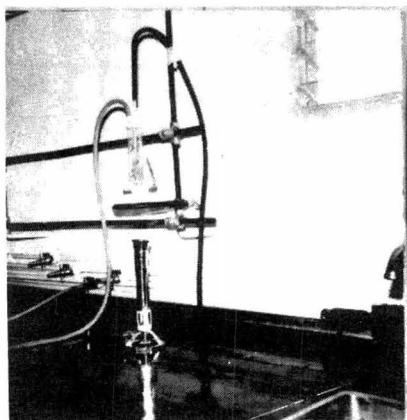
Mallas utilizadas para seleccionar
el mineral.



Para la determinación de los análisis químicos, en este punto hay que señalar la realización de análisis químicos previos a la molienda como también antes de la tostación total del mineral y análisis después de la tostación; en los primeros se escogió un porcentaje de carga pequeño aproximadamente 15 Kg de la carga total -- se trituró y molió se cuartearon de allí se tomó pequeñas cantidades de muestra aproximadamente 1 g. y se procedió al análisis respectivo, se realizaron varios análisis a diferentes mallas para comprobar resultados y saber el porcentaje de mercurio de ese mineral. Lo mismo para los análisis después de la tostación, es el mineral que ha sido molido, clasificado y pasado a diferentes mallas y además se pasó por el horno a diferentes R.P.M. y temperaturas; se seleccionó el mineral tostado y se procedió a hacer los análisis químicos correspondientes para saber el porcentaje de mercurio del mineral una vez que ha sido tostado. Por lo tanto el porcentaje de mercurio de los primeros análisis debe ser más óptima que el obtenido después de que ha sido sacado del horno.

Para los diferentes análisis químicos se empleo el método de ESCHKA, se utiliza este método para la deter

minación de mercurio basándose en la propiedad de éste de amalgamarse con la plata y oro. En efecto se utilizó un aparato como el de la fotografía.



Se dispone de un sistema refractario y un --
crisol en el cual se coloca un gramo del mineral y un --
gramo de limadura de hierro la cual acelera la reacción
del cinabrio, se tapa con lámina de plata cuidando que
quede perfectamente sellado y se coloca en el fondo del
matríz el cual debe estar pulido o esmerilado y que --
hace las veces de refrigerante mediante una recircula--
ción de agua y se calienta durante una hora, ahora bien
la distribución del calor debe ser uniforme para un --
mayor rendimiento. A continuación se muestra la fórmula

empleada en los análisis químicos.

- 1.- Se pesa previamente la lámina de plata sola
- 2.- Se pesa la lámina de plata más mercurio - -
(éste se encuentra amalgamado después de la prueba).
- 3.- Se obtiene la diferencia entre ambas.
- 4.- Se multiplica por 100 y se divide entre el peso de la muestra (lg. aprox.) y nos da el porcentaje de mercurio.

$$\text{Fórmula: } \% \text{ Hg} = \frac{(\text{Peso placa de Ag} - \text{Peso placa de Ag+Hg}) \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

4.- Pruebas sin mineral:

En este tipo de pruebas tanto el motorreductor como el quemador trabajaron continuamente aproximadamente 6,8 y 12 horas haciendo una graduación en los tiempos de encendido y apagado del quemador siendo tal que el sistema de calentamiento sea en forma paulatinamente, por lo que consta al motorreductor trabajó continuamente el tiempo antes mencionado a una velocidad aproximadamente de --
7 R.P.M.

Enseguida se escriben los datos obtenidos en las pruebas tanto del motorreductor como del quemador sin - -

mineral en el horno para tostar minerales de mercurio.

(TABLA E-1)

PRUEBAS DEL MOTORREDUCTOR Y QUEMADOR SIN MINERAL

(hora de iniciación 7.00 A.M.)(datos cada
(hora de conclusión 9.00 P.M.) 1/2 hora).

TABLA (E-1)

Horas	Tubo N°1	Tubo N° 2	Tubo N°3	Tubo N°4	Termopar	Termómetro	N°R.P.M.	fallas
15 min.	480°	200°	240°		100°	85°	6	
30 "	680°	260°	280°		120°	130°	6	
45 "	800°	320°	340°		160°	159°	6	
50 "	820°							
1.00 hora	820°	340°	320°		180°	180°	6	
1.30 "	800°	365°	345°		200°	190°	6	
2.00 "	800°	375°	355°		225°	200°	6	
2.30 "	820°	400°	370°		260°	250.	6	
3.00 "	820°	400°	390°		250°	253°	7	
3.30 "	820°	410°	390°		240°	258°	7	
4.00 "	800°	400°	390°		241°	258°	7	falla a
4.30 "	790°	398°	350°		253°	265°	7 3/4	800°
5.00 horas								
(12.10 P.M.)	820°	420°	400°		270°	261°	7 1/2	
5.30 horas								
(12.35 P.M.)	820°	420°	400°		250°	274°	7 1/2	
6.00 horas								
(13.10 P.M.)	820°	420°	400°		250°	275°	7 1/2	
6.30								
(13.40 P.M.)	820°	420°	410°		261°	282°	7 1/2	
7.00 horas	820°	420°	400°		261°	283°	7 1/2	
7.30	820°	420°	410°		278°	285°	7 1/2	
8.00 horas	820°	420°	410°		260°	281°	7 1/2	
8.30	820°	425°	418°		260°	290°	7	
9.00 horas	820°	425°	410°		250°	296°	7	
9.30								
(4.40 P.M.)	820°	425°	410°		250°	296°	7	
10.00 horas	330°	415°	405°		280.	296°	6 3/4	
10.30								
(5.45 P.M.)	580°	370°	350°		200°	250°	7	
11.00 horas								
(6.10 P.M.)	420°	160°	220°		60°	60°	5	
11.30								
(7.20 P.M.)	720°	260°	275°		115°	100°	5	
12.00 horas								
(9.00 P.M.)	800°	320°	280°		160°	159°	6	

PRUEBAS DEL MOTORREDUCTOR Y QUEMADOR SIN MINERAL
(datos de calentamiento y enfriamiento en un --
lapso de tiempo de 4-15 minutos).

TABLA (E-1).

calentamiento.	Tubo N° 1		Tubo N° 2		Tubo N° 3		Tubo N° 4		Termopar		Termómetro		Tiempo de calentamiento	Tiempo de enfriamiento.
	enfría	calenta.	enfría.	calenta.	enfría.	calenta.	enfría.	calenta.	enfría.	calenta.	enfría	de 780°-820	de 820-780°	
820°	780°	410°	400°	390°	390°		240°	242°	258°	257°	6 minutos	11' 46"		
820°	780°	410°	400°	390°	385°		240°	230°	258°	260°	6 "	11'		
820°	780°	413°	400°	395°	395°		260°	242°	258°	264°	4' 46"	11' 34"		
820°	780°	408°	398°	400°	380°		250°	260°	268°	265°	5' 50"	12'		
820°	780°	408	400°	400°	395°		250°	260°	268°	265°	6'	12' 30"		
820°	780°	420°	400°	400°	380°		270°	265°	268°	266°	5' 15"	12' 7"		
820°	780°	420°	400°	400°	395°		265°	250°	268°	270°	5'	12' 4"		
820°	780°	420°	400°	400°	398°		250°	240°	274°	273°	5' 20"	12' 3"		
820°	780°	420°	400°	400°	393°		242°	242°	275°	275°	4'	11' 30"		
820°	780°	420°	400°	400°	400°		250°	240°	276°	275°	4' 5"	11' 55"		
820°	780°	418°	410°	400°	400°		260°	250°	280°	278°	5' 15"	12' 10"		
820°	780°	420°	419°	400°	399°		261°	261°	282°	279°	6' 7"	13' 52"		
820°	780°	420°	419°	400°	399°		261°	261°	283°	283°	7' 4"	15'		
820°	780°	420°	419°	400°	400°		280°	270°	283°	284°	5' 6"	15'		
820°	780°	420°	419°	410°	401°		278°	268°	284°	288°	5'	14' 5"		
820°	780°	420°	419°	410°	401°		260°	258°	281°	288°	5'	13'		
820°	780°	421°	420°	401°	404°		260°	262°	280°	287°	5'	12' 18"		
820°	780°	421°	418°	410°	400°		278°	277°	288°	288°	4' 36"	13' 50"		
820°	780°	425°	420°	418°	405°		260°	270°	280°	280°	5' 50"	14' 36"		
820°	780°	422°	210°	410°	405°		264°	240°	300°	274°	6'	14'		
820°	780°	425°	420°	410°	405°		250°	260°	286°	284°	5' 10"	15' 20"		
820°	780°	425°	410°	410°	405°		250°	280°	286°	284°	5'	13' 5"		
820°	760°	425°	410°	418°	400°		260°	270°	286°	284°	30'	14'		

Otro tipo de pruebas que se realizaron sin mineral empleando el motorreductor es cuando se determinó la velocidad de las partículas a diferentes r.p.m. y sin calentamiento del horno para lo cual se midió el tiempo total que tardó una pelota de " ping-pong " en recorrer los cuatro tubulares a diferentes r.p.m. y -- con este dato se obtuvo las diferentes velocidades a que se mueve la partícula en función de la distancia, -- dichos datos se encuentran anotados en la siguiente -- tabla: (E-2).

Tabla (E-2).

R.P.M.	Tiempo total (seg)	distancia total recorrida (cm)	Velocidad de la partícula (cm/seg).
5	270.4	440	1.62
10	137	440	3.21
15	106	440	4.15
20	77	440	5.71
25	62	440	7.09
30	51	440	8.62
35	47	440	9.36
40	40.8	440	10.77
45	37	440	11.89
50	33.4	440	13.17

TABLA (E-3)

distancia recorrida en cada tubo (cm)	Tubo N ^o
110	1
110	2
110	3
110	4

5.- Pruebas con mineral.

