

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Facultad de Química

ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE UN HORNO DE RETORTA
DE MERCURIO SITUADO EN LA MINA EL OCOTAL,
MUNICIPIO DE EL MINERAL DE SAN
JOAQUIN, QUERETARO

287

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a
MARGARITO QUINTERO NUÑEZ

México, D. F., Noviembre de 1975



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
ADQ. 1945
FECHA
PROC. M. E. 278



QUIMICA

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: PROF. FERNANDO MALDONADO M.
VOCAL: PROF. ALBERTO OBREGON PEREZ
SECRETARIO: PROF. HUMBERTO RODRIGUEZ C.
1ER. SUPLENTE: PROF. MARIO RAMIREZ Y ÓTERO
2o. SUPLENTE: PROF. ENRIQUE MARTINEZ M.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

- CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
DE LA UNAM
- INSTITUTO DE GEOLOGIA DE LA UNAM
- MINA EL OCOTAL, MUNICIPIO DE EL MINERAL
DE SAN JOAQUIN, QUERETARO

QUIERO MANIFESTAR MI AGRADECIMIENTO A LAS
SIGUIENTES PERSONAS Y LUGARES:

- AL I.Q. HUMBERTO RODRIGUEZ CALDERA, A
QUIEN DEBO LA DIRECCION Y ASESORAMIENTO
EN LA REALIZACION DE ESTA TESIS

- AL SR. GUADALUPE MARTINEZ M., PRESIDEN-
TE MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DEL MINERAL
DE SAN JOAQUIN, QRO., POR HABERME PER-
MITIDO REALIZAR ESTE ESTUDIO EN LA MINA
EL OCOTAL, DE SU PROPIEDAD

- AL CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
DE LA U N A M, POR LAS FACILIDADES PRES-
TADAS PARA HACER USO DE SUS INSTALACIO-
NES

- AL INSTITUTO DE GEOLOGIA DE LA U N A M,
LUGAR DONDE SE REALIZARON LOS ANALISIS
DE MINERAL

DEDICO ESTA TESIS, EN ESPECIAL,
A MI HERMANA MARIA LUISA

A MIS PADRES:

MARIA DE JESUS

MARGARITO

A MIS HERMANOS:

ANGELITA

LUPITA

JOSE

AMPARO

ARMANDO

BERTHA

LORENA

Introducción

Objetivo

Índice de figuras

1. Generalidades
2. Hornos antiguos usados para la obtención del -
mercurio.
3. Contaminación mercurial.
4. Método empleado para la determinación de mercurio en un mineral.
5. Análisis de mercurio metálico.
6. Detección de mercurio en el ambiente.
7. Toxicología del mercurio.
8. Zonas de producción de mercurio en México.
9. Recursos y principales países productores de -
mercurio en México.
10. Variaciones del mercado del mercurio (Nacional y Mundial).
11. Operaciones llevadas a cabo en el proceso de ob-
tención del mercurio.
12. Cálculos estequiométricos.
13. Análisis petrográfico del mineral.
14. Balance de materia en la cámara de tostación.
15. Balance de calor.
16. Condensación.
17. Cálculo del área del condensador.

18. Pérdidas de calor.
19. Eficiencia en el horno y en el sistema horno - condensador.
20. Estudio comparativo del proceso a dos temperaturas.
21. Material del sistema horno-condensador y su duración.
22. Estudio económico.
23. Cálculo de la depreciación del sistema horno-condensador.
24. Utilidad bruta.
25. Conclusiones y recomendaciones.
26. Bibliografía.

INTRODUCCION

México siempre ha ocupado uno de los primeros lugares mundiales en la producción de mercurio; sin embargo, actualmente en nuestro país los métodos usados para extraer este metal son rudimentarios e ineficientes.

Lo anterior motivó al autor a llevar a cabo una evaluación del horno de retorta intermitente que usan nuestros mineros para obtener este metal, además, se pretende dar un panorama general sobre el mismo elemento, se menciona su historia, su localización en México y el resto del mundo, sus propiedades químicas y físicas, sus principales minerales, y algunas de sus aplicaciones. También se incluye la contaminación ambiental con mercurio, su detección, análisis y toxicología. Asimismo, se proporcionan datos estadísticos a nivel nacional y mundial.

Finalmente se dan conclusiones y se proponen las recomendaciones posibles.

OBJETIVO

El objetivo de esta tesis, es hacer una evaluación del horno de retorta intermitente para la obtención de mercurio. Cuantificar su eficiencia, las pérdidas de calor, las pérdidas de mercurio y finalmente el balance económico.

INDICE DE FIGURAS.

1. El ciclo del mercurio.
2. La cadena acuática alimenticia.
3. Como llega el mercurio al hombre.
4. Distribución geográfica de los criaderos de mercurio en la República Mexicana.
5. Yacimiento de mercurio en el mundo.
6. Principales países productores de mercurio en - porcentajes de producción mundial. (año-1960).
7. Principales países productores de mercurio en - porcentajes de producción mundial. (año-1966).
8. Principales países productores de mercurio en - porcentajes de producción mundial. (año-1972).
9. Evolución del precio del frasco de mercurio durante los primeros 181 días del año de 1975, tomado de 10 en 10.
10. Evolución de la producción de mercurio en México y en el mundo, en el período de 1910-1973.
11. Evolución de la producción de mercurio en México tomando como base igual a 100% lo producido en 1971, en el período 1910-1973.
12. Aumento o disminución de la producción de mercurio en México con respecto a un año anterior ó sea: 1911 con respecto a 1910 disminuyó en 34.1%.

13. Evolución de la exportación de mercurio en México en el período de 1918-1973.
14. Importación de mercurio en México en el período 1956-1973.
15. Evolución de los precios del frasco de mercurio en el período 1900-1973.
16. Causas que provocaron la disminución o el alza del precio del mercurio en el período 1900-1973.
17. Proceso de producción del mercurio.
- 18) Horno de retorta intermitente de mercurio (2 --
19) vistas de frente).
20. Horno de retorta-intermitente de mercurio (visto de lado).
21. Mezcla de mineral de mercurio (cinabrio) con -
óxido de calcio (CaO).
22. Los tubos del horno se cargan con la mezcla resultante (CaO + cinabrio) para ser sometida a -
la tostación.
23. Se sellan por las orillas las tapaderas de los tubos con lodo arcilloso.
24. Después de haber sido sometido a la tostación -
durante 10 horas el mineral se extrae de los tu
bos, siendo reemplazado por una nueva carga.

25. La acumulación de mineral de mercurio (cinabrio) tostado es muy notoria, como se observa en la -- figura. Aumenta a lo largo de los años.
26. Envasado final del mercurio para su venta en el mercado. Frasco de 34.5 Kg.
27. Horno de mercurio intermitente.
28. Condensador.
29. Vistas superior, de frente y lateral de horno de mercurio.
- 30) Después de ser sometidos a continuos choques tér
31) micos, este es el estado en el cual se encuen---
tran los tubos del horno.
32. Estado de los tubos conectores del sistema horno--condensador vistos dentro del cuarto de condensación.

1. GENERALIDADES

1.1 HISTORIA DEL MERCURIO (24)

Es el Mercurio uno de los siete metales conocidos desde la más remota antigüedad. Utilizado por lo menos desde 1600 a 1500 años antes de Cristo, por haberse descubierto una pequeña vasija con Mercurio - en una tumba de Kurna, junto con el Oro, la Plata, el Cobre, el Hierro, Plomo y Estaño, formaba el conjunto de los metales que servían a sus primitivas civilizaciones.

En el desarrollo de sus primeras culturas, los pueblos como China, Egipto o Asiria ya conocen la -- existencia al menos del Cinabrio y sus aplicación como pintura; más adelante los indios, en tiempos de - los incas, ya conocen el Cinabrio con el nombre de -- "Llampi", utilizándolo como pintura.

Los alquimistas afirmaban que la materia inme-- diata de los metales era el Azogue y el Azufre y que según la variedad de proporción en su mezcla y de su mayor o menor purificación resulta la diferencia que

existe entre los metales; de aquí todo su afán para transformarlo en Oro. No fué, sin embargo, hasta -- hace pocos siglos antes de Cristo y por mediación de autores latinos como Teofrasto, Plinio, Vitruvio y otros varios, cuando se tienen testimonios escritos de su existencia. Teofrasto describió la obtención del Mercurio aislándolo del Cinabrio, frotado con vinagre en un mortero de Cobre. Según el mismo autor, el Cinabrio o Bermellón fue descubierto de una manera casual en el siglo IV por el ateniense Calia; este Minio o Bermellón recibía en Grecia el nombre de Milton, si bien algunos le llamaban también Cinaris. Plinio cita al pueblo minero de Sisapo, de donde se extraía Cinabrio, lugar situado a unos diez kilómetros del Almadén actual.

Cuando adquiere importancia este metal en el mundo civilizado es con la conquista de la Península Ibérica por los romanos. El Cinabrio era ya conocido de los romanos con anterioridad a la conquista de Sisapo. A este respecto, Vitruvio señala que los talleres que había en otros tiempos en Efeso fueron -- traídos a Roma cuando hallaron los minerales de España. Los Romanos distinguían al Mercurio virgen -- "Argentum Vivum" o "Plata Viva", del Mercurio como --

producto de la destilación del Cinabrio, al que denominaban "Hydrargyrum", para cuya obtención se servían de procedimientos basados en la desulfuración y condensación. Del nombre "Hydrargyrum" vocablo latino - que quiere decir "Plata Líquida", proviene el actual símbolo Hg, para representarlo químicamente.

Así, Plinio y Dioscórides indican que el Ammion o Cinabrio se colocaba en escudillas de hierro que se cubrían con una tapadera cóncava enlodada de arcilla, a continuación, se prendía fuego debajo de las cacerolas, manteniéndolo encendido mediante fuelles, de tal manera que al retirar las tapaderas se recogían en ellas un líquido del color de la plata y la fluidéz del agua. Aquí el hierro de las escudillas actuaba como desulfurante y la tapadera más fría como condensador. Sin embargo, en las explotaciones de Sisapo los Romanos no obtenían más que el mineral, que transportaban en recipientes a Roma, para la fabricación de Bermellón, cuya principal aplicación era como pintura, con la que bañaban en las fiestas el rostro de la estatua de Júpiter y el cuerpo de los vencedores circenses. También se utilizaba para ungüentos y productos de tocador para las damas Romanas.

Los árabes en un principio, esencialmente guerreros y conquistadores, prosiguen la tradición minera de España, explotando algunas regiones de Almaden, en dondé llegaron a trabajar más de mil personas y se alcanzaron profundidades hasta de 334 metros.

El Mercurio se obtenía en unos hornos llamados - "Xabecas", cuyo dispositivo, según el Ingeniero Don -- Luis de Escosura, se componía de cuatro paredes verticales que formaban una especie de cajón rectangular y de una bóveda cilíndrica de medio punto que servía de cubierta del horno. En la bóveda y a lo largo, había tres hileras de agujeros que solían ser 18, 21 ó 24 en total, de modo que correspondieran 6, 7 ó 8 en cada - hilera. En los agujeros se colocaban ollas de barro - cocido, a modo de crisoles, de forma cónica y se les - sujetaba con barras alrededor de la unión para que no salieran los vapores, ni se perdiera el color.

De los almacenes de Azogue, como ellos denominaron al Mercurio, obtuvieron grandes cantidades de metal, que sirvió a Geber para sus experimentos químicos; se utilizaba en medicina y en el siglo X, Aviceno conocía el empleo del unguento mercurial y del bicloruro de Mercurio contra los parásitos y las enfermedades

de la piel. Durante los siglos XVII y XVIII, las - propiedades del Mercurio fueron descubiertas. A me- diados del siglo XVIII, el Mercurio no estaba aún - universalmente clasificado entre los metales, debi- do a su naturaleza líquida. Este concepto fué desa- probado en San Petersburgo, Rusia, durante el invier- no de 1959/1960 (en uno de los fríos más intensos -- sentidos en esa época), cuando el Mercurio en un ter- mómetro se hizo sólido durante un experimento lleva- do a cabo por Lomonósov; éste estableció el punto de solidificación del Mercurio en aproximadamente - - - -38.9°C. (38)

1.2 LA MINERIA DEL MERCURIO AL DESCUBRIMIENTO DE AMERICA (24)

Aunque conocido y utilizado durante más de 20 - siglos, su consumo hasta fines del siglo XV había si- do escaso y casi exclusivamente como Bermellón, para la fabricación de pinturas y en medicina; en conse- cuencia, las explotaciones mineras eran reducidas, - los métodos de obtención muy imperfectos y las pro- ducciones limitadas a las necesidades.

Quien dió el primer impulso para el gran consu- mo de mercurio fué Bartolomé Medina, al poner a pun- to, en 1557, el -Método de patio- para la amalgama- ción en frío de los minerales de plata.

Más tarde, el Lic. Don Lope Saavedra Barba, in- venta un nuevo procedimiento para beneficiar los mi- nerales de Cinabrio en hornos semejantes a los que - se empleaban desde tiempo inmemorial para cocer la- drillos, baldosas y otros artículos de alfarería. - Dicho Saavedra Barba, también se dedicaba a descubrir minas, perteneciendo al gremio de los que en América

llamaban "Buscones", circunstancia ésta que dió oca
sión a que algunos llamasen "Busconiles" a los hor-
nos que él propuso para beneficiar al Cinabrio.

A causa de la gran demanda de Mercurio se hizo
patente la necesidad de encontrar minas de Cinabrio
en el Nuevo Mundo, no sólo para cubrir el déficit -
existente, sino para abaratar los elevados costos -
que suponía su transporte desde Sevilla.

Según Jorge de Fonseca, el éxito del primer descubri-
miento corresponde al Portugués Enrique Garcés, con -
el hallazgo de Cinabrio en el Cerro de Paras, a 18 -
kilómetros de Guanajira; pero sus vetas resultaron -
delgadas y pobres. Nueve años más tarde, en 1566, -
se lleva a cabo el trascendental descubrimiento del
Cerro de Huancavelica, que dió origen a la Villa Ri-
ca de Oropeza.

Los criaderos de Huancavelica eran ya conocidos
de los Indios en tiempos de los Incas, que empleaban
esta substancia para pintarse el rostro. La mina -
más notable de la región fué la llamada Santa Bárba-
ra, conocida también como la mina Grande.

Los criaderos de Cinabrio de la Alta California fueron puestos en explotación durante la primera mitad del siglo XIX, cuando todavía estos territorios pertenecían a México. Los más notables se hallan -- situados en las laderas del Valle de San José, en la cordillera llamada de la Costa, diez leguas al norte de Monterrey y a siete de San Francisco.

Se conserva la tradición, como en otras tantas minas de Cinabrio, que ya los Indios conocían este mineral, del que se servían para pintarse el rostro en los días de gran celebridad.

El verdadero promotor de los yacimientos de Mercurio, fué un Coronel de México que denunció y tomó posesión hacia 1842 de la mina "Nueva Almaden".

El descubrimiento de Oro en California en 1848, da un impulso poderoso a la demanda de mercurio para obtener aquel por amalgamación y proliferan los descubrimientos de Cinabrio hasta en 41 estados de la Unión, siendo los más notables los de Nueva Idria, en la misma California; Cordero en Nevada, etc. En los Estados Unidos de América se alcanzó el apogeo de la

producción en 1877.

De bastante importancia fueron los yacimientos de Chilapa (Guerrero), cuya explotación se inició -- en el 1664.

1.3 PROPIEDADES FISICAS DEL MERCURIO^(1,32)

Simbolo y fórmula		Hg
Número atómico		80
Configuración electrónica		5d, 6s
Color		blanco plateado
Forma cristalina		sistema romboedral
Peso atómico		200.59
Peso específico		113.546 (20°C)
Punto de fusión		-38.9°C
Punto de ebullición		356.95°C
Calor latente de fusión	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{gr}}\right)$	2.77
Calor latente de vaporización	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{gr}}\right)$	69.7
Calor específico	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{gr}}\right)$	0.033
Volúmen atómico	$\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{atomo-gr}}\right)$	14.81
Indice de refracción		1.6 a 1.9 (20°C)
Primer potencial de ionización	(e.v.)	10.434
Segundo potencial de ionización	(e.v.)	18.752

Electronegatividad		1.9
Radio covalente	(A)	1.49
Tensión superficial	$\left(\frac{\text{dina}}{\text{cm}}\right)$	480.3
Conductividad térmica	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{cm-seg-}^\circ\text{C}}\right)$	1.99
Resistencia eléctrica	(ohm-cm)	95.8×10^{-6} (20°C)
Equivalente electroquímico	(m ²) (mg por c.c)	1.03943
Radio metálico	(A)	1.035
Radio iónico	(A)	1.10
Calor de atomización	$\left(\frac{\text{Kcal}}{\text{atomo-gr}}\right)$	14.54 (25°C) según N.B.S. de E.U.A.
Densidad del líquido	$\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}}\right)$	13.546 (20°C)
Densidad de sólido	$\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}}\right)$	14.17 (-38.9°C)
Presión de vapor	(mm)	0.013 (20°C)
Coefficiente de expansión cúbica		1.7929×10^{-4} (-38.8°C)
Capacidad calorífica (p cte.)	$\left(\frac{\text{cal}}{\text{gr}}\right)$	0.03295 (0°C-357°C)
Velocidad	$\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm-seg}}\right)$	0.16 (20°C)
Temperatura crítica		1677°C
Presión crítica	(atm)	732
Densidad crítica	$\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}}\right)$	5

El mercurio es un elemento que pertenece al grupo II de la tabla periódica, en la misma familia con el Zinc y el Cadmio. Tiene isótopos estables, de los cuales su peso atómico y su abundancia es como sigue : 196,0.15%; 198,10%; 199,16.9%; 200,23.1%; - 201,13.2%; 202,29.8%; 204,6.8%. (31)

Asimismo, el mercurio es el único metal que es líquido a través de todo el rango ordinario de temperaturas(36). Sin embargo, esta característica no es peculiar, ya que a temperaturas de 83.3°C y 85.6°C, - el cesio y el galio se transforman en líquidos. Dos características importantes del mercurio son: primero, que es un líquido muy denso que pesa aproximadamente 13.6 veces más que el agua y, segundo, que posee una presión de vapor muy baja. Estas propiedades físicas del mercurio, facilitan su uso en la construcción de barómetros, manómetros y medidores de vacío. El hecho de que el mercurio permanezca líquido en un rango bastante amplio (desde su punto de fusión a -38.9°C, al punto de ebullición a 356.6°C), y la característica de su coeficiente constante de calor sobre un rango de temperaturas desde 0°C hasta 300°C, sumados con la propiedad de que el mercurio -

no moja las paredes del vidrio a causa de su gran -
tensión superficial, lo hacen un metal muy útil para
ser usado en los termómetros. Una amalgama de mercurio y Talio ⁽¹⁰⁾, al 8.5% tiene un punto de fusión -
muy bajo, y puede ser usada en termómetros hasta una
temperatura de -60°C . Otra propiedad física particu-
lar es la capacidad para disolver todos los metales
comunes, a excepción del Fierro y del Platino con -
los que forma aleaciones. Estas aleaciones llamadas
amalgamas pueden ser sólidas ó líquidas. Probable-
mente la propiedad más característica de las amalga-
mas es que bajan la reactividad química del metal -
disuelto. Esta propiedad ha sido explotada en la -
industria, en la cual se utiliza el método de la cel-
da de mercurio para producir sosa cáustica y cloro.
El mercurio metálico no es un buen conductor de ca-
lor comparado con otros metales comunes, pero es re-
lativamente buen conductor de electricidad y esto -
explica sus amplios usos en la industria eléctrica
y de instrumentos de control. Otra característica
del mercurio es su insolubilidad para la mayoría de
los gases, porque muchos otros metales en el estado
líquido absorben grandes cantidades de gas.
Una prueba muy clara de la insolubilidad de gases en

el mercurio es la de algunos barómetros que poseen la misma exactitud que cuando nuevos, después de 25 años de uso.

El mercurio es tóxico para los humanos, y los sistemas en donde se use el mercurio deben incluir precauciones muy elaboradas para evitar el escape de los vapores de mercurio a los alrededores.

1.4 PROPIEDADES QUIMICA DEL MERCURIO

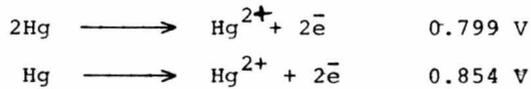
El mercurio puro es muy estable y a temperatura ambiente no es afectado por los anhídridos sulfuroso y sulfúrico, aire, amoníaco, bióxido de carbono, óxido nítrico u oxígeno. Por este último es sólo atacado en caliente y con lentitud. El nitrógeno, así como el fósforo, el boro y el carbono, no actúan sobre él.

El mercurio líquido reacciona con muchas disoluciones alcalinas, como la de KMnO_4 , a temperatura ordinaria, y si es a la temperatura de ebullición se forma el óxido mercúrico. (1)

Los halogenuros y el azufre se combinan rápidamente con el metal, pero es moderadamente activo con los ácidos minerales, y ni el agua ni los álcalis reaccionan con él.

Mezclado con el azufre forma sulfuro de mercurio negro, que a temperatura superior se sublima dando la variedad roja o cinabrio.

El mercurio tiene dos electrones en los orbitales 6s, lo cual contribuye para que sea bivalente en su más alto estado de oxidación, formando compuestos mercurícos. El mercurio también puede existir en el estado univalente, formando una serie de compuestos bien definidos. En este estado, el electrón restante del orbital 6s, se usa en la asociación de dos moléculas. La transformación química de intercambio de electrones ocurre en forma natural: $\text{Hg}_2^{2+} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + \text{Hg}^0$. Al mercurio se le considera como un metal noble por su poca actividad química, como se deduce de los potenciales de oxidación y del lugar que ocupa en la serie de actividad de los metales. Los potenciales de óxido-reducción para las dos reacciones son (10):



Los compuestos solubles de mercurio son fácilmente reducidos. Así, la plata y el cobre metálico desplazan al mercurio de sus soluciones. El zinc - y el estaño lo desplazan rápidamente.

La capacidad del mercurio de formar compuestos complejos, de oxidarse, y de transformarse a estados químicos explica en parte la amplia migración geoquímica de este elemento en el medio ambiente.

El mercurio tiene una gran capacidad de formar compuestos con radicales orgánicos.

1.5 PRINCIPALES MINERALES QUE SE USAN PARA LA OBTENCION DE MERCURIO (31,11,12)

El mercurio se deriva primordialmente del mineral de cinabrio, aunque hay cerca de 30 minerales - que contienen trazas de este metal. Los principales son :

CINABRIO (HgS) :

Es el mineral más importante por su abundancia. Es un sulfuro de color rojo brillante. Por lo general se presenta en una condición roja granular maciza, pero también a veces se encuentra formando cristales que pertenecen al sistema romboidal. Tiene su raspadura roja y fractura concoidea. Su dureza varía de 2 a 2.5 y su gravedad específica es de 6.7 a 8.2. Su composición en porcentaje por peso es: 86% de mercurio y 24% de azufre. También se presenta en venas silíceas, calcita, masas de caliza alterada, rocas permeables, brechas volcánicas y lavas andesíticas de origen siluriano a plioceno.

METACINABRIO (HgS) :

Generalmente se conoce como metacinabrita. Es un sulfuro negro de mercurio con la misma composición química que el cinabrio. Cristaliza en tetraedros del sistema isométrico, pero a veces es amorfo.

CALOMEL (Hg₂Cl₂) :

Es un cloruro mercurioso que se encuentra en Idria-Yugoeslavia, en Italia y en Almaden, España, -

como uno de los minerales de menor importancia. Tiene lustre adamantino, fractura concoidea, color blanco ligeramente amarillento ó gris, tiene dureza de 1 a 2.

MERCURIO NATIVO (Hg) :

Es algo raro. Pequeños globulos se encuentran diseminados en el cinabrio o en la roca de la matriz, principalmente en Almaden, España; Idria, Carniola, en Yugoslavia; y Monte Amiata en Italia, donde hay criaderos de mercurio. Es de origen secundario.

AMALGAMA DE PLATA :

Usualmente llamada solo amalgama (contiene proporciones variables de plata y mercurio); se ha encontrado en ciertas minas de Chile y se dice que se presenta en el Palatinado, Alemania. En las minas de mercurio esta presente también en los minerales de plata y de cobalto en Ontario, Canadá.

TETRAHEDIRTA :

Es realmente una variedad de mineral de cobre; algunas veces es fuente comercial de mercurio (como

en Bosnia, Turquía y en el Palatinado, Alemania), - pero más bien es visto como un mineral raro. Su dureza es de 3 y su gravedad específica 7.81; su fractura es subconcoidea o desigual, de una raspadura negra y posee un lustre metálico.

LIVINGSTONITA (HgSb_4S_7) :

Es un sulfuro de antimonio y mercurio que se - presenta en cristales prismáticos de color grisáceo en forma maciza columnar. Es el mineral de mercurio primario, en Huitzúco, Guerrero, en donde se ha ex--plotado por largo tiempo. Se encuentra también mezclado con yeso, y azufre en Guadalcazar, San Luis Potosí.

BARCENITA :

Es un mineral secundario complejo, derivado de la livigstonita y se ha encontrado únicamente en Huitzúco. En el siglo pasado fué considerado como una - mezcla de óxido de antimonio. Se presenta en masas de color gris obscuro ó casi negro, con raspadura - gris ceniza, ligeramente verdosa. Dureza de 5.5.

GUADALCAZARITA :

Este mineral es de composición semejante a la metacinabrita, pero tiene zinc de 2 a 4% y cantidades mayores de selenio. Se presenta en masas con cinabrio y cuarzo en Guadalcazar, San Luis Potosí.

TERLINGUAITA (Hg_2Cl_{10}) :

Se presenta en forma de pequeños cristales de color amarillo de azufre, su color se oscurece al contacto con el aire y pasa a verde olivo. Dureza de 2 a 3.

EGLESTONITA (Hg_4Cl_4O) :

Se encuentra en cristales pequeños de color amarillo pardusco. Su lustre resinoso oscurece rápidamente al ponerse al sol. Dureza 3.

KLEINITA :

Es un mineral secundario y se encuentra con la terlinguaita. Es principalmente un cloruro de mercurio y de amonio que cristaliza en el sistema hexagonal. El color varía de amarillo o anaranjado que se oscurece en la intemperie. Dureza de 3 a 4.

MONTRÓYDITA (HgO) :

Se presenta en cristales aciculares, de color naranja, con lustre vítreo. Dureza menor de 2.

Otros minerales raros de mercurio son : La tlemanita (HgSe), onofrita (Hg(S₂O)), coloradita (HgTe), lehrbachita (selcinuro de plomo y mercurio), y la yodirita, yoduro raro de plata y mercurio encontrado solamente en Chile.

El mercurio se empleaba todavía a fines del siglo pasado en la amalgamación para obtener la plata de sus minerales y se recuperaba el mercurio al concluir la amalgama que se formaba por su empleo. Pero no todo era recuperado. Este mineral conocido como jale, se emplea sobre todo en México, para la recuperación de mercurio.

1.6 TOSTACION DEL CINABRIO

En lo que respecta a la tostación del cinabrio, existen tres métodos :

- a) El método del horno
- b) El método de retorta
- c) El método de lixiviación

El método de horno (Herrechof es el más moderno), es el que más se utiliza. En éste, el mineral se expone directamente al fuego y el mercurio pasa a través de condensadores en operaciones continuas.

En el método de retorta (que es el más antiguo), se calienta la mena en una caldera cerrada y el mercurio pasa a los condensadores en operaciones intermitentes (ver figuras 18 y 19).

El método de lixiviación emplea hiposulfito de sodio ó calcio para extraer en solución los valores. Las soluciones ricas que proceden de los tanques de lixiviación se pasan por una serie de toneles que - contienen cobre metálico donde se efectúa la precipitación de los valores, los cuales en forma de concentrados se secan y se queman en un horno de retorta,- para extraer su contenido de mercurio.

1.7 APLICACIONES DEL MERCURIO EN LA INDUSTRIA (25)

El consumo mundial de mercurio durante la última década ha promediado más de 280,000 frascos anuales. Existen más de 3,000 usos diferentes del mercurio en la industria. El mercurio se emplea tanto en estado metálico como en forma de sus combinaciones químicas.

Los usos industriales del mercurio se pueden agrupar en 3 categorías :

a) Industrias que dan origen a la producción incidental de mercurio. En estos casos el mercurio no está presente en el producto final, ni tampoco es producido en el proceso de manufactura. Aparece en la materia prima y es desprendido al medio ambiente. Como ejemplos tenemos la combustión de carbón y aceite, los cuales pueden contener cantidades apreciables de mercurio.

b) Procesos los cuales nos conducen inevitablemente a la disipación de mercurio en el producto. Como ejemplo tenemos las pinturas, los pesticidas, -

los productos farmacéuticos y las baterías secas.

c) Industrias cuyos productos no contienen mercurio (excepto posiblemente como una impureza), pero que usan mercurio en el proceso de producción. La - producción electrolítica de sosa cáustica y cloro es un ejemplo importante.

Las estadísticas nos muestran que las siguientes industrias son las más importantes :

Pintura, agricultura, odontología, medicina, catalizadores, aparatos eléctricos e industrias de control, industria de sosa y cloro, minera y de la gue-rra, aparatos de medición, industria de la pulpa y - del papel, entre otras. +

PINTURA :

Su uso en la industria se ha incrementado con - el desarrollo de pinturas emulsionantes en donde la inclusión de los organomercuriales previene la formación de mojo. Los compuestos mercuriales también se incluyen en las pinturas marinas como compuestos an-

tioxidantes. Las pinturas anti-incrustantes contienen óxidos de mercurio que los cloruros del agua de mar convierten en cloruro de mercurio, que sirve como veneno, e impiden la fijación de animales y plantas marinas.

AGRICULTURA :

El uso del mercurio en la agricultura es para el abono de las semillas, aunque también es usado para el control de plagas en ciertas cosechas, incluyendo vegetales y frutas.

ODONTOLOGIA :

Las amalgamas de mercurio se usan para llenar las cavidades dentales.

MEDICINA :

Como un antiséptico, como un diurético y aún como un tratamiento para curar la sífilis.

CATALIZADORES :

Los catalizadores que contienen mercurio son usados en la producción de uretanos, cloruro de vinilo y antroquinona.

APARATOS ELECTRICOS E INDUSTRIAS DE CONTROL :

Se usa más que nada en la producción de baterías secas. Un 10% de las baterías son del tipo mercurio y contienen óxido de mercurio. Las restantes son celdas de carbón-zinc y el mercurio es usado en su producción para formar una amalgama con el zinc, prolongando así la vida de la coraza. Se usa en la industria eléctrica para sistemas de control, conmutadores, rectificadores.

INDUSTRIA DEL CLORO Y SOSA :

Una gran planta de celdas de mercurio contiene unas 200 toneladas de mercurio divididas entre unas 100 o más celdas. La celda se alimenta con salmuera purificada, hecha al disolver cloruro de sodio en agua. Una corriente eléctrica pasa a través de la salmuera generándose cloro en el ánodo y el sodio forma una amalgama con el cátodo de mercurio. La amalgama fluye a un recipiente en donde reacciona con agua, generando hidrógeno y una solución de sosa cáustica. El mercurio es devuelto a la celda.

INDUSTRIA MINERA Y DE LA GUERRA :

Se usa en la producción de fulminato de mercurio, para la fabricación de explosivos (uno de los usos más importantes en tiempos bélicos).

APARATOS DE MEDICION :

Para la construcción de termómetros, manómetros y barómetros.

INDUSTRIA DE LA PULPA Y DEL PAPEL :

Es uno de los mayores consumidores de mercurio, el cual es usado para impedir la formación de barro pegajoso en el equipo de manufactura. (35)

El aumento del uso del mercurio en la industria en los años futuros, estará limitado principalmente a las técnicas de control que se puedan desarrollar, para atenuar los problemas de contaminación.

TABLA
PATRON DE USO INDUSTRIAL DEL
MERCURIO EN 1972

1000 FRASCOS

<u>INDUSTRIA</u>	<u>E.U.A.</u>	<u>EUROPA OCC.</u>	<u>JAPON</u>	<u>RESTO DEL MUNDO</u>	<u>TOTAL</u>
RECUPERATIVO					
ELECTROLISIS	12	34	12		
USOS ELECTRICOS	11	5	1	15	35
CATALIZADOR	<u>1</u>	<u>2</u>	-	—	—
SUB-TOTAL	24	41	13	70	148
DISIPATIVO					
AGRICULTURA, PIN- TURA, FARMACIA	12	8	-		
DENTISTERIA	1	3	1	32	97
BATERIAS SECAS	<u>13</u>	<u>11</u>	<u>5</u>	—	—
TOTAL (a)	53 ==	65 ==	20 ==	107 ===	245 ===

(a) INCLUYENDO OTROS USOS

(Ref. 25)

2. HORNOS ANTIGUOS USADOS PARA LA OBTENCION DE MERCURIO (13)

El sistema más antiguo para la obtención del mercurio consiste en quemar el mineral en montones, calentándolo en capas alternadas de combustible, y recogiendo el mercurio separado en las capas superiores y en la cubierta del montón, formada por mineral menudo, de donde se extrae por lavado. Análoga era la obtención en cobertizos que por ejemplo servían para el tratamiento de los cobres grises que contienen mercurio en los talleres metalúrgicos de Stefan de Gollnitz en la Alta Hungría (Eslovaquia). Se explica que las pérdidas con estos modos primitivos de obtención llegasen a pasar del 50% del metal tratado, pues tanto la tostación de los minerales como la condensación de los gases eran insuficientes y los vapores de mercurio podían escapar con facilidad al aire libre. En los lavados de los residuos que contenían mercurio, también eran importantes las pérdidas.

Otro medio de obtención igualmente anticuado es el del horno de cuba de marcha intermitente. A este tipo corresponden el horno Bustamante o de aludeles,

inventado el año de 1633 por Lope Saavedra Barba en Guancavelica e introducido en Almaden el año de 1806, con sus variedades de hornos "Frane" y "Leopoldi". - Todos estos hornos se diferencian tan solo entre sí por detalles en la construcción del horno mismo, pero principalmente en la disposición de la condensación. Aunque estos hornos se encuentran todavía en servicio en Almadén, deben clasificarse, sin embargo entre los sistemas anticuados, pues comparados con los hornos más recientes, no tiene justificación su existencia a causa de sus inconvenientes. Constan de una cuba de 6-9.5m de altura, de sección transversal circular de 1, 2, 3 metros de diámetro (horno -- Bustamante) o cuadrado de 3 metros de longitud de la do (hornos de Idria). En el horno Franz existen 2 y en el horno Leopoldi 4 cubas en un mismo macizo de horno. En la parte inferior de la cuba se encuentra el hogar, con una bóveda con aberturas, y la cámara de destilación cargada con el mineral.

Como aparatos de condensación se emplean en el horno Bustamante unos recipientes de arcilla de mayor diámetro en su centro parecidos a tinajas sin fondo llamadas caños, de 40-45 cm. de longitud, - -

12-15 cm. de diámetro en los extremos y 20-25 cm. de diámetro en el centro, formándose una tubería con 40-45 caños empalmados.

Por razón de la porosidad del material de los caños, de los numerosos puntos de escape en los empalmes y por las aberturas de salida en los mismos, las pérdidas con este tipo de condensación son muy grandes. La cámara única no puede tampoco retener todo el mercurio contenido todavía en los gases.

En los hornos de Idria la condensación consta de 6-8 cámaras de mampostería revestida interiormente de cemento.

En Redington, California, se emplearon hornos de llama, de cuba, en los cuales los gases del hogar penetraban horizontalmente y en sentido transversal hacia la cuba; dos paredes verticales de la cuba, situadas una en frente de la otra, iban provistas de aberturas y delante de una de ellas se encontraba el hogar; el espacio detrás de la otra estaba enlazado por los canales de tiro con las cámaras de mampostería que servían para la condensación. De estas cámaras había como de 18 a 22.

La explotación con todos estos hornos era intermi-
tente, es decir que después de quemar toda la carga -
del horno, se vaciaba este por completo, el horno se
llenaba de nuevo y se encendía otra vez. La duración
de una de estas cargas, según el tamaño, era de 8 a -
10 días. El servicio intermitente es de efecto perju-
dicial, no solo por lo que se refiere a los gastos de
explotación, sino por las pérdidas que ocasiona, de -
manera que el contenido de mercurio de los gases que-
mados varía durante la marcha del horno. Después de
alcanzar un máximo cierto tiempo después del encendi-
do, disminuye al avanzar la tostación de los minera--
les y puede ocurrir, particularmente donde la conden-
sación se efectúa solo por medio de cámaras, que los
gases posteriores mas pobres en mercurio vaporicen de
nuevo mercurio precipitado, extendiendo de este modo
la condensación a un espacio mayor y contribuyendo --
asi a aumentar la pérdida.

Por esta razón, los hornos de marcha continua re-
presentan un progreso, no solo por lo que se abarata
la explotación, sino por la disminución en las pérdi-
das. A esta clase de hornos corresponden los de - -
Knox, Exeli y Langer. El horno de Knox construido -
en el año de 1874 en Knoxville en la mina de Reding-

ton, en California, representa una modificación del -
horno de Redington antes mencionado, que permite la -
marcha continua. También en este horno penetran los
gases del hogar por paredes laterales interrumpidas -
en sentido horizontal transversalmente hacia el horno.
La diferencia esta en que el hogar se encuentra aproxima
damente a la mitad de la altura del horno y la cuba
se ensancha hacia el hogar para estrecharse después -
debajo de él, mientras que, por el contrario, en el -
horno de trabajo intermitente el hogar estaba junto -
al pie del horno y la cuba en toda su altura tenía la
misma sección transversal. Comúnmente se construyen
de 2 a 4 hornos sobre un mismo macizo. Actualmente -
no se emplea en ninguna parte. El horno estaba pro-
visto de condensadores especiales (Knox-Osborne).