En base al programa se realizaron pruebas con mineral en el horno para tostar minerales de mercurio y con un mineral cuya ley promedio es de 0.5 %, se calentó el horno según las temperaturas anotadas en la próxima tabla (E-4); se cargaron lotes de 5 Kg de mineral, molidos a 20,60,80 mallas tratados a diferentes r.p.m. y diferentes temperaturas. En la misma tabla se observa la obtención de los tiempos de residencia del mineral en cada tubo, en función de la distancia recorrida (considerando la velocidad de la partícula constante para cada una de las diferentes r.p.m.) con lo cual tenemos:

TABLA (E-4)

R.P.M.	tiempo en seg. para recorrer cada tubo	Tubo N ^o	Temperatura de cada tubo (°C)
5	67.6	1	235
	67.6	2	250
	67.6	3	307
	67.6	4	400
10	34.25	1	235
	34.25	2	250
	34.25	3	307
	34.25	4	400
15	26.5	1	235
	26.5	2	250
	26.5	3	307
	26.5	4	400
20	19.25	1	235
	19.25	2	250
	19.25	3	307
	19.25	4	400
25	15.5	1	235
	15.5	2	250
	15.5	3	307
	15.5	4	400
30	12.75	1	235
	12.75	2	250
	12.75	3	307
	12.75	4	400
35	11.75	1	235
	11.75	2	250
	11.75	3	307
	11.75	4	400
40	10.2	1	235
	10.2	2	250
	10.2	3	307
	10.2	4	400
45	8.35	1	235
	8.35	2	250
	8.35	3	307
	8.35	4	400
5	67.6	1	235
	67.6	2	253
	67.6	3	400
	67.6	4	450

R.P.M.	tiempo en seg. para recorrer cada tubo	Tubo No	temperatura de cada tubo (°C)
10	34.25	1	253
	34.25	2	253
	34.25	3	400
	34.25	4	450
15	26.5	1	253
	26.5	2	253
	26.5	3	400
	26.5	4	450
20	19.25	1	253
	19.25	2	253
	19.25	3	400
	19.25	4	450
25	15.5	1	253
	15.5	2	253
	15.5	3	400
	15.5	4	450
30	12.75	1	253
	12.75	2	253
	12.75	3	400
	12.75	4	450
35	11.75	1	253
	11.75	2	253
	11.75	3	400
	11.75	4	450
40	10.2	1	253
	10.2	2	253
	10.2	3	400
	10.2	4	450
45	8.35	1	253
	8.35	2	253
	8.35	3	400
	8.35	4	450
5	67.6	1	278.5
	67.6	2	300.0
	67.6	3	451.3
	67.6	4	502.0
10	34.25	1	278.5
	34.25	2	300.0
	34.25	3	451.3
	34.25	4	502.0

R.P.M.	tiempo en seg. para recorrer cada tubo	Tubo No	temperatura de cada tubo (°C)
15	26.5	1	278.5
	26.5	2	300.0
	26.5	3	451.3
	26.5	4	502.0
20	19.25	1	278.5
	19.25	2	300.0
	19.25	3	451.3
	19.25	4	502.0
25	15.5	1	278.5
	15.5	2	300.0
	15.5	3	451.3
	15.5	4	502.0
30	12.75	1	278.5
	12.75	2	300.0
	12.75	3	451.3
	12.75	4	502.0
35	11.75	1	278.5
	11.75	2	300.0
	11.75	3	451.3
	11.75	4	502.0
40	10.2	1	278.5
	10.2	2	300.0
	10.2	3	451.3
	10.2	4	502.0
45	8.35	1	278.5
	8.35	2	300.0
	8.35	3	451.3
	8.35	4	502.0

6.- Simulador del horno prototipo al nivel de laboratorio.

A continuación se explica lo que respecta a un simulador del horno prototipo a nivel de laboratorio, tomando datos del mismo horno como son; la distribución de temperatura en los diferentes tubulares; se tomó como criterio la temperatura de descomposición del cinabrio mezclado con óxido de calcio es de: 350-400°C según la reacción:



fijando la temperatura interior del tubular más bajo primero como 400°C y se calculó la temperatura exterior que fué -- 434°C segundo se fijó 450°C la temperatura interior del -- tubular más bajo y se calculó la exterior resultando 475°C -- y tercero se realizó lo mismo que lo anterior fijando la -- temperatura interior en 500°C y calculando la exterior en -- 518°C conforme al siguiente planteamiento.

Cálculo de la transmisión de calor por radiación -- en el tubo inferior, consideramos la ecuación de transmisión de calor por radiación como: $Q = 0.173 A \frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100}$

interezando más el cálculo donde T₁, T₂ o sea radiación de -- calor será hacia el interior del tubo, se invierten los signos y queda:

$$Q = 0.173 A \frac{T_2^4}{100} - 0.173 A \frac{T_1^4}{100}$$

se despeja T₂: $T_2 = 100 \frac{T_1^4}{100} + \frac{Q 1/4}{0.173 A}$

donde: T₁= temperatura interior

T₂= temperatura exterior

A = Area de los tubulares

Q = flujo de calor

$$B = \frac{T_1}{100}$$

$$C = \frac{Q 1/4}{100}$$

$$\text{para } T_1 = 400^\circ\text{C} \quad T_2 = 253 + 102 \times 102^{1/4} \times 100 = 434^\circ\text{C}$$

$$\text{para } T_1 = 450^\circ\text{C} \quad T_2 = 410 + 102^{1/4} \times 100 = 475^\circ\text{C}$$

$$\text{para } T_1 = 500^\circ\text{C} \quad T_2 = 625 + 102^{1/4} \times 100 = 518^\circ\text{C}$$

Una vez realizados los cálculos anteriores, se calentó el horno, fijando la temperatura del tubular más bajo como: 440°C y se detectó la temperatura exterior de los otros tres tubulares, a continuación se procedió a calcular las temperaturas interiores de los tubulares -- uno, dos y tres, mediante la siguiente fórmula:

$$T_1 = 100 \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \frac{Q}{0.173A}^{1/4}$$

Se calentó el horno por segunda vez fijando -- la temperatura del tubular más bajo como 480°C y se repitió lo anterior, y por tercera vez se fijó la temperatura del tubo más bajo como 520°C realizando nuevamente los cálculos según el planteamiento anterior.

En la siguiente tabla se muestran los resultados.

(E-5)

(E-5)

Temperatura exterior °C	Temperatura interior °C	Tubo No	Tiempo en alcanzar la temp. (hrs)
280	234.5	1	
300	250.0	2	
380	307.0	3	0.5
400	400.0	4	
320	253.0	1	
320	253.0	2	
440	400.0	3	2.5
480	450.0	4	
340	278.5	1	
370	300.0	2	
480	451.3	3	3
520	502.0	4	

Tomando en cuenta el tiempo que tardan las partículas minerales en cada tubular para diferentes r.p.m. y por lo tanto a diferentes temperaturas se realizaron las siguientes pruebas:

- 1.- Se muestreo muy bien el mineral a tratar.
- 2.- Se molieron 10 Kg. de mineral y se seleccionaron a diferentes tamaños (10,20,60,80 y 100 mallas).
- 3.- Se realizaron primero 36 pruebas de tostación de cina -- brio, 12 pruebas con mineral de 20 mallas; 4 pruebas a -- 5 r.p.m. (67.6 seg.), 10 r.p.m. (34.25 seg.), 15 --- r.p.m. (26.5 seg.), y 20 r.p.m. (19.25 seg.), lo - - anterior para T₁; 4 pruebas a 5 r.p.m. (67.6 seg.), -- 10 r.p.m. (34.25 seg.), 15 r.p.m. (26.5 seg.), y 20-

r.p.m. (19.25 seg.), para T₁; 4 pruebas a las mismas r.p.m. que las anteriores y por lo tanto a los mismos tiempos para T_{III}.

Se llevaron a cabo 12 pruebas con mineral de 60 mallas y 12 pruebas con mineral de 100 mallas, con la misma metodología que la usada con mineral de 20 mallas.

Nota: T₁ representa que la cámara (1) fué calentada a 235°C; la cámara (2) calentada a 250°C; la cámara (3) calentada a 307°C y la cámara (4) a 400°C.

T_{II} representa que la cámara (1) fué calentada a 253°C; la cámara (2) a 253°C; la cámara (3) calentada a 400°C; y la cámara (4) a 450°C.

T_{III} representa que la cámara (1) fué calentada a 278°C la cámara (2) calentada a 300°C; la cámara (3) calentada a 451°C, y la cámara (4) calentada a 502°C.