El horno de Exeli construido en Idria el año de -
1872 introducido en Nueva Almadén en el año de 1874,
es un horno de cuba de sección circular provisto de
tres hogares exteriores. Este horno es el primero -
que se dotó de una coraza de hierro y de una solera
también de hierro para evitar las pérdidas de mercurio
a través de la mampostería.

Análogo en su disposición y solo diferente en su
forma es el horno construido por Langer en el año de

1878 en Idria. Tiene sección transversal rectangular y dos hogares en cada uno de sus lados mas cortos. -- Generalmente se construyen reunidos varios hornos - - (3-4), a los que se provee de una coraza común.

De estos hornos de cuba con combustible cargado - al mismo tiempo que el mineral, el más antiguo es el de Hahner, que funcionaba en Idria por los años de - 1849-1852. Estaba provisto de una parrilla inclinada y movable que facilitaba la separación de los resi--- duos. Para la condensación de los vapores de mercu-- rio servian unas companas de mampostería.

Otros hornos antiguos son el Valalta (1868-1878), el de Castellazaba junto a a Santa Fiora en Toscana y el de St. Annatal junto a Neumarktl en Carniola, los cuales se diferencian entre si por sus dimensiones y en particular por diversas disposiciones del sistema de condensación.

Todos los hornos mencionados hasta ahora servían principalmente para el tratamiento de mineral en pedazos. Los minerales finos, así como los productos intermediarios con tendencia a la formación de polvo eran trabajados en los hornos intermitentes colocán-

dolos en bandejas sobre las bóvedas intermediarias o haciendo con ellas aglomerados. En los hornos de marcha continua deben ser tratados los minerales finos hasta un cierto tanto por ciento junto con los minerales en pedazos.

Para el tratamiento de hollines y de minerales ricos en mercurio que se trituran para obtener una buena tostación, servían antiguamente los hornos de recipiente. Los minerales o los hollines se mezclaban con cal, o más raramente, con limaduras de hierro. Al principio se emplearon pequeñas retortas de barro de (0.3 m. de largo por 0.1-0.05 m. de diámetro) a cuyo cuello se enlazaba un condensador de (0.1 m. de largo por 0.07 m. de diámetro) que se sujetaban con barro. Estos depósitos se sometían al proceso de la tostación, en montones análogos a los carboneras, -- con el condensador hacia abajo. Mas tarde las retortas que tenían forma de pera o de campana o también el aspecto de retortas de gas de alumbrado (tubulares) y estaban fabricadas de barro o mas tarde de fundición, fueron instaladas en hornos de varias filas. En lugar de la descomposición del cinabrio por medio de la cual puede también emplearse el aire, --

dejándolo entrar por la parte posterior de los recipientes a través de pequeñas aberturas. De este modo estaban dispuestos el horno de Patera en Idria y el horno de Spirek y Nathan en Siele (monte Amiata). Los gases de los recipientes se reúnen en tubos de barro, más tarde de fundición refrigerados. El mercurio se recoge debajo del agua y los gases no condensables se envían a una cámara y a la chimenea. - Esta clase de hornos estaban en uso en un gran número de minas pero han sido abandonados en todas partes para trabajar con marcha permanente, pues su explotación es cara y perjudicial para la salud. Por razón de los pequeños gastos de instalación, los hornos de mufla se emplean todavía en la actualidad para la primera explotación de nuevos yacimientos de mercurio, - en particular en América. Según la riqueza manifiesta en los yacimientos y el incremento del trabajo, se van substituyendo por hornos que funcionan más barato.

3. CONTAMINACION MERCURIAL

Consideramos primero lo que podría ser llamada la distribución normal de mercurio en la naturaleza. El elemento es encontrado en pequeñas cantidades a través de la litósfera (rocas y tierra), la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera (en tejidos de plantas y animales). En las rocas y en la tierra (aparte de las concentraciones del mineral) el mercurio está medido en fracciones de una parte por millón excepto en terrenos superficiales ricos en humus, en donde la cantidad puede manifestarse tan grandemente como en dos partes por millón. En la hidrósfera (los mares y las aguas frescas) se manifiesta generalmente en partes por billón. En la atmósfera el mercurio está presente tanto en forma de vapor como en forma de partícula. Sin embargo, bajo condiciones naturales la cantidad es tan pequeña que se necesitan métodos extremadamente sensitivos para poder detectarlo. (30)

Las mediciones que han sido llevadas a cabo en determinados lugares nos indican que el nivel atmosférico no aporta menos de una parte por billón. La situación es un poco diferente cuando se trata de la

biosfera. Las plantas y los animales tienden a concentrar el mercurio; se ha encontrado por ejemplo que algunas algas marinas contienen una concentración de más de 100 veces más alta, que la concentración de las aguas en las cuales viven, y un estudio de peces en el mar mostró concentraciones de mercurio de más de 122 partes por billón. Existe una variación considerable en las cantidades de mercurio encontradas en las plantas y en los animales dependiendo de las circunstancias.⁽³⁰⁾ Sin embargo, bajo condiciones naturales, la concentración en la vegetación de la tierra (aparte de las plantas cultivadas) promedia no más de una fracción de una parte por millón.⁽³⁰⁾

Así el ciclo natural de circulación de mercurio sobre la tierra se dispersa ampliamente a través de las esferas habitables en cantidades tan pequeñas que no presenta un daño para la vida.⁽³⁰⁾

La contaminación mercurial de las aguas es paralela a un incremento en la actividad industrial. De los usos en gran escala, una cantidad considerable de mercurio usado está fluyendo a la atmósfera, a las tierras y a los efluentes, a los lagos y a las bahías.

A esto contribuyen en gran escala las plantas de cloro-alkali las cuales usan mercurio como un catalizador en la producción de cloro. El daño a el ambiente por el uso de compuestos derivados del mercurio en -- las pinturas marinas es real ya que puede entrar a la cadena biológica marina.

En un análisis de muestras de hielo en Groenlandia se encontraron niveles de mercurio en la atmósfera, los cuales permanecen estables desde 800 a.c. -- hasta 1958.

El problema de esta contaminación por mercurio -- se manifiesta mas con el atún grande, con el pez espa da, y con el pescado de las aguas frescas contaminadas. Los niveles del mercurio en el atún no han cambiado apreciablemente durante los últimos 90 años.

En 1940, los compuestos de mercurio orgánico fueron introducidos para su uso como fungicidas en la -- agricultura. Cerca del 26% de la demanda mundial de -- mercurio se utiliza para la producción de fungicidas -- mercuriales. Estos últimos pueden entrar en la cadena alimenticia del hombre en una gran variedad de formas:

a través del rociado de las plantas, por el lavado - del fungicida del suelo a el agua corriente por la - traslocación del mercurio de las semillas a la planta, y por la alimentación de semilla tratada a el ganado y a las aves de corral. (29) Muy recientemente en Irak se consumió grano tratado con un compuesto de metil-mercurio, en vez de ser usado para sembradio, - dando como resultado un envenenamiento de al menos - 6000 casos, 500 de los cuales murieron. La muerte de una familia en Nuevo México, tuvo su origen al comer carne de cerdo contaminada con mercurio. (27)

Con la expansión de la industria, una mayor cantidad de combustibles han sido sometidos a la combustión. (35) Las cantidades más grandes de mercurio -- agregadas al ambiente por el hombre son desprendidas por la combustión de los combustibles naturales, tales como el carbón, petróleo, betunes y asfaltos. El uso combinado de estos materiales pueden agregar mas mercurio al ambiente que los usos intencionados del - mercurio en la industria, y en la agricultura. (29)

Las operaciones de extracción, fusión y refinado contaminan peligrosamente al aire en areas bien localizadas con vapores de mercurio y polvo. (29)

Los únicos compuestos de mercurio que representan un daño significativo a los seres humanos son los compuestos del alquil-mercurio, de los cuales el metil-mercurio es de los más tóxicos. La conversión de la forma elemental como la inorgánica del mercurio a -- la forma orgánica por microorganismos ha sido demos-- trada y parece que esta reacción se manifiesta en todos lados. Así, los lagos contaminados con mercurio elemental e inorgánico actúan como una fuente continua para la producción de metil-mercurio. Se ha demostrado en base a varios estudios, que los peces contaminados con mercurio, lo están con casi 100% de metil-mercurio. (35) En las bahías de Minamata y Niigata las -- sustancias que habían dañado a los peces y a la gente eran idénticas al metil-mercurio. (29)

La fuente mayor de consumo de mercurio es el -- hombre en su comida. No es sorprendente encontrar -- que del 20 al 25% de la población mundial, muestran -- cantidades fácilmente mediables de mercurio en los -- fluidos de los cuerpos.

El cálculo de la ingestión diaria aceptable de -- mercurio es un trabajo muy difícil de llevar a cabo. (29)

Una gran cantidad de preparaciones farmacéuticas que contienen mercurio son arrojadas desde las casas y de los hospitales a las alcantarillas municipales. Se rompen una gran cantidad de termómetros contaminando así al ambiente. En el mundo se usan una gran cantidad de baterías secas cada año; cuando dejan de funcionar son arrojadas a la basura y muy a menudo incineradas. Además, la gran volatibilidad del mercurio, contribuye en forma considerable a la contaminación de este elemento en la naturaleza.

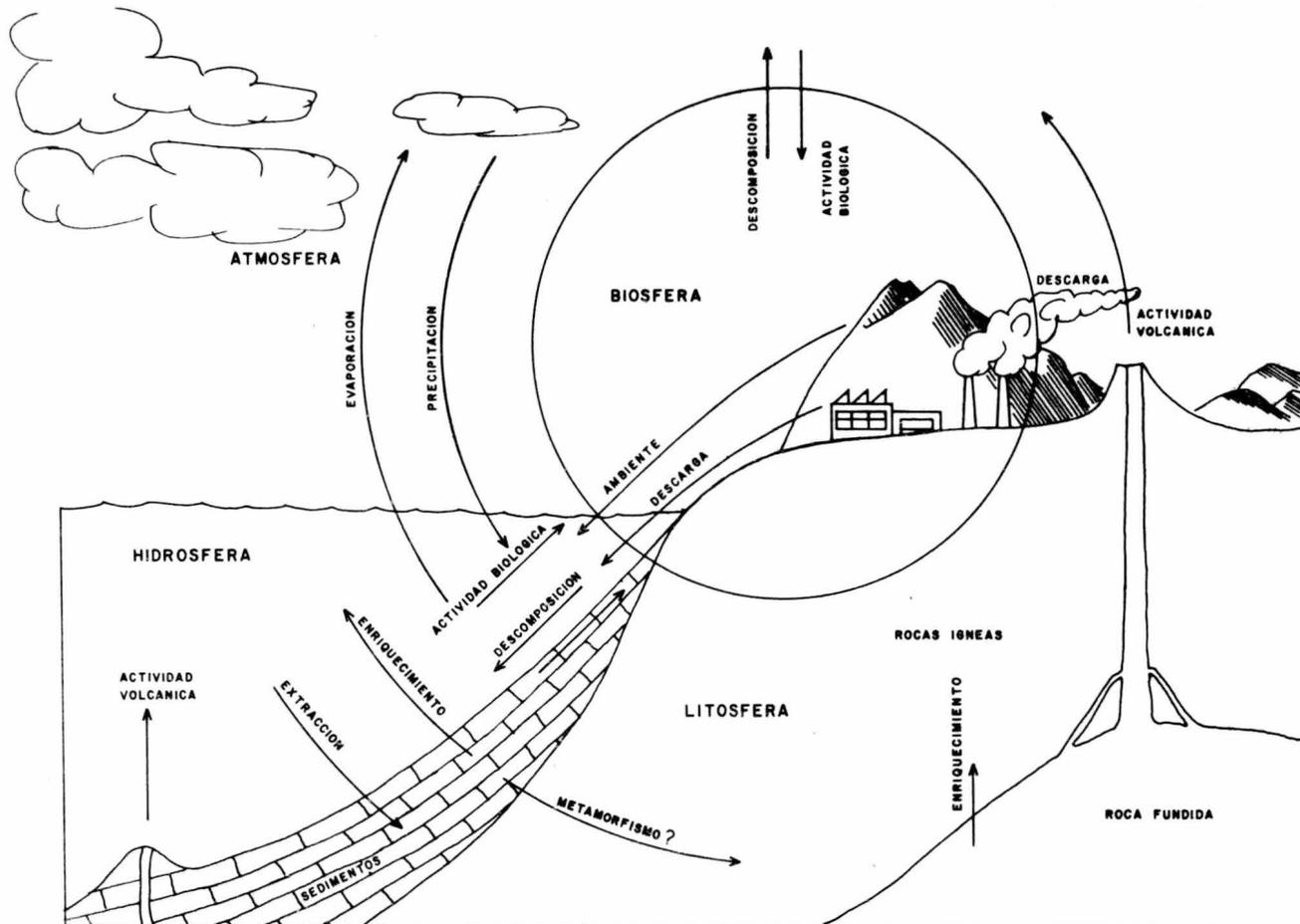


FIG. 1.- EL CICLO DEL MERCURIO.- DISPERSA EL METAL A TRAVÉS DE LA LITOSFERA, LA HIDROSFERA, LA ATMOSFERA Y TAMBIÉN DE LA BIOSFERA LA CUAL INTERPENETRA CON LAS OTRAS TRES.

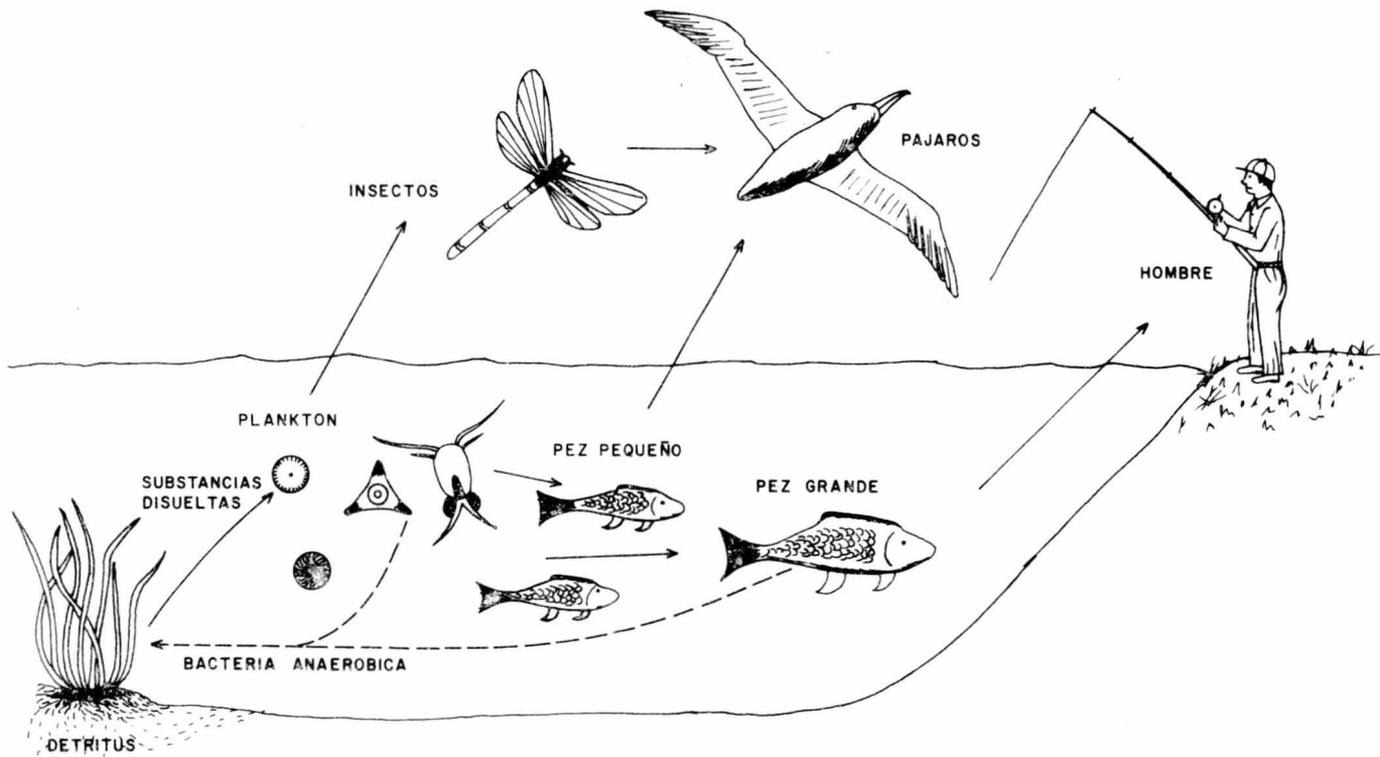


FIG. 2.- LA CADENA ACUATICA ALIMENTICIA.- ES UN MECANISMO PRIMARIO POR MEDIO DEL CUAL SE CONCENTRA EL MERCURIO.

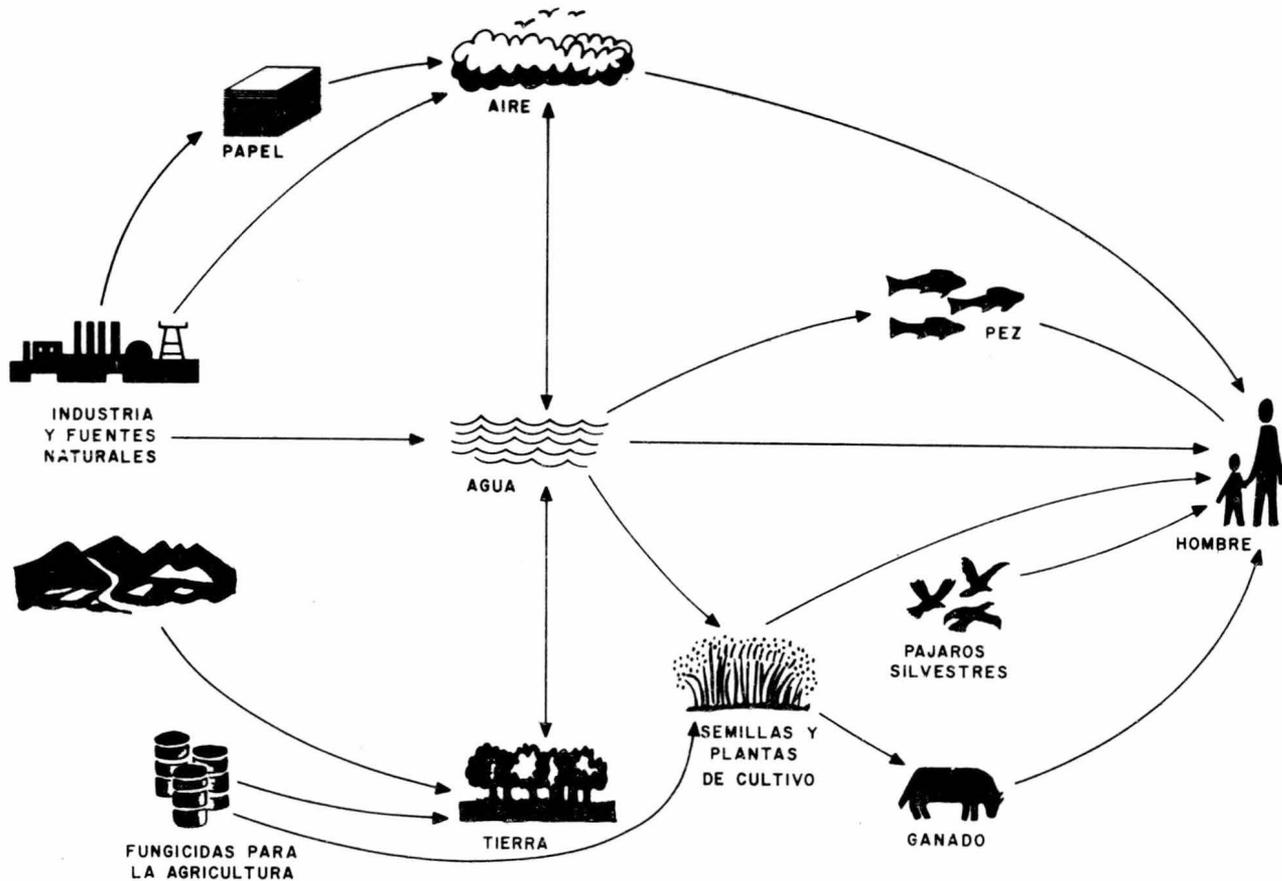
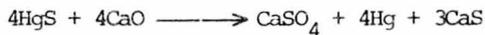


FIG. 3.- COMO LLEGA EL MERCURIO AL HOMBRE.- LAS VIAS PRINCIPALES POR MEDIO DE LAS CUALES EL MERCURIO LLEGA AL HOMBRE SON: EL AIRE, EL AGUA, LA COMIDA.

4. METODO EMPLEADO PARA LA DETERMINACION DE MERCURIO EN UN MINERAL ⁽²³⁾

En la actualidad se aplica para los minerales la prueba de Eschka con diversas modificaciones, la cual se basa en la propiedad que posee el mercurio de amalgamarse con la plata y el oro. Se dispone de un crisol, en el cual se coloca un gramo de mineral por analizar, que consiste esencialmente de cinabrio, junto con el fundente que en este caso es un gramo de óxido de calcio, usado también para fijar cualquier sulfuro que de otra manera pudiera ser volatilizado. Se tapa con una lámina de plata cuidando que quede perfectamente sellado. Enseguida se coloca sobre la placa de plata el sistema refrigerante, necesario para la condensación y amalgamación. La fuente de calor es un mechero que calienta al crisol durante una hora.

Reacción



Cálculos:

1.- Se pesa previamente la lámina de plata sola.

- 2.- Se pesa la lámina de plata mas mercurio (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 y nos dá el porciento de mercurio.

Fórmula:

$$\%Hg = \frac{(\text{peso placa de Ag+Hg}) - (\text{peso placa de Ag})}{\text{peso de la muestra}}$$

5. ANALISIS DE MERCURIO METALICO.

La farmacopea norteamericana nos indica, que 5 grs de mercurio, 5 cm.³ de ácido nítrico y 3 cm.³ de agua deben ser evaporados en un baño de agua, y el residuo quemado y pesado. El peso debe ser menor que 0.01% - del peso del mercurio pesado. La especificación química A.D.A. nos indica que un peso de 10 a 15 grs. de be ser evaporado en aire y quemado. El residuo debe ser menor que 0.02%.

La experiencia nos demuestra que estas pruebas, - aunque aplicables al mercurio como un reactivo químico no son muy prácticas cuando se usa como un medio para determinar si es apropiado para la instrumentación. - Esto puede ser verificado sumando el porcentaje mínimo de plomo, estaño, soldadura o metales similares a el - mercurio puro. Cuando el metal contaminante es disuelto en el mercurio, la superficie en forma de espejo - desaparece y es reemplazada por una superficie rugosa, la cual se adhiere al recipiente y se vuelve negro en la superficie.

Una cuarta prueba algunas veces empleada es la - prueba espectroquímica. El espectroscopio esta consi-

derado por muchos como el detector mas delicado de trazas pequeñas de elementos. Sin embargo, el mercurio el cual es espectroscopicamente puro, puede contener cantidades dañinas de metales contaminantes.

Una prueba recomendada por el Dr. Wichers, la cual es mucho mejor que las mencionadas anteriormente, esta en uso general para aplicaciones especiales, como en los termómetros. Esta prueba consiste meramente en poner un glóbulo de mercurio en un plato de porcelana limpia, agitándola suavemente de un lado para otro. Si se desliza libremente sin dejar ninguna huella, entonces se dice que tiene la pureza necesaria.

La prueba A.C.S. para metales base es similar. De 10 a 20 gr. de mercurio son evaporados en placas calientes sin ebullición. Durante tal operación, el mercurio debe retener su superficie brillante y no desarrollar ninguna película o espuma. La exactitud de esta prueba excede los métodos químicos, siendo tan sensitiva que detecta dos partes en 10 millones. Con estos métodos no se puede, por supuesto, detectar la presencia de metales nobles, lo cual no causa ensuciamiento del mercurio.

6. DETECCION DE MERCURIO EN EL AMBIENTE⁽¹³⁾

El trabajo realizado por Nordlander en el desarrollo de un método práctico para medir la contaminación atmosférica a causa del mercurio dió como resultado un método, el cual esta basado en la reacción - entre sulfuro de selenio, aplicado sobre un papel como un recubrimiento, y el mercurio que puede contener el aire, dando como resultado un ennegrecimiento del sulfuro. El papel se oscurece de acuerdo con la cantidad de mercurio presente, y es función de la concentración del mercurio, del tiempo de exposición y de otros factores controlables. La sensibilidad de este método es de 1 a 4 partes por millón en volumen, con un tiempo de exposición de 4 minutos, un metro por -- segundo de aire, y una temperatura de 70 grados centí grados. Para referencia y una lectura rápida se -- hacen escalas de ennegrecimiento a concentraciones - conocidas.

El método mas conocido, desarrollado por Woods, - es el de la detección fotoeléctrica, el cual se basa en la difusión de la radiación de resonancia del mercurio por el vapor del mercurio (la luz ultravioleta

tiene una longitud de onda de 2357 Angstroms). El -- grado de opacidad de la luz de esta longitud de onda es una medida de la concentración de mercurio en el - aire. La estimación se hace fotoeléctricamente y da una rápida lectura de la concentración de vapor de - mercurio en el aire. El aparato detector es portátil. La sensibilidad de este método es de una parte por -- millón.

Otra manera de cuantear mercurio en el aire es - por métodos electrolíticos. El aire contaminado se - hace pasar por una trampa que contiene aire líquido, - nitrógeno líquido, dióxido de carbono sólido y éter. El mercurio depositado se disuelve en agua de cloro y se puede determinar por electrodeposición, o por medi da micrométrica y electrodeposición. La medida micro métrica consiste en aislar el mercurio como metal y - medir una gota usando un microscopio.

Un método adicional se basa en la reacción de po tasio con nitrosobenceno, la cual es catalizada por - pequeñas concentraciones del ión mercúrico. Este pro cedimiento ha sido aplicado a la determinación de can tidades muy pequeñas de mercurio. La concentración -

del producto de la reacción coloreada violeta en un tiempo de reacción determinado depende de la cantidad del ión mercúrico presente en la solución.

Existe un método más, basado en el siguiente hecho: cuando una solución diluida de un ácido conteniendo mercurio, se agita con una solución de tetracloruro de carbono y ditizona, o cloroformo y ditizona - - cambia a un color anaranjado brillante, atribuible a la formación de un complejo orgánico soluble de mercurio. La ditizona y el mercurio reaccionan en la proporción de 1 mg. de mercurio por 2.6 mg. de ditizona.

7. TOXICOLOGIA DEL MERCURIO

En un principio, Plinio⁽²⁹⁾ notó los riesgos de trabajar con mercurio. Según relata, las personas empleadas en su manufactura, se protegían la cara con máscaras de piel delgada, no muy ajustadas, para evitar inhalar el polvo, el cual es mas pernicioso.

Los chinos usaban el mercurio en forma metálica, en medicina o elixires que se creían tenían capacidad de prolongar la vida. Se tienen noticias de que algunos emperadores chinos murieron en sus vanos intentos de alcanzar la inmortalidad.⁽³⁷⁾

El físico italiano Ramazzini⁽²⁹⁾ del siglo XVIII, uno de los padres de la medicina industrial reportó - que de las minas de mercurio se obtenían las más crueles desgracias que tratándose de muerte y destrucción, ataca a los mineros.

Sobre la naturaleza tóxica del mercurio, también existen evidencias de que Napoleón, Iván el terrible, y Carlos II de Inglaterra, pudieron haber muerto de envenamamiento por mercurio, ya sea en forma accidental o deliberada.⁽³⁰⁾

Esta toxicidad del mercurio fue reportada por Hipócrates, Galeno y Aviceno.⁽³⁷⁾ En el siglo V, Dioscoridis,⁽³⁰⁾ escribió que el cinabrio era bueno para enfermedades de los ojos, ayudaba en la curación de quemaduras y disminuía el desarrollo de ampollas, pero -- hizo notar que ingerido el mercurio era peligroso.

Sin embargo, es a Ulrich Ellenborg, en 1943, a -- quién se le atribuye, de acuerdo con Koelsh⁽³⁰⁾ haber sido el autor del primer trabajo sobre higiene industrial y la descripción de los síntomas del envenenamiento por los vapores de mercurio.

En 1533, Paracelso,⁽³⁰⁾ escribió un libro sobre enfermedades ocupacionales y describió en detalle el envenenamiento de los mineros por causa del mercurio.

Entre los trabajos importantes escritos sobre el mercurio como causa de enfermedades ocupacionales en el siglo XX, está el de Zanger, en el que se describen manifestaciones presentadas por los enfermos.

Cuando Von Hoffman en 1843 y Frankland en 1850 -- sinterizaron compuestos orgánicos de mercurio, inaugu-

raron la era de la toxicología industrial. Según - Teleky, las primeras víctimas de los compuestos sintéticos alquilo-mercuriales fueron dos técnicos de laboratorio que estaban trabajando con dimetil-mercurio. Esto ocurrió en 1850.

Con el paso de los años, el veneno del mercurio afectó a trabajadores de otras ocupaciones:

A los productores de municiones, constructores de termómetros, extractores de oro, de plata, a los electroplateadores, a los fabricantes de: amalgama para barómetros, de instrumentos de calibración, de cloro y sosa cáustica, de desinfectantes, de aparatos eléctricos, explosivos, de fungicidas, de pinturas de papel, impresores textiles, trabajadores de curtiduría, preservadores de piel y otras. Pero sin duda la más peligrosa, es la de los mineros extractores de mercurio. (38)

El mercurio en una forma o en otra puede invadir el cuerpo humano por vía pulmonar, cutánea o por - - vía digestiva.

Para poder evaluar los daños o riesgos del mercurio en el ambiente se deben examinar las formas en -- las cuales se manifiesta y la relativa toxicidad de -- sus varios compuestos.

Los efectos químicos, físicos y fisiológicos del mercurio siguen las reglas generales, las cuales se -- aplican a todas las sustancias químicas activas: -- estas son las bases para lo que se conoce como toxicología. Los efectos variarán dependiendo de la naturaleza química y física del compuesto, la cantidad de -- dosis que entra en contacto con un organismo viviente, la manera como entra al organismo y la presencia de -- otras sustancias, las cuales pueden incrementar o disminuir el efecto. En pocas palabras hay un gran número de factores peculiares del organismo viviente, los cuales juegan un papel muy importante en la manera en la cual el organismo reaccionará.

Los vapores de mercurio producen según la intensidad o la duración de su acción, un enrojecimiento de -- la mucosa de la boca y cuando la acción es más intensa o más larga dan lugar a una hinchazón de las encías -- (estomatítis), ptialismo, formación de úlceras en las

cavidades de la boca, trastornos gástricos e intestinales, eventualmente diarreas, dolores en los miembros y articulaciones, y perturbaciones del sistema nervioso que se manifiestan por temblores en las manos y en la cabeza, conocido como tremor mercurialis o temblor de azogado. Los enfermos graves enloquecen y presentan a menudo una palidez marcada. En casos más graves, que se presentan rara vez, sobreviene la pérdida progresiva de fuerzas, delirios, alucinaciones y finalmente la muerte. El hidrargirismo es especialmente peligroso porque disminuye fuertemente la resistencia a la tuberculosis. De un modo análogo obra también el mercurio metálico cuando a través de la piel llega al organismo humano.

Las sales solubles son tóxicas. El cloruro mercuríco, conocido también como sublimado corrosivo produce corrosión en el conducto intestinal, provocando una diarrea sangrante, daño a los riñones, supresión de la orina y fundamentalmente la muerte debido al daño a los riñones cuando es tomado por vía oral en una dosis significativa.

El cloruro mercurioso es menos soluble que la sal mercuríca y además menos dañina. Todavía es usado me

dicionalmente pero algunos de sus usos han sido abandonados porque se encontró que causa escalofríos dolorosos en las manos y en los pies.⁽³⁰⁾ Se encuentran - variaciones similares en otras sales inorgánicas, tales como el yoduro de metilmercurio, y el nitrato de metil-mercurio.

Ciertos compuestos orgánicos mercuriales tales - como el dietil-mercurio y el metil-mercurio son mucho más tóxicos que las sales mercuriales solubles.

8. ZONAS DE PRODUCCION DE MERCURIO
EN MEXICO (22)

Los yacimientos de mercurio se encuentran localizados en 18 Estados de la República. Algunos producen mercurio en forma temporal dependiendo básicamente en el precio del mercurio en el mercado. Los de mayor producción están en la meseta central, en los Estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro. Existe otra zona localizada en la Costa del Pacífico, donde destaca la producción del Estado de Guerrero.

En México se encuentra cinabrio, mercurio metálico y calomel. En la mayoría de las minas el mineral extraído es el sulfuro de mercurio, ó sea el cinabrio. En algunas de ha obtenido mercurio metálico. Los depósitos de mercurio más importantes están asociados con rocas sedimentarias como calizas cretácicas y en otros casos con areniscas, como en Sain Alto, Zacatecas. Otros depósitos de menor importancia se relacionan con riolitas, tal como: Villa García (Canoas), Sierra de Escritorio y Sierra Chapultepec en Zacatecas, así como en el Municipio del -

Moral, Jalisco.

Los cuerpos mineralizados pueden tener forma - de vetas y vetillas bolsas, mantos, etc., y en general consisten en cinabrio y en casos muy especiales de mercurio nativo. En otros casos como en Huitzucó, Guerrero, se han explotado sulfuros de antimonio y mercurio (Livingstonita) y en Huahuaxtla, metacinabrita. En Arcelia, Guerrero y en Aramberri, Chihuahua, existen otros depósitos en que el mercurio se encuentra asociado a minerales de cobre, plata, etc., cerca de la superficie.

Para clasificar en grado de importancia las zonas productoras de mercurio en el País, sería necesario contar con algún conocimiento ó control sobre las producciones, pero no existe. La explotación - del mercurio como la de cualquier otro metal no se realiza en el País de acuerdo con un plan nacional de producción. En consecuencia, nunca se sabe en un año dado cuáles serán las necesidades de consumo interno y de exportación para los años subsecuentes. Las estadísticas únicamente señalan volúmenes anua-

les producidos de acuerdo con estimaciones hechas - por la SIC en base al pago de impuestos. Esto, más que nada, es debido a que el mercurio está sujeto - en general a un intenso tráfico dentro del País para su comercio. Existen actualmente centros importantes de comercio, aunque también existen compradores ambulantes que compran en los patios de las minas ó transportan de un centro a otro fuertes volúmenes de mercurio.

Hoy en día, Querétaro es el principal centro - comercial de mercurio, generando el 86% de la producción nacional.

FIG. 4.- DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS CRIADEROS DE MERCURIO
EN LA REPUBLICA MEXICANA



8.1 ZONAS MERCURIALES EN LA REPUBLICA
MEXICANA (8)

(Elaborado por Jenaro González Reyna)

1 9 4 5

1. Esperanza
2. Ariuchi
3. Co. Santa Teresa
4. Arechiuyu
5. Moris
6. Estación Pedernales
7. Naica
8. Estación Saucillo
9. Santa Rosalía
10. Saucillo
11. Camargo
12. San Carlos
13. Estación Escalón
14. El Cuarenta
15. El Colorado
16. El Oro
17. Huichacan
18. San Juan de Camarones

19. San Gregorio
20. Otinapa
21. Cuencame
22. Michis
23. La Boquilla
24. El Escritorio
25. Sierra Chapultepec
26. San Alto
27. Río Grande
28. Melilla
29. Gruñidora
30. Carbonerías
31. Tanquecitos
32. Concepción del Río
33. Tetillas
34. Villa de Cos
35. Bañón
36. San Miguel
37. Carro
38. Santa Rita
39. Villa García
40. Cedral
41. Sierra de Coronado
42. Charcas

43. Venado
44. Moctezuma
45. Guadalcazar
46. Dulces Nombres
47. Santa María del Río
48. Llera
49. Huajimic
50. Huaristamba
51. El Moral
52. Chiquilixtlán
53. Capula
54. Sierra de Tlapalpa
55. M. Martínez
56. Puesto
57. San Felipe
58. San Juan de la Chica
59. Iturbide
60. Pozos
61. Río Blanco
62. Trancas
63. Xichú
64. San Miguel de Allende
65. Peña Miller

66. Rincón de Centeno
67. Corrales
68. Durazno
69. Doctor
70. Aguas
71. Zacualtipan
72. Contepec
73. Indarapeo
74. Chiranganguero
75. Pungarabato
76. Sierra de Tlalpujahua
77. Santa Rosa
78. Preconez
79. Hospital
80. Taxco
81. Huitzuco
82. Huahuaxtla
83. Tepecoacuilco
84. Xilociutla
85. Tenango del Río
86. Acahuizotla
87. San Juan del Río
88. Ocotlán

9. RECURSOS Y PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE MERCURIO EN EL MUNDO (26)

Se conocen un número muy elevado-bien por encima del millar- de yacimientos e indicios de mercurio en el mundo. En el mapa-mundi adjunto (Fig. 5) se muestran los más importantes. Los círculos negros - mayores indican las minas o distritos mineros más importantes. Los círculos blancos: distritos, minas e indicios de producción muy pequeña ó desconocida.

Dentro de este gran número de manifestaciones se distinguen claramente, por la dimensión total de sus reservas y recursos, dos familias de poblaciones. Una de ellas, la más abundante, constituida por cerca de 1000 yacimientos que han producido más de 100 frascos. La capacidad total de producción de un distrito medio de mercurio se encontraría entre 10,000 y 100,000 frascos.