En cada una de las pruebas anteriores primero se calentaron las cuatro cámaras a las temperaturas requeridas, después se descargó el mineral a la cámara (1) (la de más baja temperatura, en base al dibujo del aparato), allí se mantuvo el tiempo requerido según experimentos anteriores, después se pasó sucesivamente el mineral por las otras tres cáma-

ras y se descargó el mineral, para analizarlo posteriormente .
 Los datos del experimento se consignan en las tablas siguientes:

(E-6)

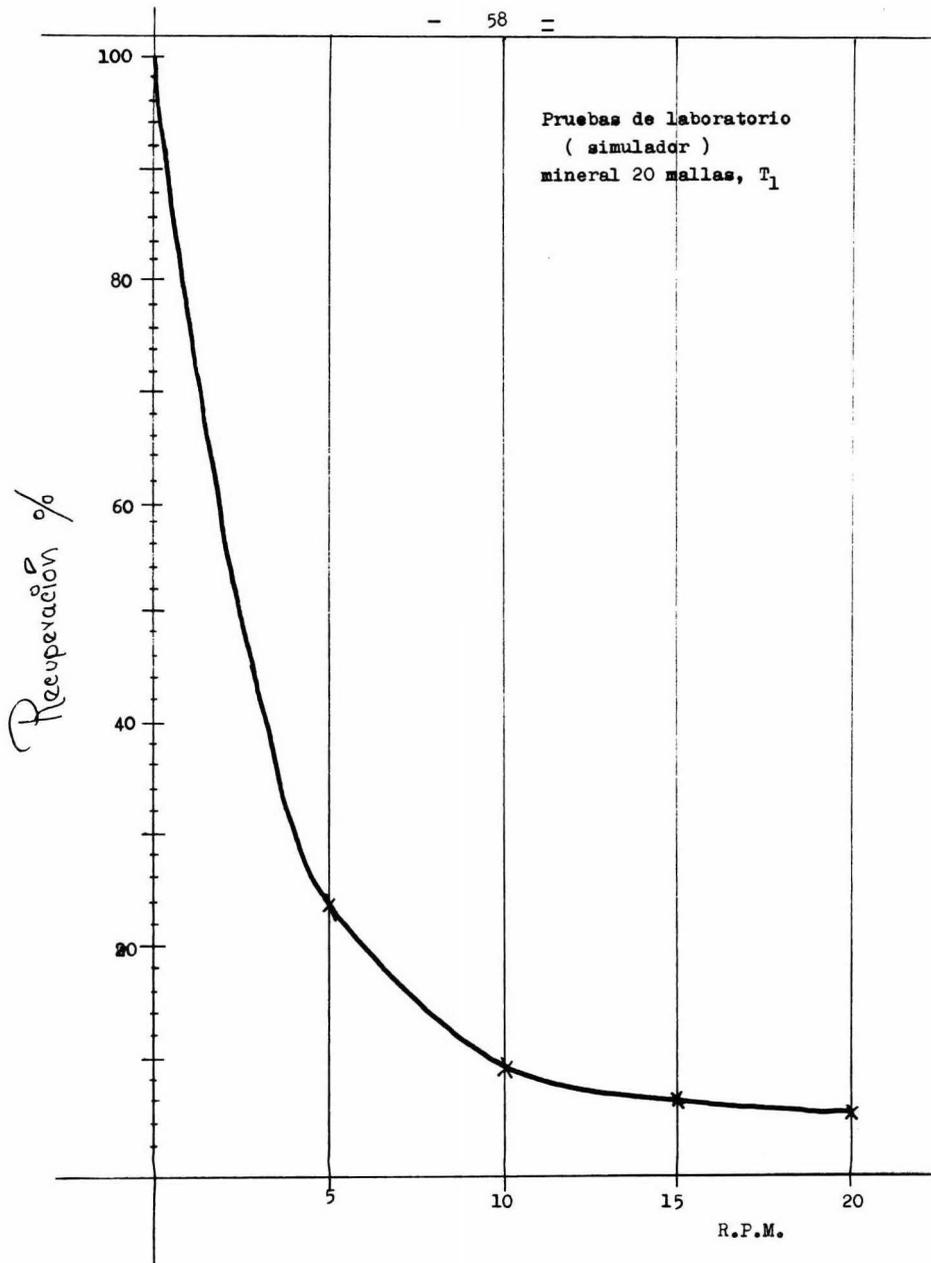
g	Molienda (mallas)	R.P.M.	Tiempo (seg.)	Temperatura	Análisis %		Recuperación %
					inicial	final	
160	20	5	67.6	235	0.42	0.29	23.6
			67.6	250			
			67.6	307			
			67.6	400			
160	20	10	34.25	235	0.42	0.38	9.52
			34.25	250			
			34.25	307			
			34.25	400			
160	20	15	26.5	235	0.42	0.39	7.14
			26.5	250			
			26.5	307			
			26.5	400			
160	20	20	19.25	235	0.42	0.40	4.76
			19.25	250			
			19.25	307			
			19.25	400			
160	20	5	67.6	253	0.42	0.06	85.7
			67.6	250			
			67.6	307			
			67.6	400			
160	20	10	34.25	253	0.42	0.27	76.3
			34.25	253			
			34.25	400			
			34.25	450			
160	20	15	26.5	253	0.42	0.12	71.5
			26.5	253			
			26.5	400			
			26.5	450			
160	20	20	19.25	253	0.42	0.17	59.5
			19.25	253			
			19.25	400			
			19.25	450			

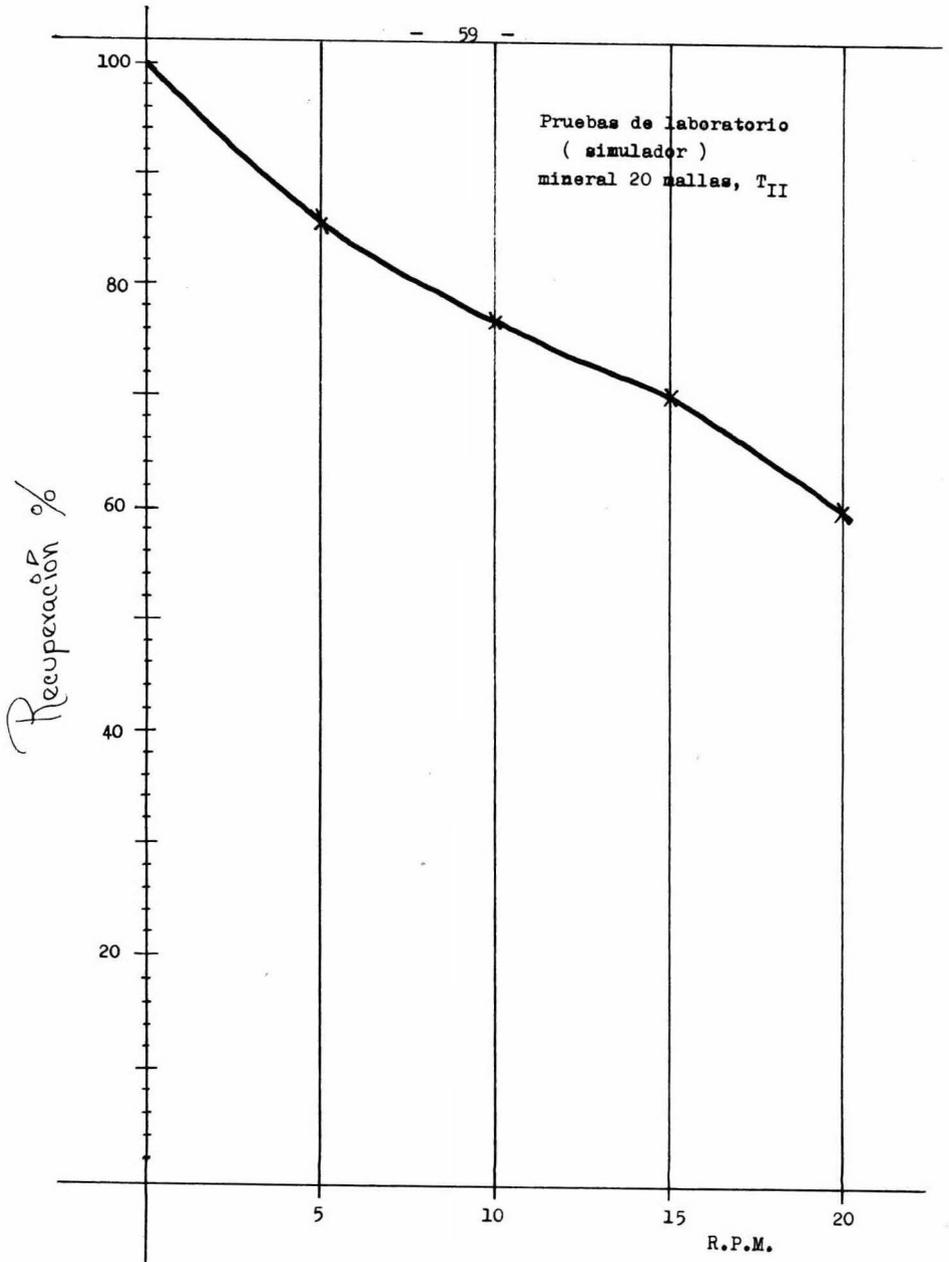
g	Molienda (mallas)	R.P.M.	Tiempo (seg.)	Temperatura	Análisis%		Recuperación %
					inicial	final	
160	20	5	67.6	278.5	0.42	0.05	88.1
			67.6	300.0			
			67.6	451.3			
			67.6	502.0			
160	20	10	34.25	278.5	0.42	0.37	11.9
			34.25	300.0			
			34.25	451.3			
			34.25	502.0			
160	20	15	26.5	278.5	0.42	0.39	7.14
			26.5	300.0			
			26.5	451.3			
			26.5	502.0			
160	20	20	19.25	278.5	0.42	0.41	2.38
			19.25	300.0			
			19.25	451.3			
			19.25	502.0			
160	60	5	67.6	235	0.41	0.07	82.9
			67.6	250			
			67.6	307			
			67.6	400			
160 (a)	60	10	34.25	235	0.41	0.22	46.4
			34.25	250			
			34.25	307			
			34.25	400			
160	60	15	26.5	235	0.41	0.23	43.9
			26.5	250			
			26.5	307			
			26.5	400			
160	60	20	19.25	235	0.41	0.33	19.5
			19.25	250			
			19.25	307			
			19.25	400			
160	60	5	67.6	253	0.41	0.13	68.4
			67.6	253			
			67.6	400			
			67.6	450			
160 (b)	60	10	34.25	253	0.41	0.20	51.2
			34.25	253			
			34.25	400			
			34.25	450			
160	60	15	26.5	253	0.41	0.26	31.6
			26.5	253			
			26.5	400			
			26.5	450			

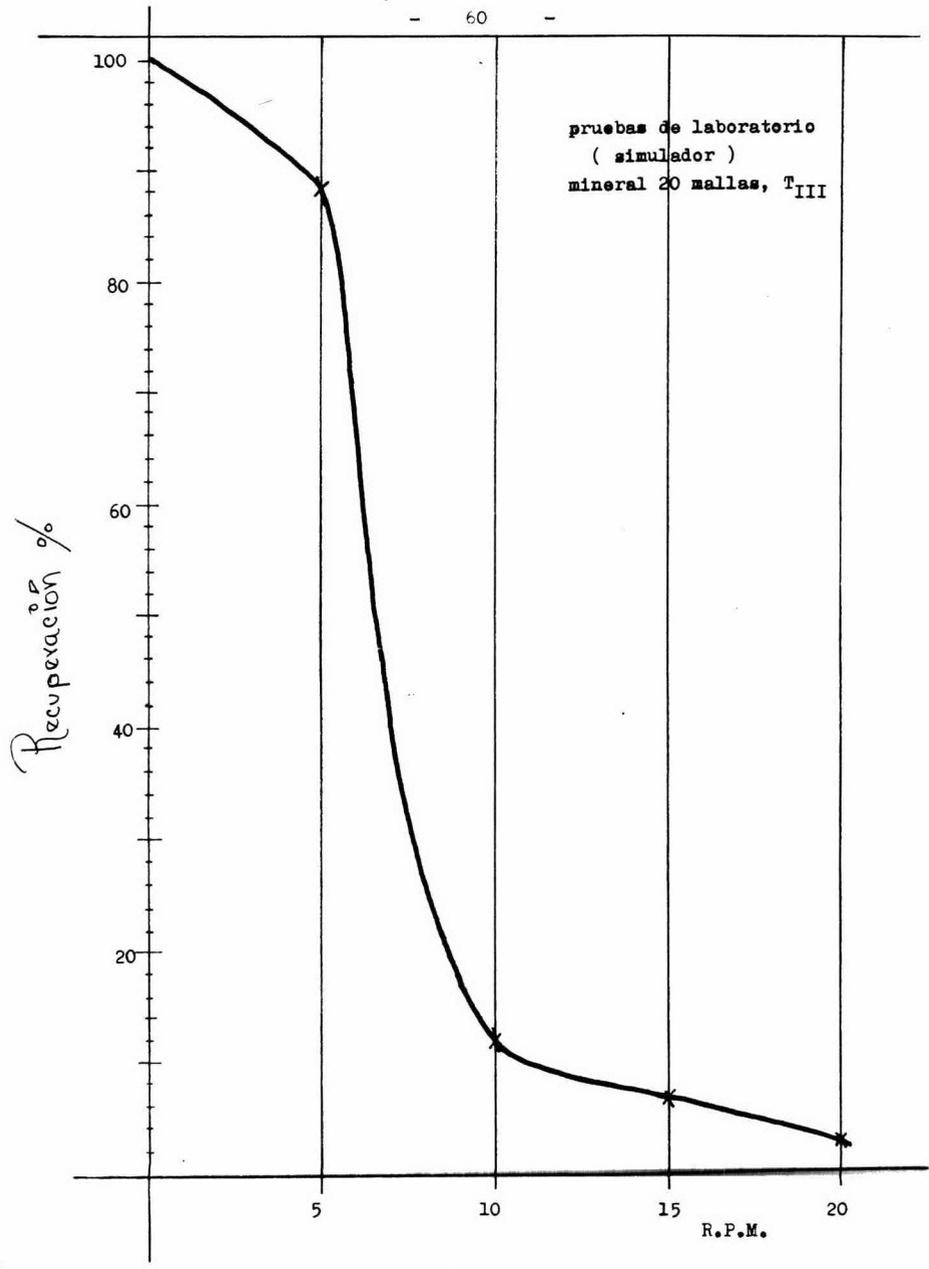
g	Molienda (mallas)	R.P.M.	Tiempo (seg.)	Temperatura	Análisis % inicial	Análisis % final	Recuperación %
160	60	20	19.25	253	0.41	0.39	4.82
			19.25	253			
			19.25	400			
			19.25	450			
160	60	5	67.6	278.5	0.41	0.18	56.1
			67.6	300.0			
			67.6	451.3			
			67.6	502.0			
160 (c)	60	10	34.25	278.5	0.41	0.20	51.3
			34.25	300.0			
			34.25	451.3			
			34.25	502.0			
160	60	15	26.5	278.5	0.41	0.29	29.3
			26.5	300.0			
			26.5	451.3			
			26.5	502.0			
160	60	20	19.25	278.5	0.41	0.34	17.1
			19.25	300.0			
			19.25	451.3			
			19.25	502.0			
160	100	5	67.6	235	0.65	0.14	63.1
			67.6	250			
			67.6	307			
			67.6	400			
160	100	10	34.25	235	0.65	0.26	60
			34.25	250			
			34.25	307			
			34.25	400			
160	100	15	26.5	235	0.65	0.27	58.5
			26.5	250			
			26.5	307			
			26.5	400			
160	100	20	19.25	235	0.65	0.27	58.5
			19.25	250			
			19.25	307			
			19.25	400			
160	100	5	67.6	253	0.65	0.15	77
			67.6	253			
			67.6	400			
			67.6	450			

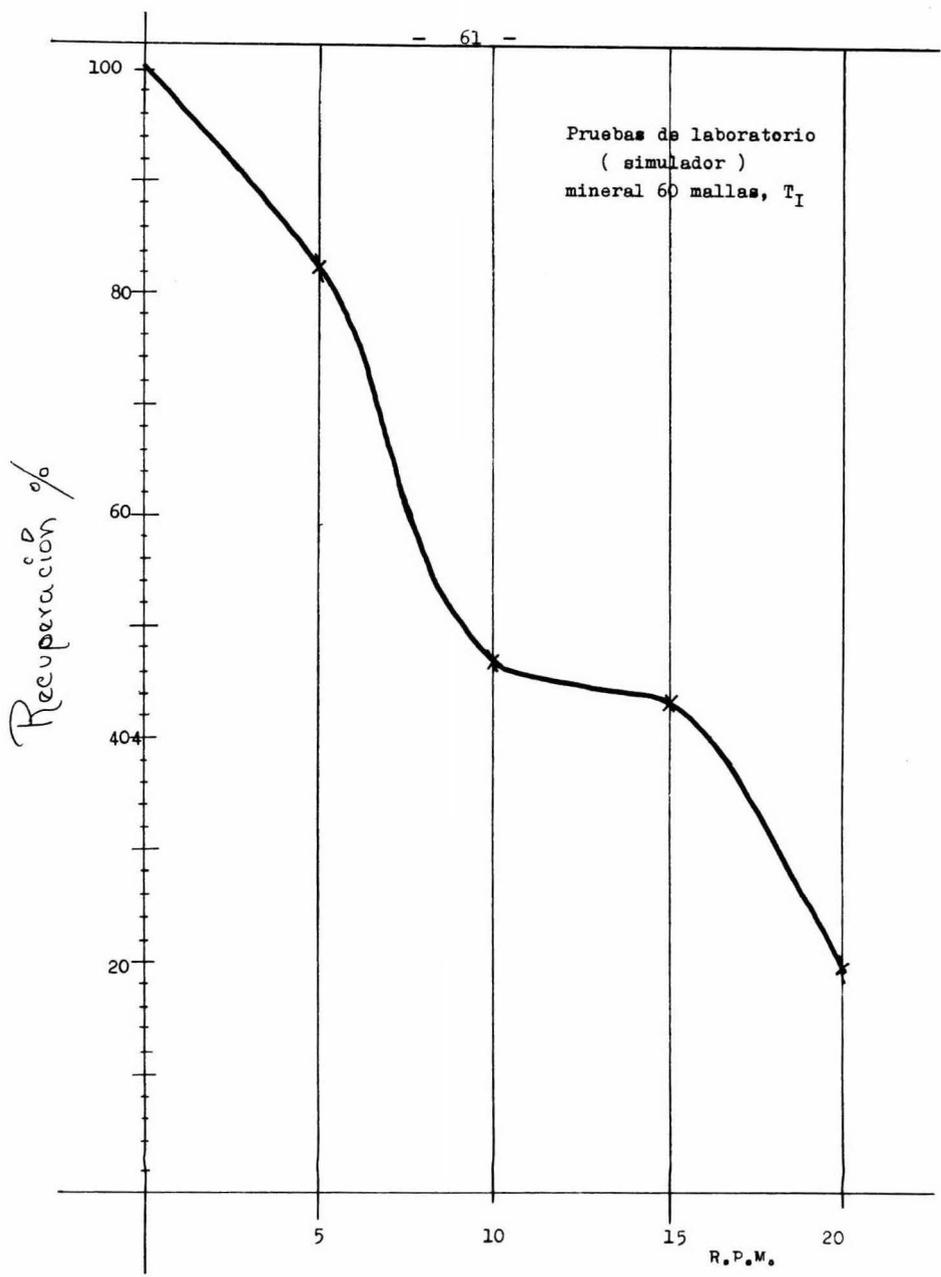
g	Molienda (mallas)	R.P.M.	Tiempo (seg.)	Temperatura	Análisis inicial	final	recuperación %
160	100	10	34.25	253	0.65	0.20	69.2
			34.25	253			
			34.25	400			
			34.25	450			
160	100	15	26.5	253	0.65	0.23	64.6
			26.5	253			
			26.5	400			
			26.5	450			
160	100	20	19.25	253	0.65	0.27	58.4
			19.25	253			
			19.25	400			
			19.25	450			
160	100	5	67.6	278.5	0.65	0.15	77.0
			67.6	300.0			
			67.6	451.3			
			67.6	502.0			
160	100	10	34.25	278.5	0.65	0.18	72.4
			34.25	300.0			
			34.25	451.3			
			34.25	502.0			
160	100	15	26.5	278.5	0.65	0.24	65.0
			26.5	300.0			
			26.5	451.3			
			26.5	502.0			
160	100	20	19.25	278.5	0.65	0.28	57.0
			19.25	300.0			
			19.25	451.3			
			19.25	502.0			