Como contraste con esta población dominante - existe otra muy reducida en número, pero con capacidad total de producción, para cada yacimiento, del -

orden de millones de frascos. Así no es sorprendente que 3/4 partes de la producción mundial -unos 16 millones de frascos- hayan procedido prácticamente - de seis minas o distritos.

Almadén (España).....	7,500,000	frascos
Idria (Yugoeslavia).....	3,500,000	frascos
Monte Amiata (Italia).....	2,000,000	frascps
Santa Bárbara (Perú).....	1,500,000	frascps
Nueva Almadén (California, U.S.A.)	1,100,000	frascos
Nueva Idria (California, U.S.A.)...	600,000	frascos

Esto quiere decir que el mercurio total consumido hasta ahora en el mundo, una tercera parte ha - procedido de una sola mina (Almadén), y la mitad de dos: Almadén e Idria.

Esta concentración de las reservas en un número muy limitado es una característica muy acusada - del mercurio. Volviendo al mapa-mundi adjunto (Fig. 5), se pone de manifiesto que los yacimientos y distritos de mercurio muestran una distribución geométrica peculiar. En efecto, una faja productiva se -

extiende por toda la margen occidental del continente americano, pasa a través de la parte central de Alaska y sigue hacia el sur a través del Japón, torciendo entonces a lo largo de China Central a través de la parte sur de la Unión Soviética y de Europa. - Otra faja más corta y menos productiva, se extiende desde Nueva Zelandia hacia arriba, a través de Nueva Guinea y a lo largo del arco de Indonesia y Sumatra. Esta distribución de fajas, junto con el elevado grado de concentración de reservas señaladas, justifica que también las producciones anuales se concentren en muy pocos países.

En las gráficas siguientes se indican los trece Países productores de mercurio, ordenados de mayor a menor, cuya producción supera al 1% de la mundial. En 1972, 3 Países -España, Italia y la U.R.S.S.- aportaron el 52.9% del total mundial y siete Países -los anteriormente citados más México, Yugoslavia, China y Canadá- produjeron conjuntamente el 85.1%.

A la vista de los datos de reservas que se han expuesto anteriormente, y teniendo en cuenta los -

stocks existentes, no parece existir problema para abastecer la demanda a corto plazo aún con los precios actuales.

A medio largo plazo las reservas actuales son claramente insuficientes. El equilibrio de las reservas-recursos dependerá mucho del éxito que se obtenga en el descubrimiento de recursos hipotéticos y especulativos; es decir, de mineralizaciones análogas a las más ricas de las que se explotan actualmente. Si no es así, para hacer frente a la demanda dentro de diez o veinte años, tendrán que utilizar fundamentalmente recursos sub-económicos, y dado el tipo peculiar de distribución de las leyes en las mineralizaciones de mercurio, para que éstos sean explotables tendrá que producirse un notable aumento en los productos.

FIG. 5.- YACIMIENTOS DE MERCURIO EN EL MUNDO



- GRAN MINA O DISTRITO
- MINA O DISTRITO
- DISTRITO MINA O INDICIO PRODUCCION PEQUEÑA O DESCONOCIDA
- DISTRITO CON YACIMIENTOS PEQUEÑOS

FUENTE: PONENCIA, PERSPECTIVAS DE RESERVAS Y RECURSOS DEL MERCURIO EN EL MUNDO, POR JOSE SIERRA PRESENTADA EN EL CONGRESO INTERNACIONAL DEL MERCURIO EN BARCELONA, ESPAÑA (MAYO-1974)

FIG. 6.- PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE MERCURIO EN PORCENTAJES DE PRODUCCION MUNDIAL (AÑO -1960)

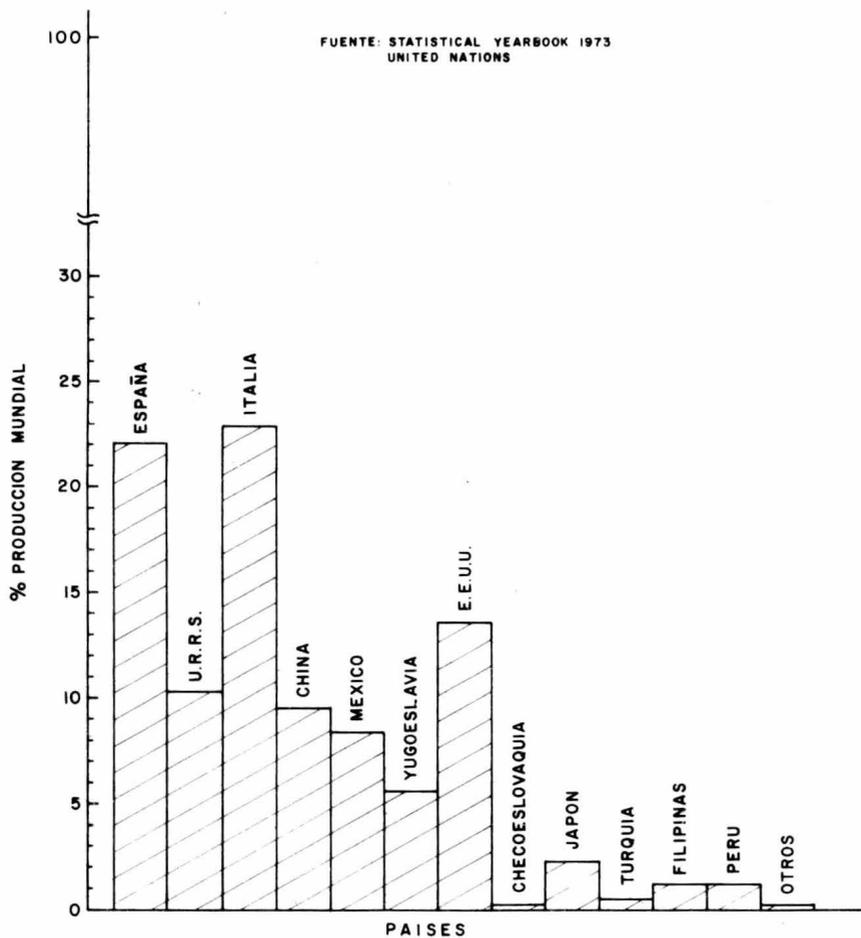


FIG. 7.- PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE MERCURIO EN PORCENTAJES DE PRODUCCION MUNDIAL (AÑO -1966)

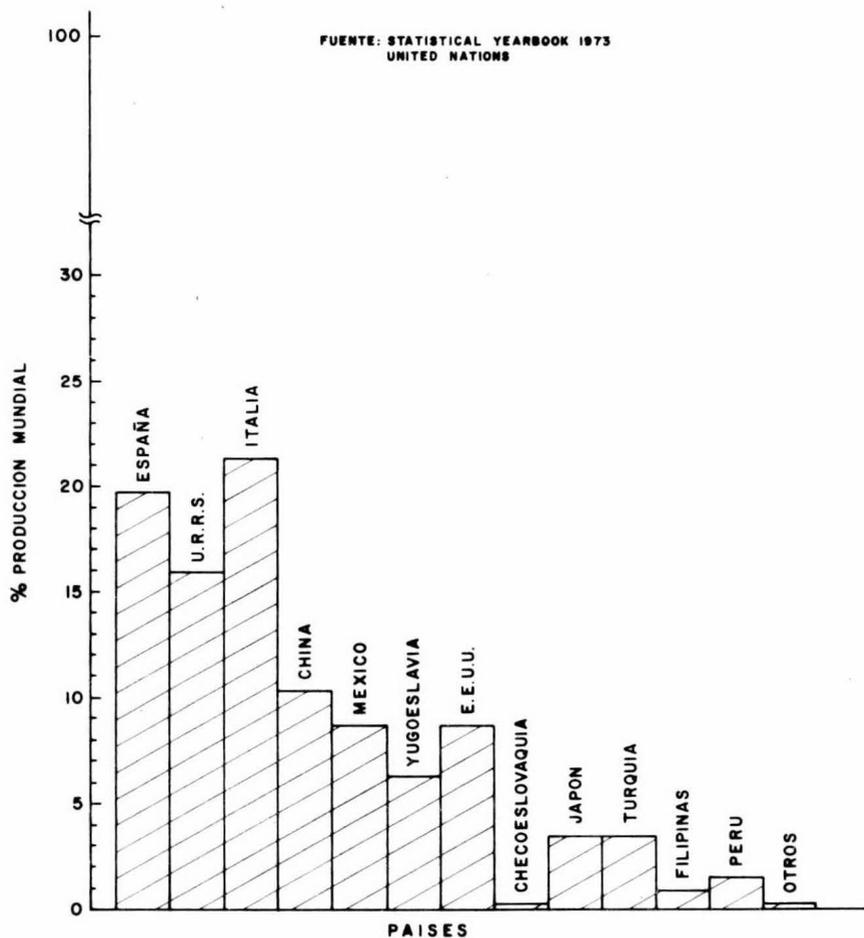
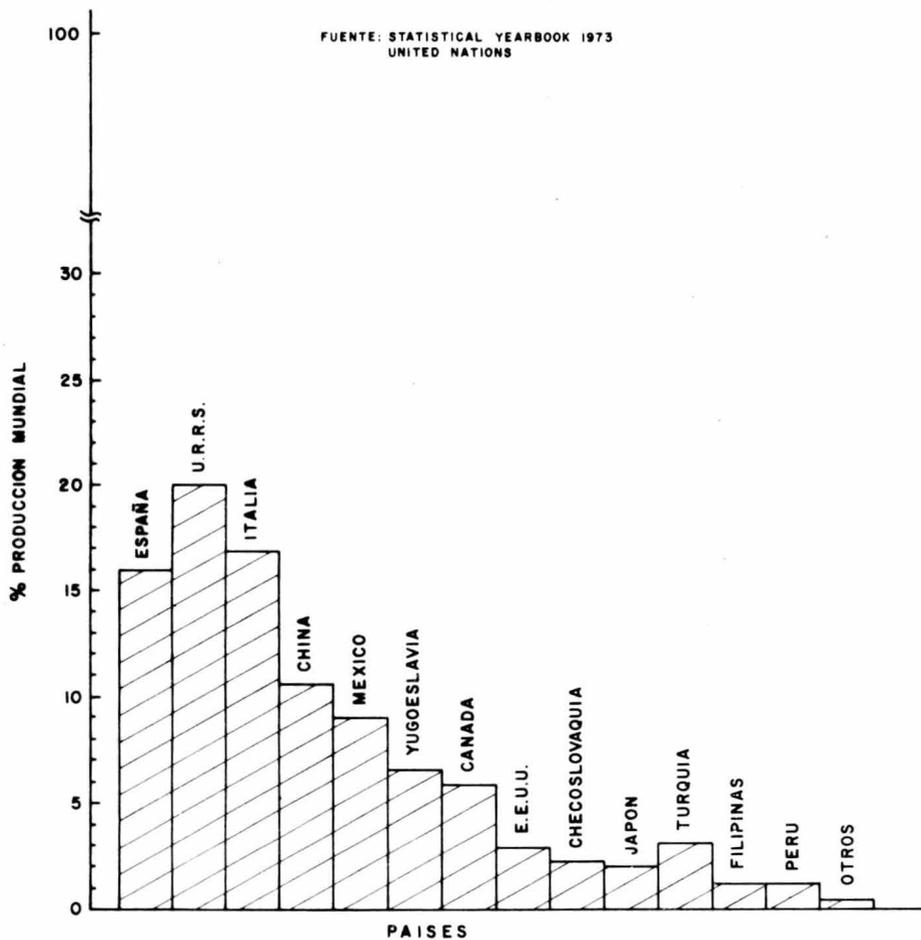


FIG. 8.- PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE MERCURIO EN PORCENTAJES DE PRODUCCION MUNDIAL (AÑO 1972)



10. VARIACION DEL MERCADO DEL MERCURIO
(NACIONAL Y MUNDIAL)

Durante los últimos años la producción de mercurio en México, al igual que en otras partes del mundo, se ha visto afectada por una gran cantidad de factores, que inclusive han obligado al cierre de numerosas minas. (22) Estos factores incluyen :

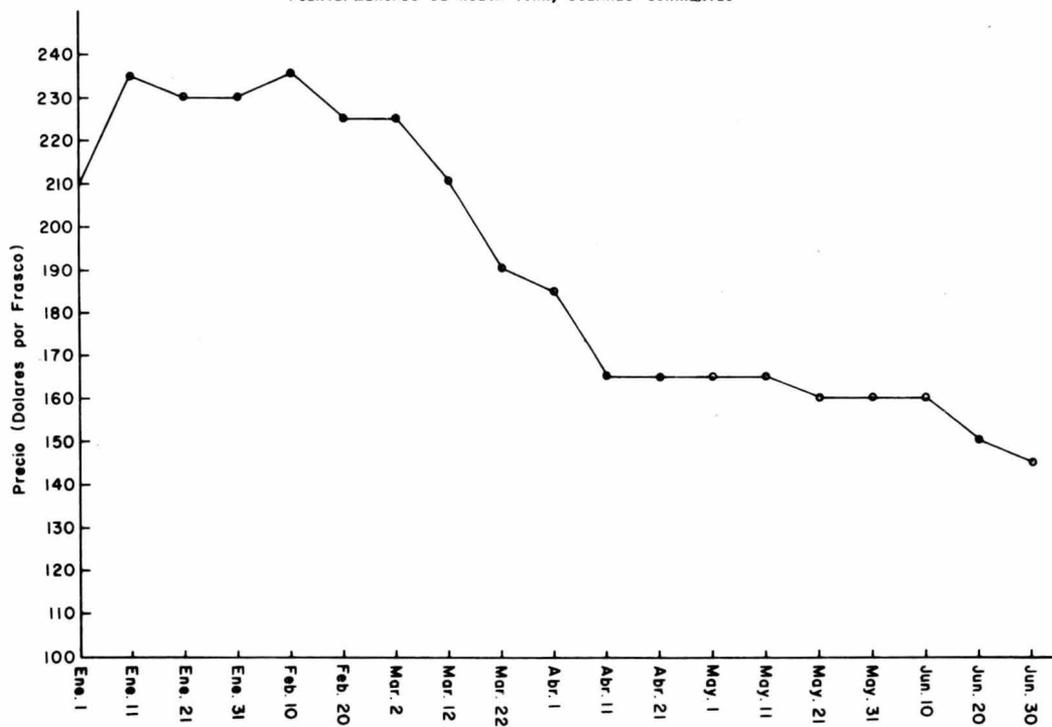
- a) Los problemas de contaminación ambiental ocasionados por el mercurio, provocando en ocasiones situaciones extremas como el caso de Minamata (enfermedades causadas por pescado contaminado con mercurio); Irak (envenenamiento a causa de la ingestión de semilla tratada con insecticidas mercuriales). (27)
- b) Desplazamiento del uso de la celda de mercurio para la obtención de cloro y sosa cáustica, por un nuevo sistema conocido como celda de diafragma; aunque este sistema produce sosa cáustica menos pura, se evitan los problemas de contaminación. (39)

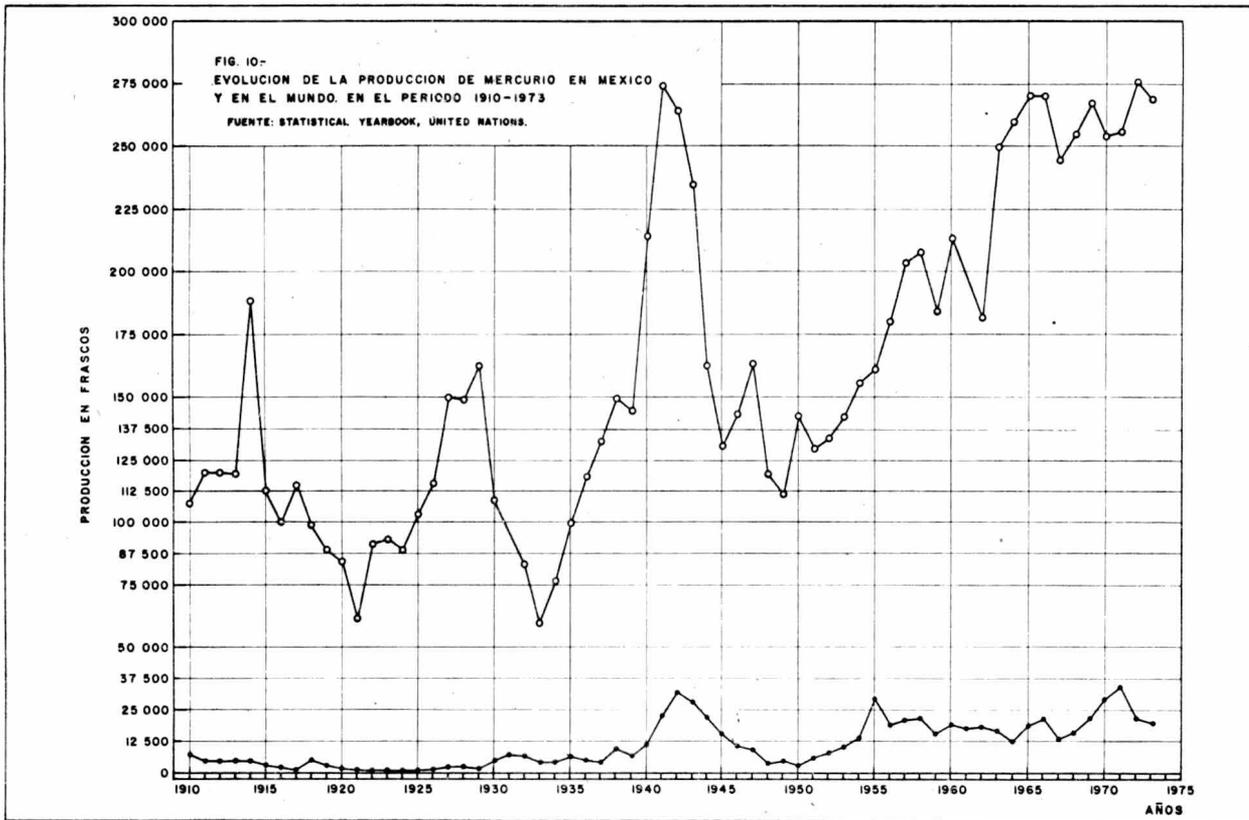
- c) La disminución de los problemas bélicos en el mundo, reduciéndose su uso en la producción de fulminantes (Fig.12).
- d) El desplome de los precios en el mercado internacional, siendo el mercurio extraordinariamente sensible a las variaciones comerciales. El establecimiento de los precios del mercurio, - se hace de acuerdo con los intereses del mercado norteamericano y no según los intereses de los Países productores. El mercado interno sólo emplea cuando cuando más, un 3% lo que hace que el mercado nacional tenga escasísima influencia en la regulación de precios. Tanto afecta a la producción nacional la fluctuación de los precios internacionales que cuando éstos son - altos, la producción se duplica de un año a - otro, pues existe una población minera flotante constituida por gambusinos o agricultores - que en épocas de buen precio abandonan sus labores normales y explotan mercurio ⁽²²⁾ (Fig.- 9).

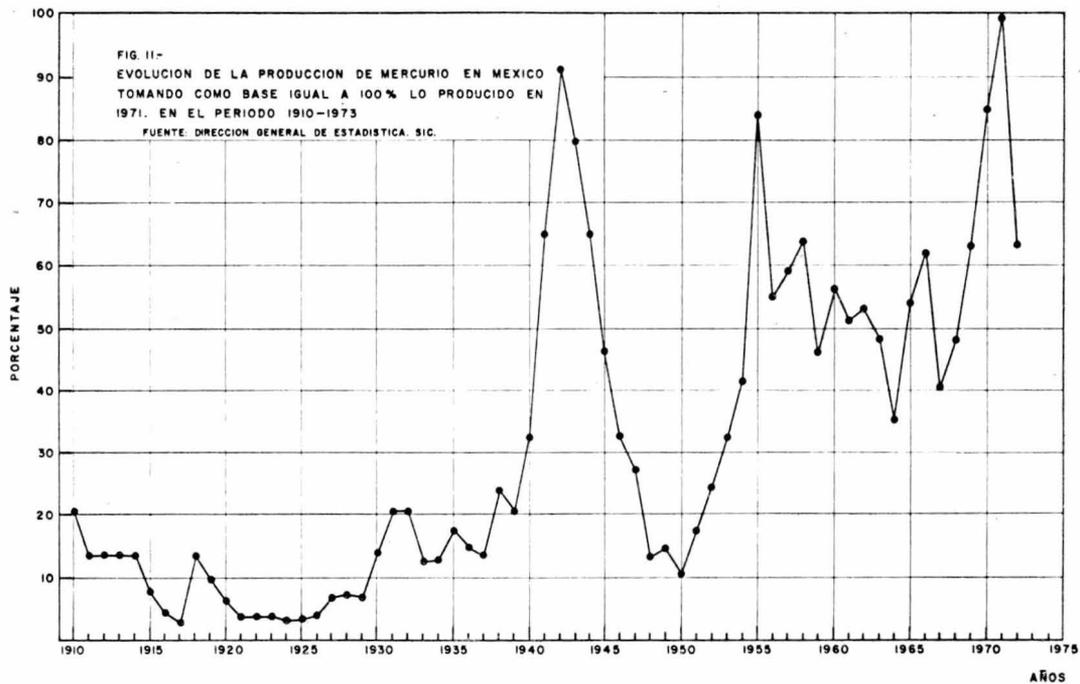
- e) La oferta tiende a disminuir, debido a que la producción mundial, como ya queda dicho, sigue esa tendencia; por virtud del agotamiento de los yacimientos, particularmente los Americanos. (9)

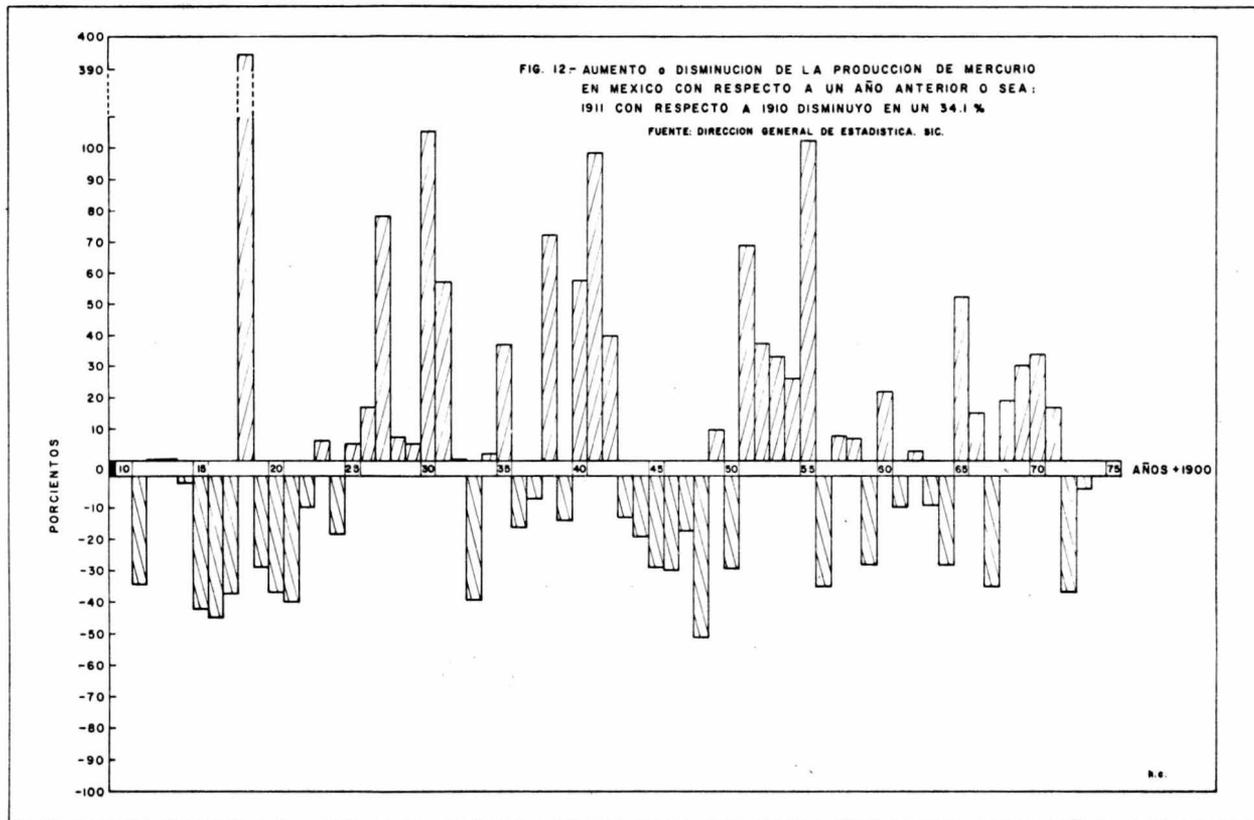
FIG. 9.- EVOLUCION DEL PRECIO DE FRASCO DE MERCURIO DURANTE LOS PRIMEROS 181 DIAS DEL AÑO DE 1975, TOMADO DE 10 EN 10.

FUENTE: MERCADO DE NUEVA YORK, DOLARES CORRIENTES









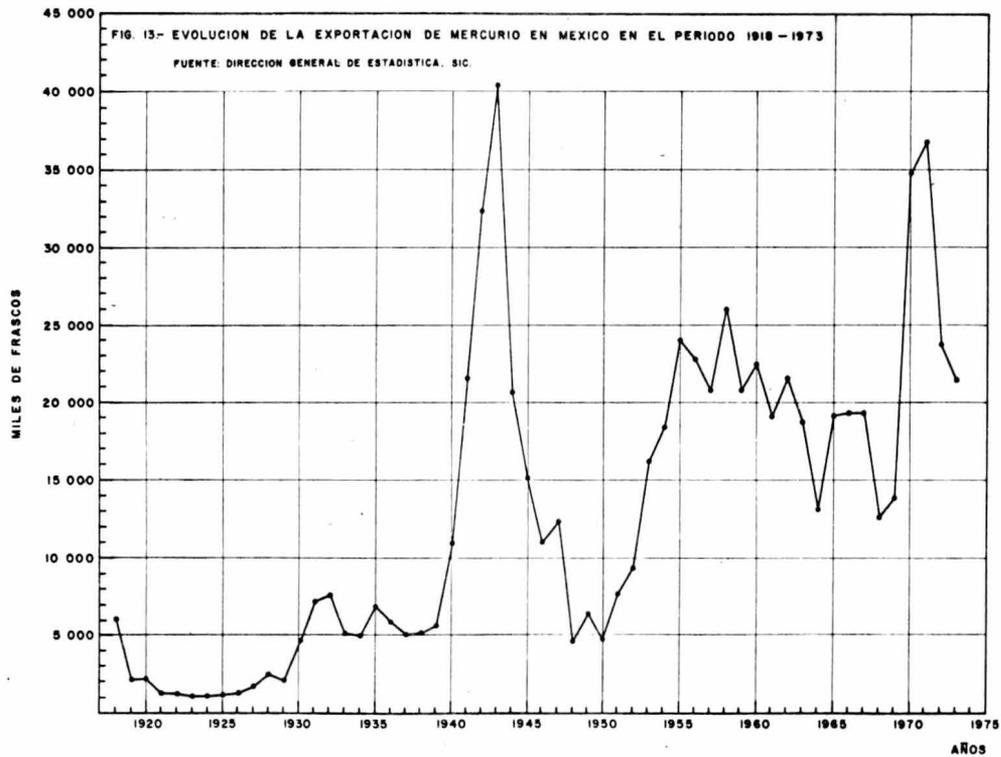
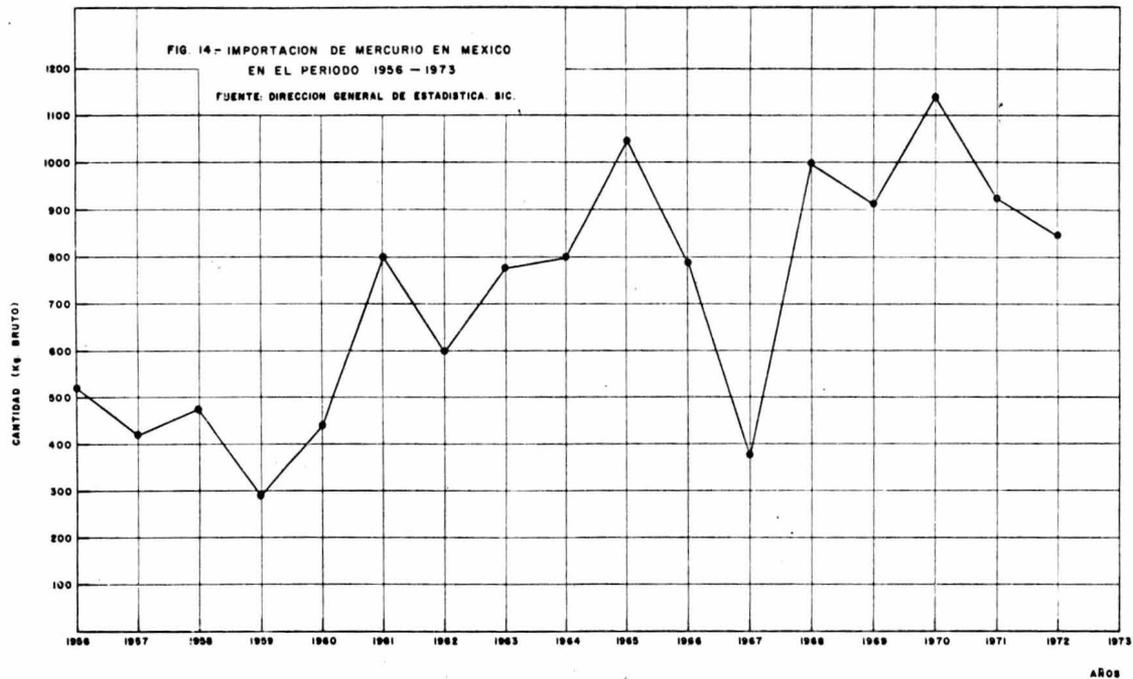
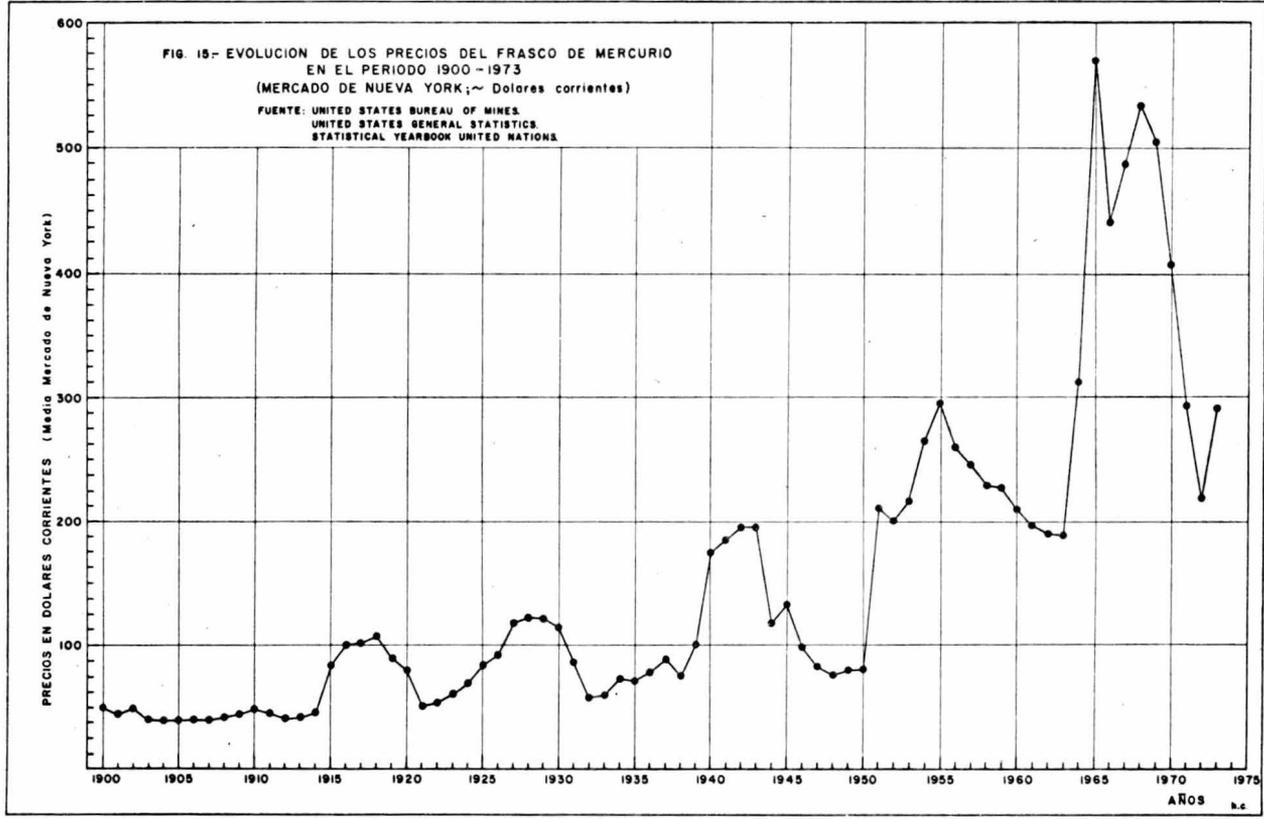
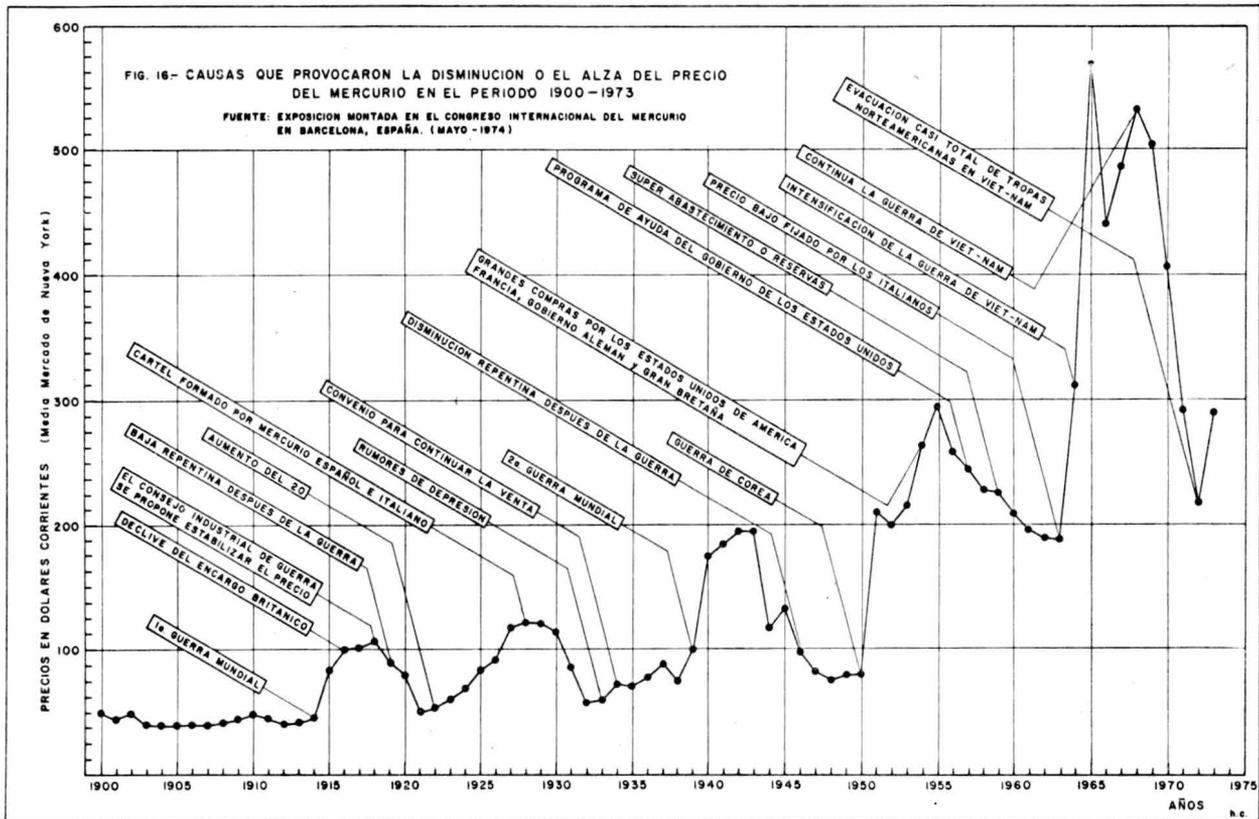


FIG 14 - IMPORTACION DE MERCURIO EN MEXICO
EN EL PERIODO 1956 - 1973

FUENTE: DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA. SIC.







11. OPERACIONES LLEVADAS A CABO EN EL PROCESO DE OBTENCION DEL MERCURIO.

Actualmente en la República Mexicana los métodos convencionales para obtener mercurio a partir de la mena son rudimentarios. El método comunmente usado es el que se describe a continuación. (Fig. 17).

a) El mineral recién extraído de la mina se reduce a un tamaño determinado, ya sea por medio del uso de una quebradora, o con la ayuda de marro y martillo.

b) Una vez reducido de tamaño, este mineral se mezcla con cal (CaO), ya que las menas contienen -- cantidades relativamente grandes de azufre y la cal actua como un fundente, ayudando a la oxidación del azufre. (Fig. 23).

c) Se cargan los tubos de diámetro de 12 pulgas con el mineral ya mezclado. Se cierran los mismos con tapas de fierro y finalmente se sellan con barro. (Fig. 24).

d) Se enciende el quemador, iniciándose así, el lento proceso de calentamiento.

e) Cuando aumenta la temperatura, el barro se agrieta por pérdida de humedad, originando así, la fuga de gran parte del metal. Continuamente se está renovando este barro de las tapas.

f) Una vez que hayan pasado alrededor de 8 horas se hace la prueba que ellos llaman de "Crudez", la cual consiste en destapar un orificio de 0.5 cms. de diámetro, previamente hecho a la tapa del primer tubo del horno, más cercano al quemador. Por el mismo se introduce una vara impregnada de barro. Si este último adquiere un color cenizo, significará para el hornero, que el mineral aún está crudo (no bien tostado).