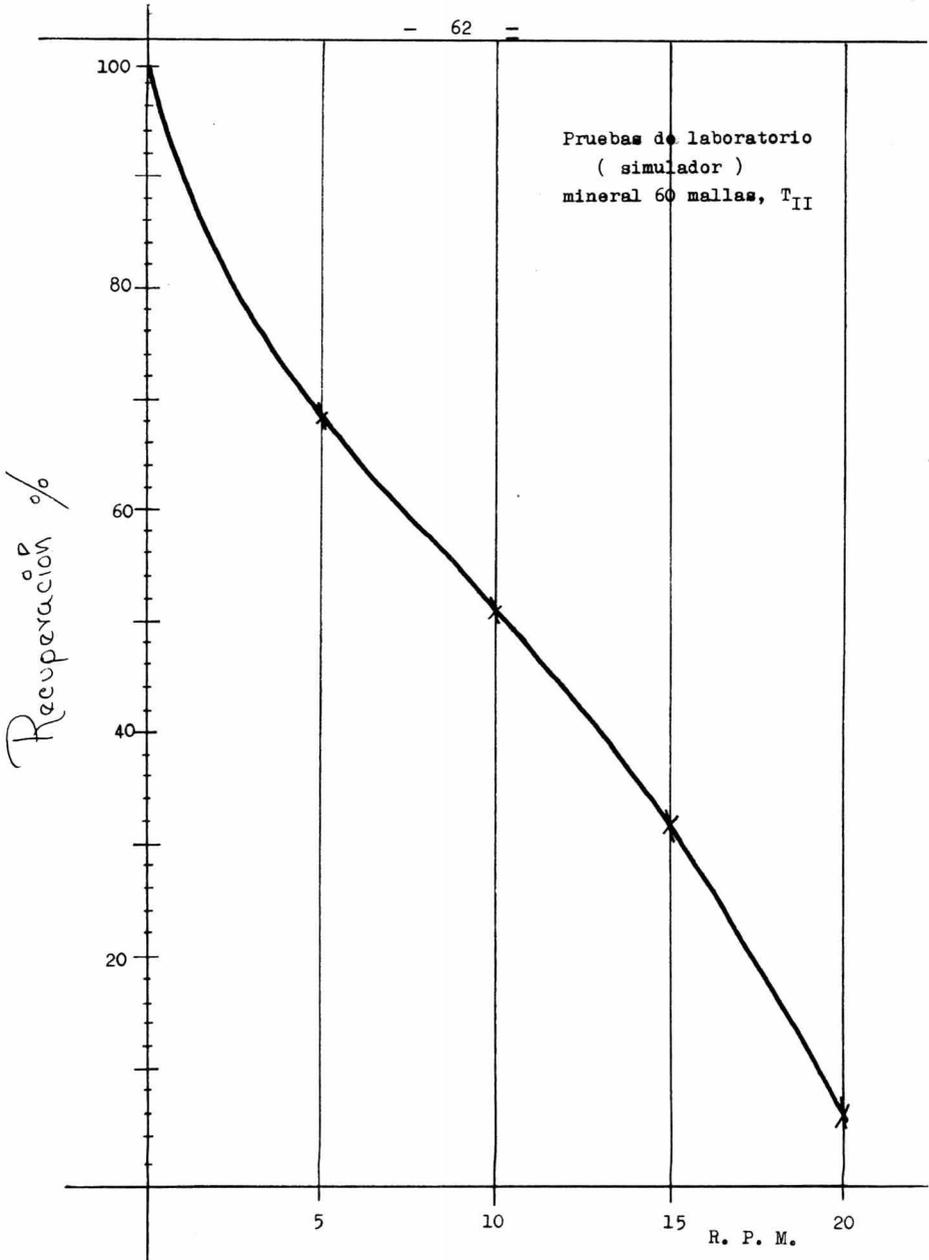
A continuación se muestran las gráficas correspondientes a dichos experimentos con el simulador como también el esquema del mismo:

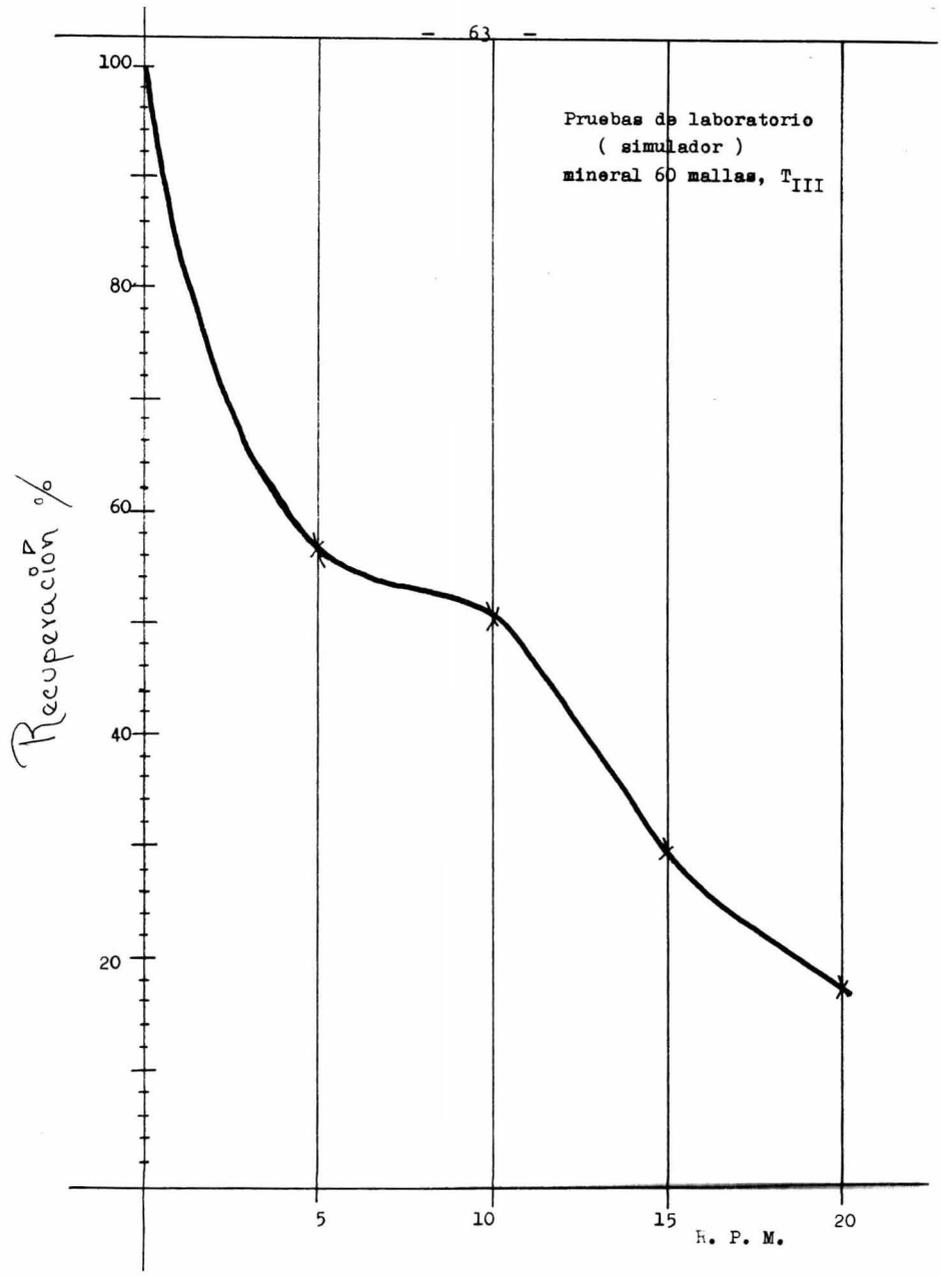


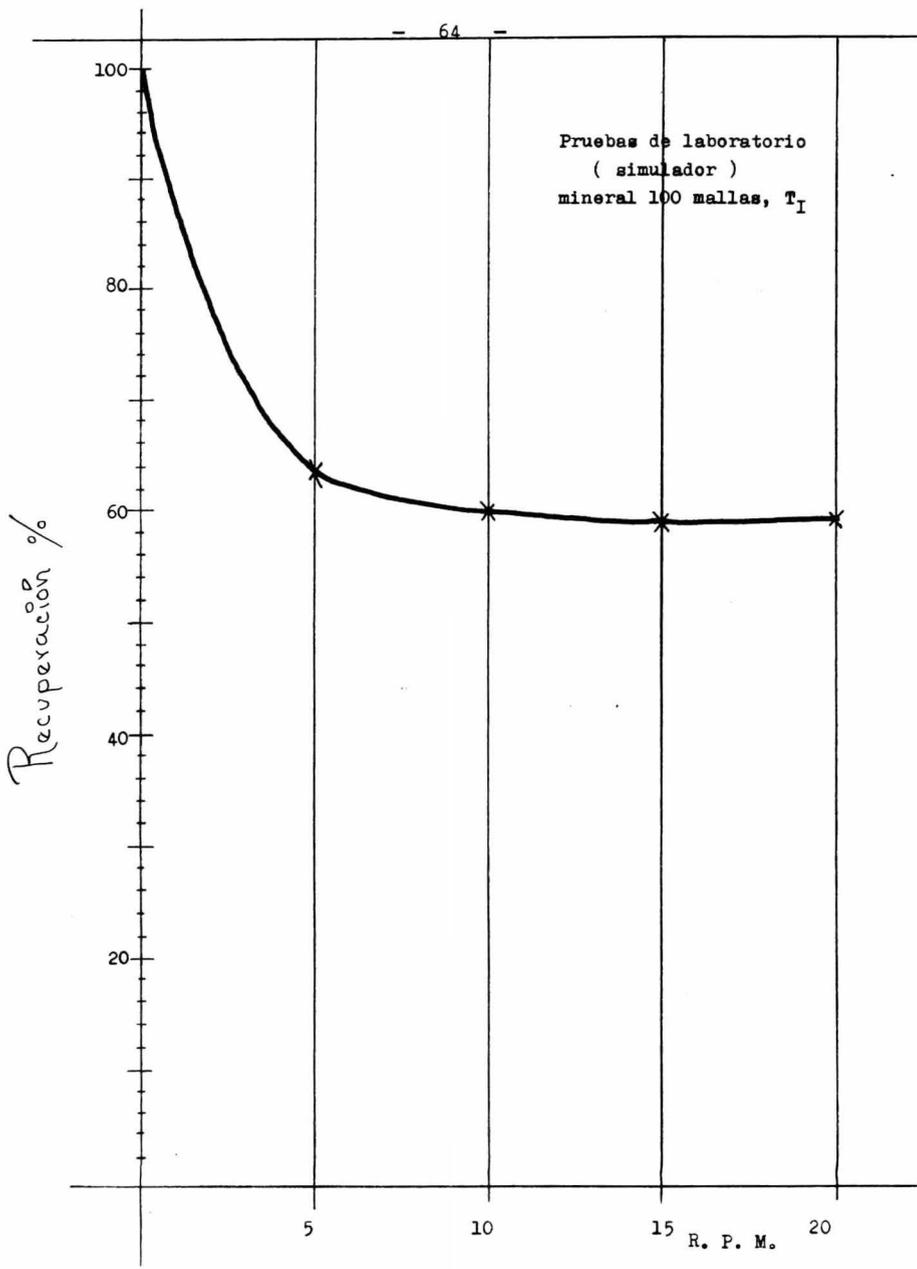


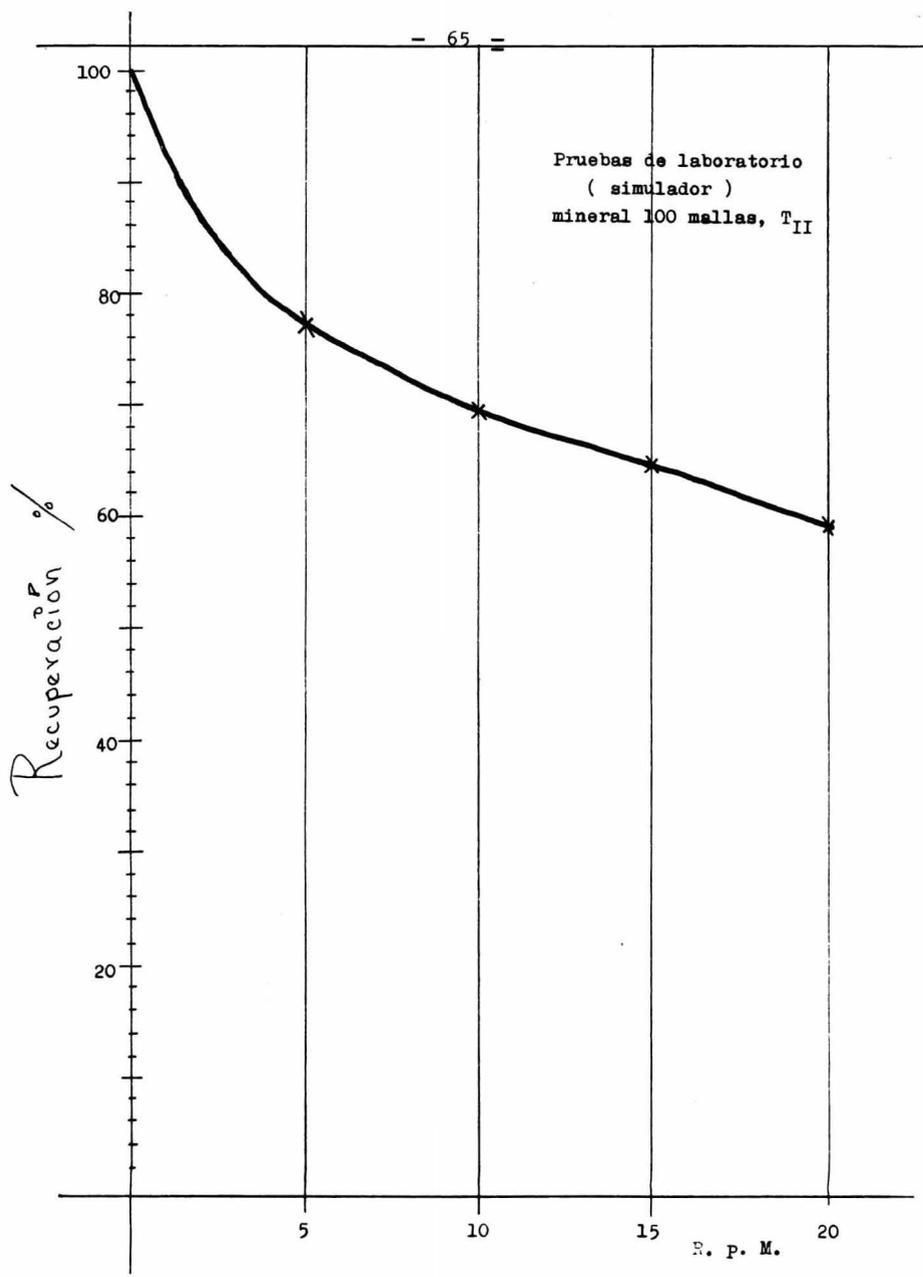


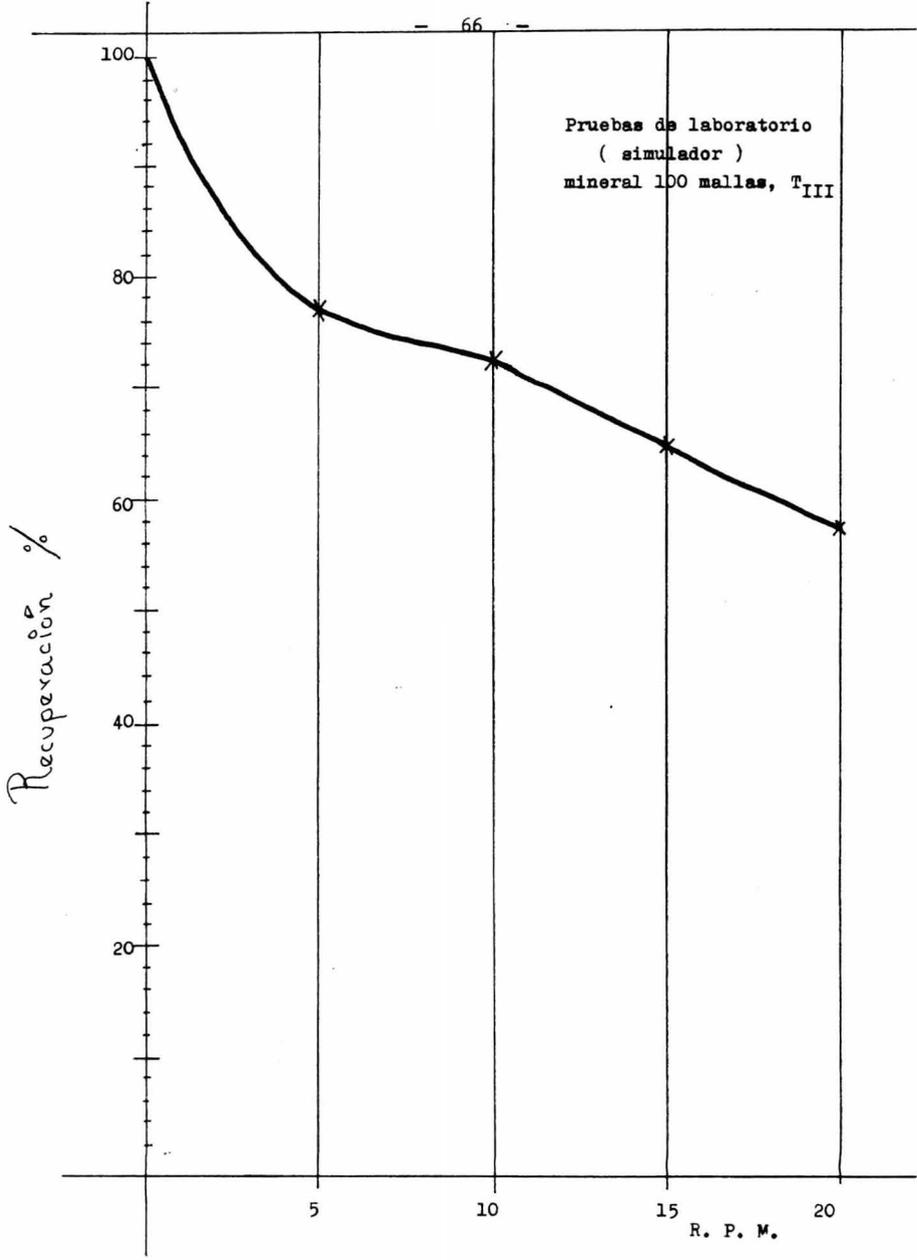




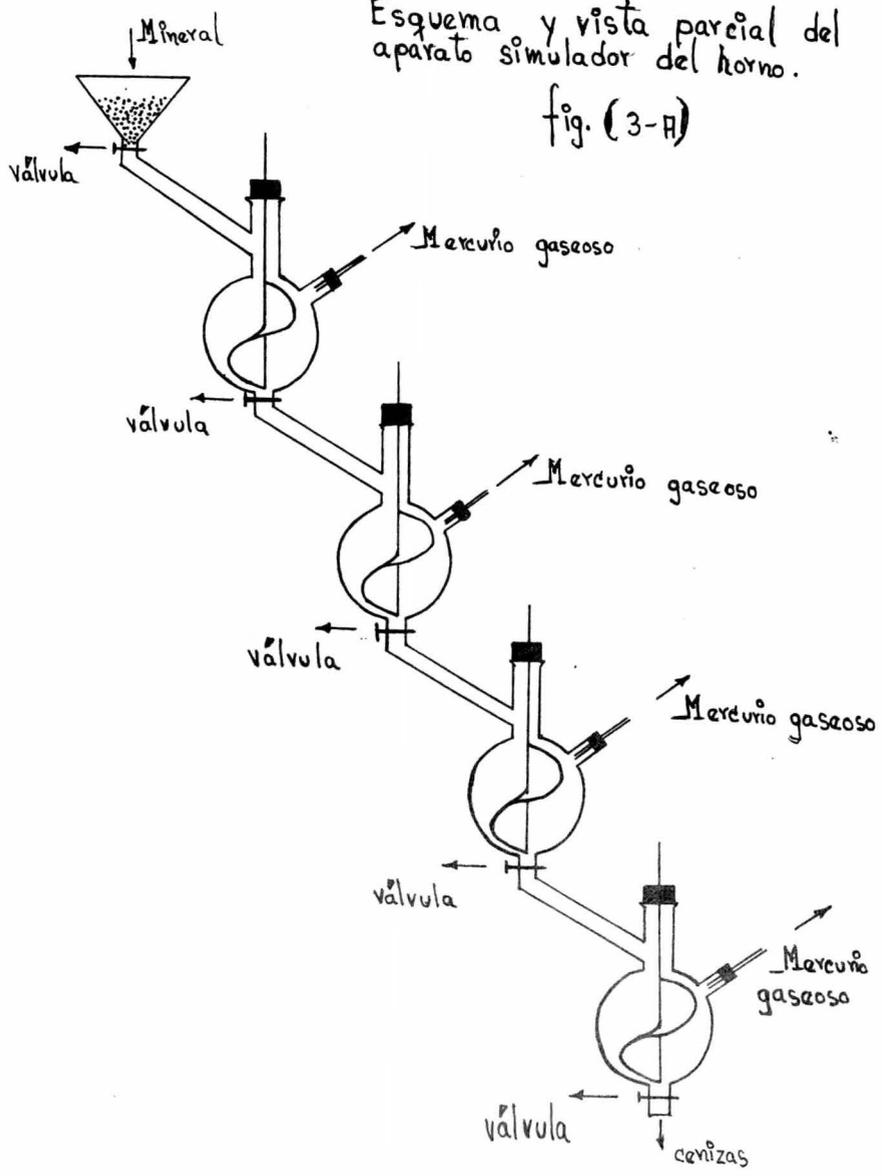






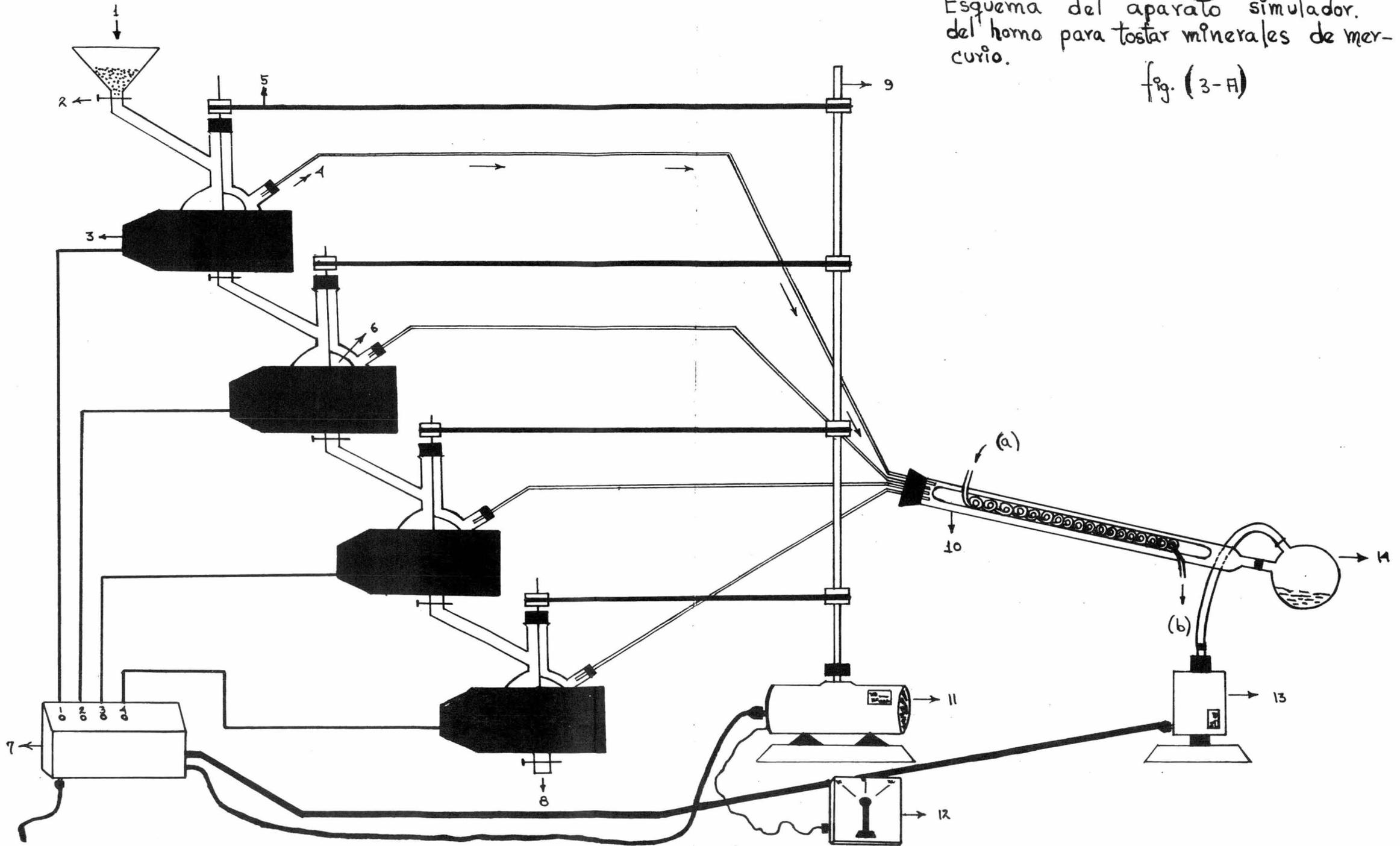


- 67 -
Esquema y vista parcial del
aparato simulador del horno.



Esquema del aparato simulador.
del horno para tostar minerales de mer-
curio.

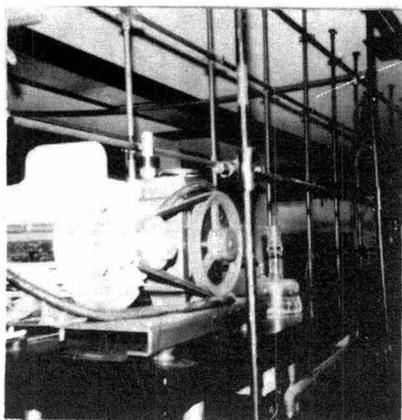
fig. (3-A)



PARTES QUE INTEGRAN EL APARATO SIMULADOR DEL HORNO PARA
TOSTAR MINERALES DE MERCURIO.

- 1.- Tolva donde se deposita la carga del mineral --
requerida por el proceso.
- 2.- Válvula la cual sirve para darle paso a el mi-
neral a las cámaras.
- 3.- Hornos, estos cubren las cámaras, como también--
suministran la energía necesaria para calentar
el mineral.
- 4.- Conducto para la salida de los vapores de mer-
curio, los cuales van a dar al refrigerante.
- 5.- Sistema de bandas y poleas que fueron usadas--
para transmitir el movimiento a las aspas den-
tro de las cámaras.
- 6.- Aspas, las cuales sirven para remover unifor--
memente el mineral, por consiguiente habrá una-
mejor tostación del mineral.
- 7.- Tablero que sirve para la medición de tempera-
turas en las distintas cámaras como también la
fuente de corriente eléctrica para hacer mover
los motores.
- 8.- Salida de cenizas al terminar el proceso de - -
tostación.
- 9.- Barra fija al motor, que con la ayuda de las - -
bandas y poleas dan el movimiento a las aspas.-
- 10.- Obsérvese el refrigerante donde fué condensa- -
dos los vapores de mercurio, así como también la
trampa de agua.