En caso de que no adquiriera este color, querrá decir que se efectuó la tostación completa del mineral.

g) El siguiente paso es renovar el mineral - -

tratado. Esta operación se lleva a cabo con bastante rapidéz, sin apagar el quemador. (Fig. 24). Una vez hecho este cambio, continua el punto c).

h) Ya que se laboró en el horno a lo largo de una semana, se llega a la fase de limpieza, la cual consiste en:

.Apagar el quemador, esperándose el tiempo suficiente para su enfriamiento y poder así - - efectuar las operaciones posteriores.

.Descarga de los tubos del horno, girandolos - después 180 grados, para que así sea otra el área de calentamiento, aumentando así su duración. (Cada mes y medio se renovan los tubos del horno) (Figs. 30 y 31).

.Se quitan los tubos de 4 pulgadas de diámetro que unen el horno con el cuarto de condensación, limpiandolos del mercurio impregnado en sus paredes (estos tubos duran más, pues están sometidos a la llama directa del quemador, como en el caso de los tubos del horno) (Fig. - 32).

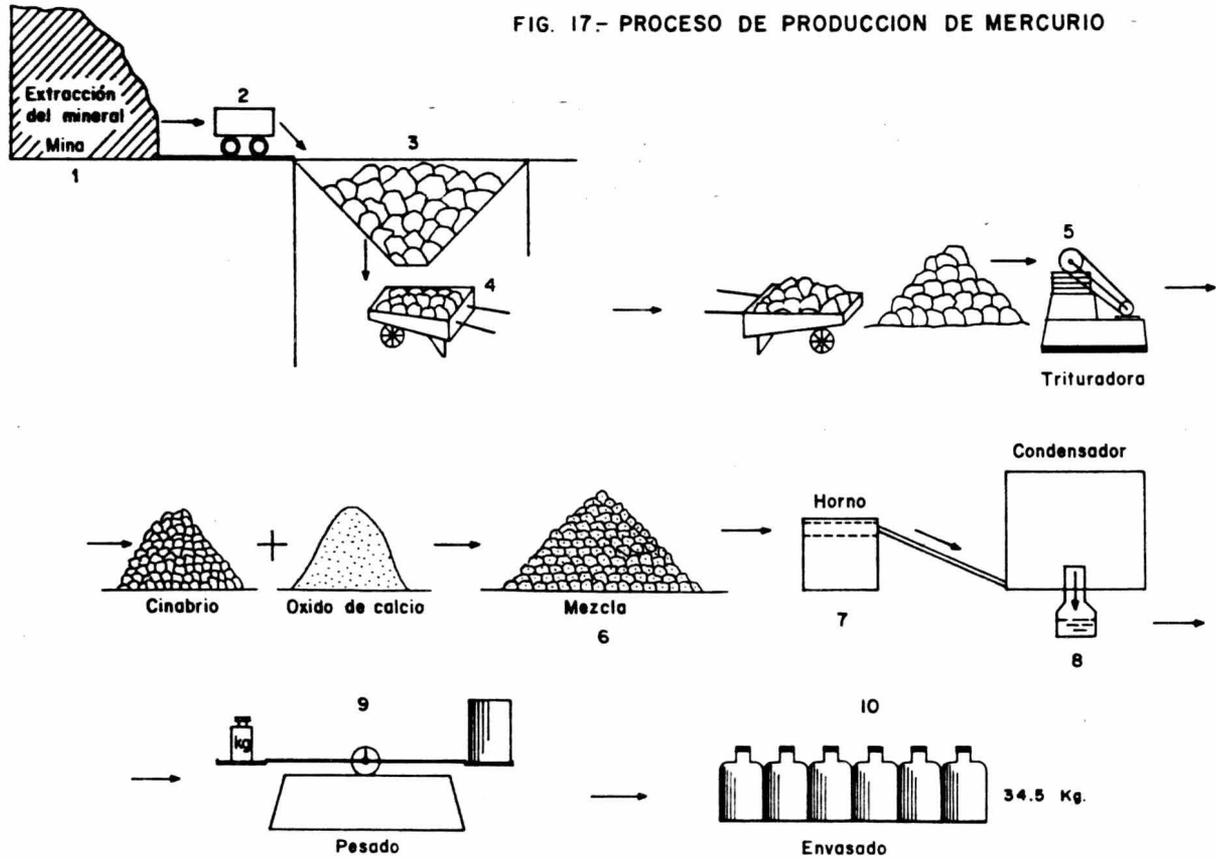
.Se destapa el pozo de concentración del mercu
rio. Se abre y limpia el cuarto de condensa
ción, barriendo las paredes con una escoba, -
para escurrir el mercurio impregnado en ellas.

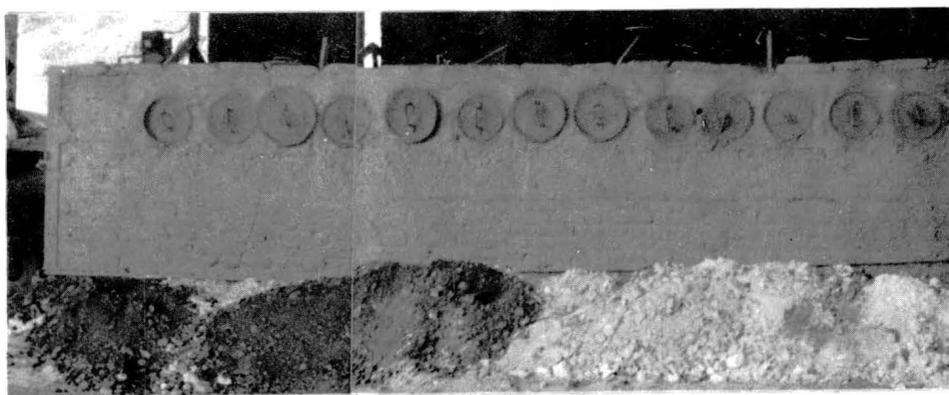
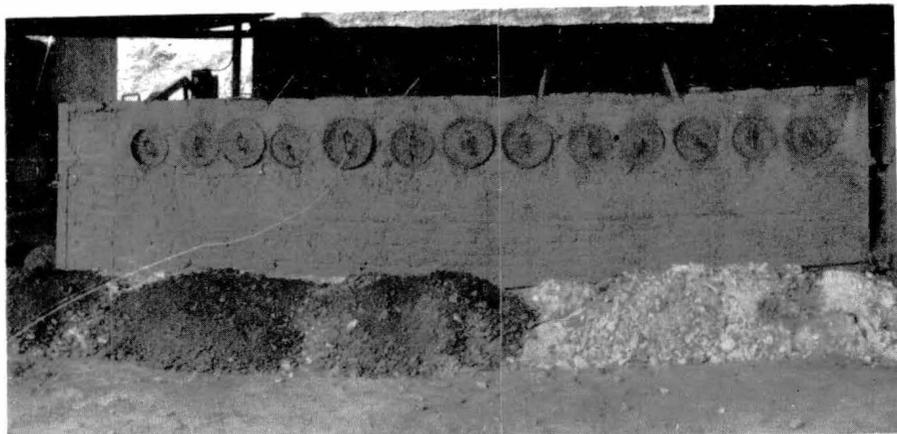
.El mercurio así obtenido se pesa, se envasa -
en frascos de 34.5 Kg. (Fig. 26) y se trans--
porta a los lugares de distribución.

Para darse una idea respecto a la riqueza del mine-
ral con el cual están trabajando, lo someten a lo -
que ellos llaman prueba de "Tentadura", la cual con
siste en lavar el mineral de cinabrio (Previamente
reducido de tamaño) en una vasija llena de agua. De
bido a la característica de insolubilidad del mine-
ral en el agua, este flota en su superficie. De es
te modo conocen la riqueza de su mineral, basados -
exclusivamente en su experiencia.

Como se pudo observar a lo largo de todo el pro
ceso, gran parte de las pruebas (como la de crudez y
la de tentadura) son producto del empirismo adquiri-
do durante la vida de trabajo, sin atender para nada
la explicación científica.

FIG. 17.- PROCESO DE PRODUCCION DE MERCURIO





Figs. 18 y 19 HORNO DE RETORTA-INTERMITENTE DE MERCURIO (2 VISTAS DE FRENTE). A UN LADO SE ENCUENTRA LA MEZCLA (CINABRIO-CaO), LISTA PARA SER CARGADA A LOS TUBOS DEL HORNO.



Fig. 20 HORNO DE RETORTA-INTERMITENTE DE MERCURIO VISTO DE LADO. EN EL ANGULO INFERIOR DERECHO SE PUEDE APRECIAR EL QUEMADOR.



Fig. 21 MEZCLA DE MINERAL DE MERCURIO (CINABRIO) CON OXIDO DE CALCIO (CaO).

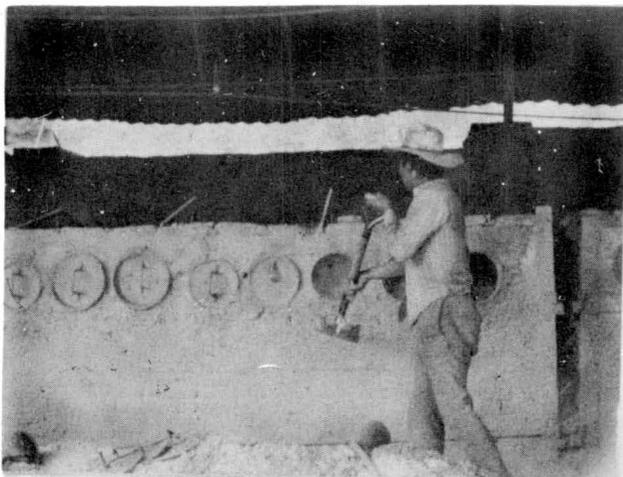


Fig. 22 LOS TUBOS DEL HORNO SE CARGAN CON LA MEZCLA RESULTANTE (CaO + CINABRIO) - PARA SER SOMETIDA A LA TOSTACION.

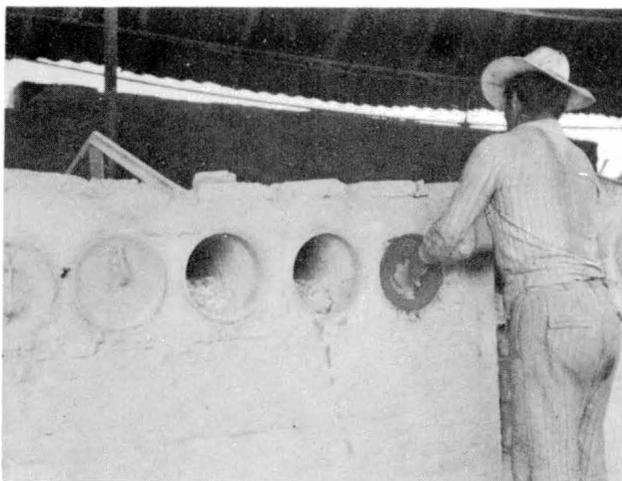


Fig. 23 SE SELLAN POR LAS ORILLAS LAS TAPADERAS DE LOS TUBOS CON LODO ARCILLOSO.

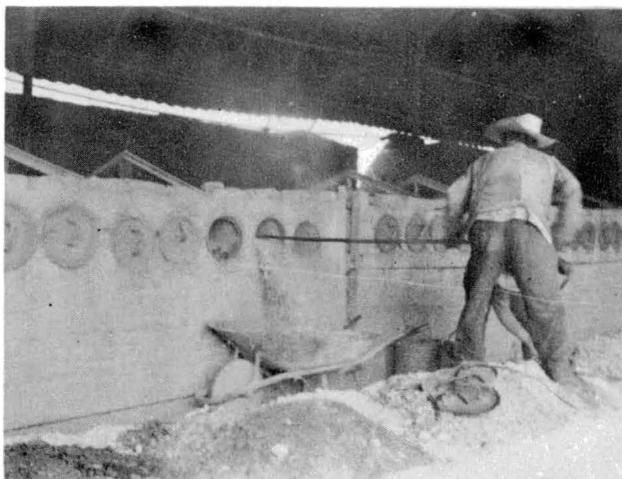


Fig. 24 DESPUES DE HABER SIDO SOMETIDO A LA TOSTACION DURANTE 10 HRS., EL MINERAL SE EXTRAE DE LOS TUBOS, SIENDO REEMPLAZADO POR UNA NUEVA CARGA.



Fig. 25 LA ACUMULACION DE MINERAL DE MERCURIO (CINABRIO) TOSTADO ES MUY NOTORIO COMO SE OBSERVA EN ESTA FIGURA. AUMENTA A LO LARGO DE LOS AÑOS.



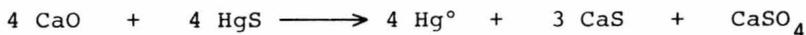
Fig. 26 ENVASADO FINAL DE MERCURIO, PARA
SU VENTA EN EL MERCADO. FRASCO
DE 34.5 KG.

12. CALCULOS ESTEQUEOMETRICOS

La presión de vapor del cinabrio es apenas perceptible a 300°C siendo este el límite inferior de temperatura para la desecación de las menas sin peligro de pérdida o de envenenamiento.

A las menas que contienen cantidades relativamente grandes de azufre por ir acompañadas de pirita, marcasita y estibinita, es conveniente añadir un fundente para ayudar a la oxidación del azufre. El fundente más adecuado es la Cal(CaO).

La descomposición de cinabrio se produce a 450° según la siguiente reacción:



CaO:

P.A. de Ca 40.0

P.A. de O 16.0

P.M. de CaO 56.0

4 CaO 224.0

HgS:

P.A. de Hg	200.59
P.A. de S	32.0
<u>P.M. de HgS</u>	<u>232.59</u>
4 HgS	930.36

Hg:

P.A. de Hg	200.59
4 Hg	802.36

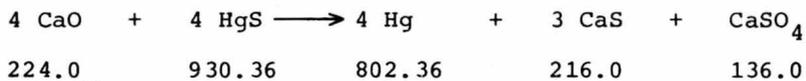
CaS:

P.A. de Ca	40.0
P.A. de S	32.0
<u>P.M. de CaS</u>	<u>72.00</u>
3 CaS	216.00

CaSO₄:

P.A. de Ca	40.0
P.A. de S	32.0
(4 P.A. de O)	64.0
<u>P.M. de CaSO₄</u>	<u>136.0</u>

La ecuación estequiométrica, expresando la relación de pesos moleculares en kilogramos, nos quedaría de esta forma:



BASE:

11.19 Kg. de Hg (obtenido por análisis de mineral después de la tostación).

CANTIDAD DE HgS:

Hg	HgS		
802.36	930.36		
11.19	x		x 12.85 Kg.

CANTIDAD DE CaO:

HgS	CaO		
930.36	224.0		
12.85	x		x 3.09 Kg.

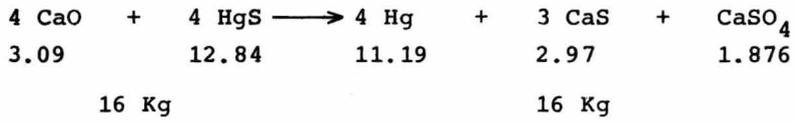
CANTIDAD DE CaS:

CaO	CaS		
224.0	216.0		
3.09	x		x 2.97 Kg.

CANTIDAD DE CaSO₄:

CaO	CaSO ₄		
224.0	136.0		
3.09	x		x 1.87 Kg.

Finalmente la ecuación estequiométrica nos quedaría:



13. ANALISIS PETROGRAFICO DEL MINERAL

El tipo de piedra usada comunmente en la tostación para la obtención del elemento mercurio, para este caso en particular, se conoce como roca de esquisto. Sometida al análisis antes y después de la tostación, dió la siguiente composición:

a) Antes de la tostación

Calcita	50 %
Grafito	47.36%
Cinabrio	2.64%

b) Después de la tostación

Calcita	51.13%
Grafito	48.44%
Cinabrio	0.418%

14. BALANCE DE MATERIA EN LA CAMARA DE TOSTACION

14.1 BALANCE PARCIAL: CALCULO DE AIRE EXISTENTE DENTRO DE LA CAMARA DE TOSTACION

VOLUMEN DENTRO DE LOS TUBOS DE 12":

$$V = A \times L$$

$$A = r^2 = 6.75 \text{ cm}^2$$

$$L = 1.46 \text{ cm}$$

$$V = 98630 \text{ cm}^3$$

$$V = 0.09863 \frac{\text{m}^3}{\text{tubo}}$$

VOLUMEN DE 13 TUBOS:

$$(0.09863 \frac{\text{m}^3}{\text{tubo}}) (13 \text{ tubos}) = 1.28 \text{ m}^3$$

DENSIDAD APARENTE DEL MINERAL:

$$\rho = 1.41 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1410 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

CANTIDAD DE MINERAL + OXIDO DE CALCIO POR CARGA:

502.0 Kg. de mineral

$\frac{50.0 \text{ Kg de CaO}}{552.0 \text{ Kg de mezcla}}$

VOLUMEN OCUPADO POR LA CARGA DENTRO DE LOS TUBOS:

$$\frac{M}{\rho} = \frac{552.0 \text{ Kg}}{1410 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.391 \text{ m}^3$$

VOLUMEN OCUPADO POR EL AIRE DENTRO DE LOS TUBOS:

$$(1.28 - 0.39) = 0.89 \text{ m}^3$$

COMPOSICION DEL AIRE:

	VOLUMEN %	PESO %	P.M.
N ₂	79.0	76.8	28.16
O ₂	21.0	23.2	32.0

VOLUMEN DE O₂:

$$(0.89 \text{ m}^3) (0.21) = 0.187089 \text{ m}^3$$

$$187.089 \text{ lt}$$

VOLUMEN DE N₂:

$$(0.89 \text{ m}^3) (0.79) = 0.703811 \text{ m}^3$$

$$703.811 \text{ lt}$$

MASA DE O₂:

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

donde: P = 1 atm

T = 293.15°K

V = 187.089 lt

R = 0.08205 $\frac{\text{lt atm}}{\text{gr-mol}^\circ\text{K}}$

$$n = \frac{(1 \text{ atm}) (187.089 \text{ lt})}{(0.08205 \frac{\text{lt atm}}{\text{gr-mol}^\circ\text{K}}) (293.15^\circ\text{K})}$$

$$n = 7.78 \text{ moles} \times 32 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} =$$

$$\text{MASA de O}_2 = 0.248 \text{ Kg.}$$

MASA DE N₂:

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{RT}{PV}$$

$$\text{donde: } P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 293.15^\circ\text{K}$$

$$V = 703.811 \text{ lt}$$

$$R = 0.08205 \frac{\text{lt} \cdot \text{atm}}{\text{gr mol}^\circ\text{K}}$$

$$n = \frac{(1 \text{ atm}) (703.811 \text{ lt})}{(0.08205 \frac{\text{lt atm}}{\text{gr-mol}^\circ\text{K}}) (293.15^\circ\text{K})}$$

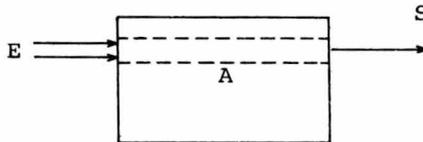
$$n = 29.2 \text{ moles} \times 28 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$$

$$\text{Masa de N}_2 = 0.817 \text{ Kg.}$$

RESUMIENDO:

	<u>VOLUMEN (lt)</u>	<u>MASA (Kg)</u>
O ₂	187.08	0.248
N ₂	<u>703.81</u>	<u>0.817</u>
	890.89	1.065

14.2 BALANCE TOTAL EN LA CAMARA DE TOSTACION



$$E = A + S$$

E = Entrada

A = Acumulación

S = Salida

I.- ENTRADA:

Se alimenta la mezcla a los tubos del horno, formada por mineral de cinabrio y óxido de calcio, mas - el aire que ocupa el espacio libre no ocupado por la mezcla.

a) 502.00 Kg. de mineral

Composición de Mineral: 50.0% de calcita
 47.36% de grafito
 2.64% de cinabrio

Calcita:

$$(502.00) (0.50) = 251 \text{ Kg.}$$

Grafito:

$$(502.00) (0.4736) = 237.74 \text{ Kg.}$$

Cinabrio:

$$(502.00) (0.0264) = 13.25 \text{ Kg.}$$

b) 50 Kg. de Óxido de calcio

c) 0.248 Kg. de Óxido

d) 0.817 Kg. de nitrógeno

II.- ACUMULACION O RESIDUO:

El análisis realizado sobre el mineral después de la tostación resultó con la siguiente composición:

a) 490.75 Kg. de mineral

Composición de Mineral: 51.13% de calcita
48.44% de grafito
0.418% de cinabrio

Calcita:

$$(490.75) (0.5113) = 250.92 \text{ Kg.}$$

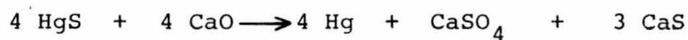
Grafito:

$$(490.75) (0.4844) = 237.71 \text{ Kg.}$$

Cinabrio:

$$(490.75) (0.00418) = 2.051 \text{ Kg.}$$

Atendiendo a la reacción química:



CaO que reaccionó con el HgS: 3.1 Kg.