(a) entrada de agua
(b) salida de agua
- 11.- Motor que proporciona el movimiento de las aspas
- 12.- Control manual de velocidades del anterior motor.
- 13.- Máquina utilizada para succionar los vapores de -
mercurio producidos en las cámaras de tostación.
- 14.- Depósito para el mercurio obtenido.



Máquina utilizada para succionar los vapores de mercurio producidos en las cámaras de tostación.

IV.- Ventajas y Desventajas.

Se puede decir que es una desventaja del mercurio debido a que es una enfermedad que se conoce en la historia desde que los alquimistas usaban mercurio. Los vapores de mercurio son muy venenosos así como muchas de sus combinaciones.

Por razón del efecto perjudicial para la salud de los vapores de mercurio sobre el organismo humano, llamado también hidrargirismo, en todos los trabajos en que se desprenden vapores de mercurio, y por lo tanto también en particular en la obtención del mercurio, son precisas medidas especiales de precaución. Los vapores de mercurio producen según la intensidad o la duración de su acción, un enrojecimiento de color cobrizo de la mucosa de la boca y cuando la acción es más intensa o más larga dan lugar a una hinchazón de las encías (estomatitis), formación de úlceras en las cavidades de la boca trastornos gástricos e intestinales, eventuales diarreas, dolores en los miembros y articulaciones y perturbaciones del sistema nervioso que se manifiesta por un temblor de las manos y de la cabeza. Los enfermos graves enflaquecen y presentan a menudo una palidez

marcada en estos casos más graves, que se presentan rara vez sobreviene la pérdida progresiva de fuerzas, delirios y alucinaciones y finalmente la muerte del atacado.

Otra desventaja son las pérdidas producidas por -- escapes de vapores de mercurio en puntos no herméticos de -- los condensadores, estas pérdidas pueden reducirse a un lími te muy pequeño si se dispone de un tiro suficiente si en los condensadores existe depresión y si éstos están bien vigila dos. Pero si el tiro es pequeño de manera que en los primeros condensadores detrás del horno haya compresión y existan en - el condensador numerosos puntos de unión (aludeles) la pér dida puede llegar a tener un gran valor.

En todos los hornos modernos se emplea el tiro - - artificial por medio de ventiladores se aspiran los gases de los hornos hacia los aparatos de condensación y se impulsan - por unos canales a la chimenea. Además se tiene como resulta do una crítica en la que se pone en relieve algunos errores - de construcción y material usado en ciertos puntos del horno, por ejemplo un inconveniente que se encontró al horno fué el material de fabricación de los tornillos sinfín para mover el mineral, puesto que el acero que se está usando es el común,-

se deben tomar precauciones al respecto ya que tiende a -
ablandarse cuando pasa de los 600°C , como dichos tornillos
están girando, tenderan a curvarse y practicamente se fre-
narán al rozar con la pared del tubo de fundición. Por lo
que respecta a los tubos se considera que no resistirán la
alta temperatura durante mucho tiempo, con trabajo continuo
puesto que constantemente habrá un rozamiento del mineral -
con el tubo. Se considera que este horno está muy elaborado
y esto provocara que los mineros tengan problemas ya que --
ellos buscan sencillez en sus procedimientos, y en un moment
to dado que sufriera un desperfecto en el mecanismo lo abano
donarían; con esto se da a entender que se debe buscar algo
más práctico.

También se observa que en este modelo de horno la
dificultad de quitar o cambiar un tubo de fundición, puesto
que las paredes del horno se deben romper.

En la condensación existe la formación del hollín
procedente de los condensadores más alejados del horno y el
cual contiene ya poco mercurio, una formación de hollín es
favorable hasta cierto límite pero también confirma la --
opinión de que al modificarse la marcha del horno es preciso

también una modificación en el sistema de condensación que dé buen rendimiento, se puede diseñar un tipo de condensador que sea económico y accesible en todas sus partes es -- decir hacerlo desmontable ya que no hay que olvidar que -- dicho horno se va a instalar en lugares lejanos de centros de población y los mismos operarios podrán cambiar la parte afectada del condensador por el tiempo sin mucha dificultad, a este tipo de condensador se le adaptaron, unas aletas de solera por los cuatro lados de la tubería y, a lo largo para que haya mayor disipación de calor con ayuda del medio ambiente; antes que se escogiera el tipo de tubería destinada a la formación del condensador se realizaron pruebas en el laboratorio del siguiente material:

- a) acero al carbón
- b) acero inoxidable
- c) fierro colado
- d) galvanizado

Del anterior material, se escogieron algunos -- pedazos y se introdujeron en un matr az conteniendo mercurio puro, aplicandole después temperatura a dicho matr az -- -- aproximadamente $300-400^{\circ}\text{C}$ se observó mediante diferencia -- de pesos que el acero al carbón fué el que menos se amalga-

mó con el mercurio, y por lo tanto se llegó a la conclusión de emplear tubería de acero ya que en la anterior prueba -- fué el que menos se amalgamó. Como ventiladores se emplean diversas construcciones, los ventiladores de Root y otros -- análogos, que cuando están parados cierran por completo el camino de los gases por lo anterior ofrece grandes dificultades la elección del material, pues los ventiladores son -- fuertemente atacados por los gases fríos que contienen -- azufre y bioxido de azufre, por esta razón el hierro no es muy a propósito, se pueden emplear de madera, el cobre, etc.

V.- Conclusiones.

En base a los experimentos llevados a cabo en el aparato simulador y en el horno mismo para -- tratamiento de minerales de mercurio se considera la molienda más adecuada para tratar minerales de mercurio con una -- ley de 0.5% es de 20 mallas; la temperatura más adecuada es de 800°C, la velocidad de los tornillos sinfín de 5 R.P.M.-- para lograr ésto se requiere de un motor de 5 H.P. de potencia mínima y ajustarlo a las velocidades de 3.5 y 7.5 -- r.p.m., además que funcione de reversa, usando un sistema -- manual para el cambio de velocidades, evitando al máximo --

los sistemas electrónicos complicados (tomar en cuenta - que el uso de estos hornos será en el medio rural).

Los gastos de obtención dependen en gran parte de las circunstancias locáles (precio de combustible y - de los materiales, jornales, condiciones de transporte, - etc;etc.), en cambio para la magnitud de las pérdidas -- ejerce una influencia decisiva, en primer lugar la perfec - ción de las instalaciones y la marcha del proceso. La - - penetración del mercurio metálico es cierto que es difícil de evitar, pero puede en parte hacerse inofensiva si los - aparatos de condensación están montados de modo que sean - accesibles por todas partes como se dijo anteriormente.

Por lo que respecta a las fugas se deben colocar tubos de hierro, en forma vertical en los extremos de los tubos horizontales, de tal forma que se recupera las fugas de vapor de mercurio a través de los bujes.

Se aconseja también que es mejor controlar la - - temperatura en cada tubo y en la salida de los gases, esto es poner un control en cada tubo con la temperatura máxima requerida por ejemplo en el primer tubo de abajo 800°C el - que le sigue 600°C y así sucesivamente; lo anterior se - --

logra poniendo un quemador pequeño asociado a un control individual en cada tubo, para temperatura. Otro consejo para soliviantar el problema de rozamiento de los tornillos sinfín es fabricarlos con acero inoxidable del tipo 333 ó 335 (no lo hay en el País), cuya composición -- aproximada es de 40% a 45% de níquel, y 15% a 19% de cromo; este acero soporta temperaturas hasta de 1200°C -- sin deformarse. Ya que el tipo de acero de que está fabricado el tornillo sinfín actual es de la siguiente composición 23% a 30 Cr; 0.35 máx.C; el resto de Hierro inoxidable, tipo 446 y la temperatura máxima requerida para este material es de 915°C, y esto como se dijo anteriormente - el acero que se está usando es el común, se deben tomar precauciones al respecto ya que tiende a ablandarse cuando pasa de los 600°C, como dichos tornillos están girando, tenderán a curvarse y practicamente se frenarán al rozar con la pared del tubo.

Otra finalidad de este sistema es el bajo costo de transporte hasta lugares lejanos e inaccesibles debido a esto se tratará de optimizar y planear un horno sencillo además que sea de fácil adquisición por parte de los medianos y pequeños propietarios de minas, hacer un mínimo - -

consumo de energéticos y tengan alta producción, aunque hay todavía se emplean hornos de reverbero para minerales ricos esto ocurre, sin embargo, rara vez, pues su trabajo resulta mucho más caro que con los hornos de marcha continua que hoy se emplean con mayor frecuencia para minerales en pedazos finos.

Por todo lo anterior se puede decir que los hornos de marcha continua representan un progreso, no solo porque abarata la explotación, sino la disminución en las pérdidas por fugas, así también minimizar el precio unitario, disminución en la contaminación ambiental y como punto principal la seguridad y protección del elemento humano.

BIBLIOGRAFIA

- I.- Babor Ibarz
Química general moderna
(editorial Marin)
- II.- Humberto Rodríguez Caldera (I.Q.)
Estimación de un horno continuo para la tostación
de cinabrio.
Tesis profesional, Fac. de Química
U.N.A.M. - 1972 -
- III.- Taggart
" Handbook of Mineral Dressing "
John Willef
New York, 1956
- IV.- M. Bargalló
" tratado de Química Inorgánica "
Porrua S.A.
Méx., D.F. - 1962 -
- V.- E. Calvet
" Química general aplicada a la materia "
Salvat Editores, S.A. - 1958 - Vol. II.