CaO residual 50.0 - 3.1 = 46.9 Kg.

HgS residual = 2.95 Kg.

CaSO₄ residual = 1.91 Kg.

CaS residual = 2.95 Kg.

III.- SALIDA:

Oxígeno = 0.248 Kg.

Nitrógeno = 0.8172 Kg.

Mercurio = 11.1938 Kg.

El volumen ocupado por estos gases se obtiene usando la ley general de los gases ideales a T=900°C y P=1 atm.

GAS	MASA (Kg)	MOLES ($\frac{\text{Masa}}{\text{P.M.}}$)	VOLUMEN (m ³)	VOLUMEN (%)
O ₂	0.248	7.78	0.748	9.0
N ₂	0.8172	29.20	2.180	26.2
Hg	11.1938	55.80	5.370	64.7

COMPROBACION DEL BALANCE:

ENTRADA		=	ACUMULACION		+	SALIDA	
Calcita	250.96		Calcita	250,00			
Grafito	237.74		Grafito	237.71			
Cinabrio	13.25		Cinabrio	2.051		Mercurio	11.19
Oxido de calcio	50.00		Oxido de Calcio	46.9			
Oxigeno	0.248		Sulfato de Calcio	1.91		Oxigeno	0.248
Nitrogeno	0.817		Sulfato de Calcio	2.95		Nitrogeno	0.817
	<u>553.015</u>			<u>542.441</u>			<u>12.255</u>

$$553.015 \approx 554.69$$

15. BALANCE DE CALOR

15.1 CALENTAMIENTO DE LOS TUBOS:

Se cuenta con tubos de las siguientes características:

Diametro nominal	=	12"
Guesor de pared	=	0.562"
Diámetro exterior	=	12.75"
Diámetro interior	=	11.626"

Cantidad de fierro que se tiene:

Densidad del fierro fundido	=	$7.2 \frac{\text{gr}}{\text{cm}}$
Diámetro exterior	=	0.3217 m.
Diámetro interior	=	0.2933 m.
Longitud del tubo	=	1.46 m.

AREA:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi D^2}{4} (0.7854 \text{ m}) (0.3217 \text{ m})^2$$

$$A_1 = 0.08238 \text{ m}^2$$

$$A_1 = A_1 \times L = (0.08238 \text{ m}^2) (1.46 \text{ m})$$

$$V_1 = 0.1202 \text{ m}^3$$

VOLUMEN:

$$V = A \times L$$

$$A_2 = \frac{\pi D}{4} = (0.7854 \text{ m}) (0.2933 \text{ m})^2$$

$$A_2 = 0.06756 \text{ m}^2$$

$$V_2 = A_2 \times L = (0.06756 \text{ m}^2) (1.46 \text{ m})$$

$$V_2 = 0.09863 \text{ m}^3$$

$$V_1 - V_2 = (0.1202 - 0.09863) = 0.02157 \text{ m}^3$$

Como son 13 tubos:

$$(0.02157 \text{ m}^3) (13) = 0.28041 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{M}{V} ; M = \rho V$$

$$M = 7.2 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{1\,000\,000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \times 0.28041 \text{ m}^3$$

$$M = 2018.95 \text{ Kg}$$

Cp del fierro fundido: $C_p = 4.13 + 0.00638 T$

Rango: $273^\circ\text{K} - 1041^\circ\text{K}$

Unidades: $\frac{\text{Caloria}}{\text{gr-mol.}}$

$$\Delta H = C_p dT$$

$$\Delta H = (4.13 + 0.00638 T) dT$$

$$\int \Delta H = \int 4.13 dT + \int 0.00638 T dT$$

$$H = 4.13 (T_2 - T_1) + 0.00638 \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right)$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C} = 273.15 + 20 = 293.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 900^\circ\text{C} = 273.15 + 900 = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$H = 4.13 (1173.15 - 293.15) + \frac{0.00623}{2} [(1173.15)^2 - (293.15)^2]$$

$$H = 7654 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$H = 7654 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-mol}}$$

Peso atómico del fierro = 55.85

$$\frac{\text{Masa en Kg}}{1 \text{ Kg/Kg-mol}} = \frac{2018.95}{55.85} = 36.14 \text{ Kg-mol de fierro}$$

$$Q = MH$$

$$Q = (36.14 \text{ Kg-mol}) \left(7.654 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-mol}} \right) = 276 \text{ 681 Kcal}$$

$$Q = 276 \text{ 681 Kcal}$$

15.2 CALENTAMIENTO DEL MINERAL:

Se compone de dos partes: Calentamiento de la materia inerte y calentamiento del sulfuro de mercurio.

15.2.1 MATERIA INERTE:

Cantidad de materia inerte:

502.00 Kg de mineral
50.00 Kg. de Óxido de calcio

El mineral tiene la siguiente composición:

50.00% de calcita
47.3 % de grafito
2.64% de cinabrio

Calcita: (502.0) (0.50) = 251.0 Kg.
Grafito: (502.0) (0.473) = 237.44 Kg
Cinabrio: (502.0) (0.0264) = 13.25 Kg
Oxido de calcio: 50.00 Kg.

CALCITA:

Cp de la calcita: $C_p = 19.68 + 0.01189T - \frac{307600}{T^2}$

Rango: 273°K - 1033°K

Estado: cristal

$$\Delta H = C_p dT$$

$$\Delta H = \left(19.68 + 0.01189 T - \frac{307600}{T^2} \right) dT$$

$$\int \Delta H = \int 19.68 dT + \int 0.01189 dT - \int \frac{307600}{T^2} dT$$

$$H = 19.68 (T_2 - T_1) + 0.01189 \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right) - 307600 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$T_1 = 293.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1173.15^\circ\text{K}$$

Substituyendo y haciendo operaciones, nos quedaría:

$$H = 24198.62 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$H = 24.198 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}}$$

Peso molecular de la calcita (CaCO_3): 100

$$Q = MH$$

$$Q = (251 \text{ Kg}) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{\text{gr-mol}}{100 \text{ gr}} \right) (24.198 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}})$$

$$Q = 60736.9 \text{ Kcal}$$

GRAFITO:

$$\text{Cp del grafito : } \text{Cp} = 2.673 + 0.002617T - \frac{116900}{T^2}$$

Rango : $273^\circ\text{K} - 1373^\circ\text{K}$

Estado : cristal

$$\Delta H = Cp dT$$

$$\Delta H = (2.673 + 0.002617 T - \frac{116900}{T^2}) dT$$

$$H = 2.673 (T_2 - T_1) + 0.002617 \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right) - 16900 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$T_1 = 293.15^\circ K$$

$$T_2 = 1173.15^\circ K$$

$$H = 3742.56 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$H = 3.742 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}}$$

Peso atómico del grafito (C) : 12

$$Q = MH$$

$$Q = (237.44 \text{ Kg}) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{12 \text{ gr}} \right) (3.742 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}})$$

$$Q = 74052.78 \text{ Kcal}$$

Oxido de calcio:

$$\text{Cp del óxido de calcio: } Cp = 10.00 + 0.00484T - \frac{108000}{T^2}$$

Rango: 273°K-1173°K

Estado: cristal

$$\Delta H = Cp dT$$

$$\Delta H = (10.00 + 0.00484T - \frac{108000}{T^2}) dT$$

$$\int \Delta H = \int 10.00 dT + \int 0.00484 T dT - \int \frac{108000}{T^2} dT$$

$$H = 10.00 (T_2 - T_1) + 0.00484 \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right) - 16900 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$T_1 = 293.15^\circ K$$

$$T_2 = 1173.15^\circ K$$

$$H = 15320.66 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$H = 15.32 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}}$$

Peso molecular del óxido de calcio (CaO): 56.08

$$Q = MH$$

$$Q = (50 \text{ Kg}) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{56.08 \text{ gr}} \right) \left(15.32 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}} \right)$$

$$Q = 13659.6 \text{ Kcal}$$

15.2.2 CALENTAMIENTO DEL SULFURO DE MERCURIO;

La temperatura de sublimación del sulfato es de 446°C (739.15°K).

Su calentamiento constará de tres etapas:

- a) Calentamiento del sólido desde 20°C (293.15°K)
hasta 446°C (719.15°K).
- b) Calentamiento de los vapores de 446°C (719.15°K)
hasta 900°C. (1193.15°K)
- a) Calentamiento del sólido desde 293.15°K hasta
719.15°K.

Cp del sulfuro de mercurio: $C_p = 10.9 + 0.00365T$
Rango: 273°K - 853°K
Estado: cristal

$$\Delta H = C_p dT$$

$$\Delta H = (10.9 + 0.00365T) dT$$

$$\int \Delta H = \int 10.9 dT + \int 0.00365 T dT$$

$$H = 10.9 (T_2 - T_1) + 0.00365 \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right)$$

$$H = 5430.41 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$H = 5.43 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}}$$

Peso molecular del sulfuro de mercurio (HgS): 232.59

$$Q = MH$$

$$Q = (13.25 \text{ Kg}) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{232.59 \text{ gr}} \right) \left(5.43 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}} \right)$$

$$Q = 309.355 \text{ Kcal}$$

b) Calor latente de sublimación

$$\lambda = 14\,900 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$Q = \lambda M$$

$$Q = (14\,900 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{232.59 \text{ gr}} \right) (13.25 \text{ Kg}) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right)$$

$$Q = 846953.25 \text{ cal}$$

$$Q = 846.956 \text{ Kcal}$$

c) Calentamiento de los vapores desde 719.15°K hasta 1173.15°K

$$\text{Cp del mercurio gaseoso: } C_p = 4.97 \frac{\text{cal}}{\text{K mol}}$$

$$Q = MC_p dT$$

$$Q = (11.19 \text{ Kg}) \left(4.97 \frac{\text{cal}}{\text{K gr-mol}} \right) (1173.15 - 719.15) \text{°K} \left(\frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ gr mol}}{200.59 \text{ gr}} \right)$$

$$Q = 125906.8 \text{ cal}$$

$$Q = 125.906 \text{ Kcal}$$

El calor de calentamiento total será:

$$Q_T = 309.35 + 846.95 + 125.90$$

$$Q_T = 1282.2 \text{ Kcal}$$

15.2.3 CALOR DE REACCION:

Se puede obtener por medio de los calores de formación. Los resultados obtenidos serán corregidos -- por temperatura, puesto que los calores de forma--- ción estan dados a 25°C y la reacción se verifica - en la realidad a una temperatura de 900°C.

La corrección por temperatura se llevará a cabo en tres pasos:

- a) Enfriar los reactivos desde 900°C (1173°K) hasta 25°C (298°K).
- b) Efectuar la reacción a 25°C (298°K)
- c) Calentar los productos desde 25°C (298.15°K) - - hasta 900°C (1173°K).

a) Enfriar los reactivos desde 1173.15°K hasta 298.15°K:

Los reactivos son el sulfuro de mercurio y el óxido de calcio. Para simplificar los cálculos se usan capacidades caloríficas medias.

SULFURO DE MERCURIO:

$$C_{p_m} \text{ del sulfuro de mercurio: } C_{p_m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} C_p dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (10.9 + 0.00365T) dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = \frac{10.9 (T_2 - T_1) + 0.00365 \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right)}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = 10.9 + \frac{0.00365}{2} (T_2 + T_1)$$

$$T_1 = 298.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$C_p = 12.49 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{K gr-mol}}$$

$$Q = MCp\Delta T$$

$$Q = (13.35 \text{ Kg}) \left(12.49 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{K gr-mol}}\right) (1173.15 - 298.15) ^{\circ}\text{K} \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}}\right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{232.52 \text{ gr}}\right)$$

$$Q = 622.767 \text{ Kcal}$$

A este calor se le agrega el calor de sublimación del sulfuro de mercurio:

$$\lambda = 14\,900 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$q = \lambda M$$

$$q = (13.25 \text{ Kg}) \left(14\,900 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}\right) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}}\right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{232.52 \text{ gr}}\right)$$

$$q = 849066.75 \text{ cal}$$

$$q = 849.06 \text{ Kcal}$$

La suma de los dos calores nos dará:

$$Q - q = 622.767 - 849.06$$

$$Q - q = 1471.83 \text{ Kcal}$$

OXIDO DE CALCIO:

$$C_{p_m} \text{ del óxido de calcio: } C_{p_m} = \frac{C_p dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = \frac{10 (T_2 - T_1) - 0.00484 \left(\frac{T_2^1 - T_1^2}{2} \right) - 10800 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = 10.0 - \frac{0.00484}{2} (T_2 - T_1) - \frac{10800}{T_2 - T_1} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$T_1 = 298.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$C_{p_m} = 12.08 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{K gr-mol}}$$

$$Q = MC_p dT$$

$$Q = (3.09 \text{ Kg}) \left(12.08 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{K gr-mol}} \right) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ gr mol}}{56 \text{ gr}} \right) (1173.15 - 298.15) ^\circ\text{K}$$

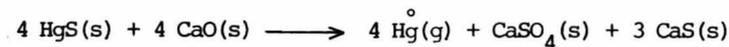
$$Q = 583.237 \text{ Kcal}$$

Calor total en el primer paso:

$$Q = 1471.83 - 583.27$$

$$Q = 2055.10 \text{ Kcal}$$

b) Efectuar la reacción a 25°C (298.15°K)



Los calores de formación a 25°C (298.15°K)

$$\text{HgS (s)} = -10.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$\text{CaO (s)} = -151.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$\text{Hg (g)} = 0$$

$$\text{CaSO}_4(\text{s}) = -338.73 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$\text{CaS(s)} = -114.3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_{f25^\circ\text{C}} = [\Delta H_{\text{productos}} - \Delta H_{\text{reactivos}}]$$

$$H_{f25^\circ\text{C}} = [4 \Delta H_{f \text{Hg}} - \Delta H_{f \text{CaSO}_4} - 3 \Delta H_{f \text{CaS}}] - [4 H_{f \text{HgS}} - H_{f \text{CaO}}]$$

$$H_{f25^\circ\text{C}} = [4 (0) - (-338.73) - 3(-114.3)] - [4(-10.7) - 4(151.7)]$$

$$H_{f25^\circ\text{C}} = (-681.63) - (-681.63)$$

$$H = -681.63 + 681.63$$

$$H = 0$$

c) Calentar los productos desde 25°C (298.15°K) hasta 900°C (1173.15°K)

Los productos son: mercurio, sulfato de calcio y sulfuro de calcio.

MERCURIO:

Punto de ebullición = 357.25 °C (630.4°K)

$$C_{p_{\text{Hg}}} \text{ líquido} = 6.61 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{K mol}}$$

$$C_{p_{\text{Hg}}} \text{ gaseoso} = 4.97 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{K mol}}$$

$$\text{Calor latente de Vaporización} = 13\,980 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

Calentamiento del mercurio desde 25°C (298.15°K) hasta su temperatura de ebullición 357.25°C (630.4°K)

$$Q = MC_p dT$$

$$Q = (11.193 \text{ Kg}) \left(6.61 \frac{\text{cal}}{\text{K gr-mol}} \right) (630.4 - 298.15) \text{K} \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{200.59 \text{ gr}} \right)$$

$$Q = 122.556 \text{ cal}$$

$$Q = 122.556 \text{ Kcal}$$

Calor latente de vaporación del mercurio

$$\lambda = 13,900 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$Q = \lambda M$$

$$Q = (13,900 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}) (11.193 \text{ Kg}) (\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}}) (\frac{1 \text{ gr-mol}}{200.59 \text{ gr}})$$

$$Q = 780145.1 \text{ calorías}$$

$$Q = 780.145 \text{ Kcal}$$

Los vapores de mercurio se calientan desde su punto de ebullición.

357.25°C (630.4°K) hasta 900°C (1173.15°K)

$$C_{p_{\text{Hg}}} \text{ gaseoso} = 4.97 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{K gr-mol}}$$

$$Q = MC_{p}dT$$

$$Q = (11.195 \text{ Kg}) (\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}}) (\frac{1 \text{ gr-mol}}{200.59 \text{ gr}}) (4.97 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{K gr-mol}}) (1173.15 - 630.4)^{\circ}\text{K}$$

$$Q = 248226.23 \text{ cal}$$

$$Q = 248.226 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor empleada para calentar el mercurio desde 298.15 °K hasta 1173.15°K es igual a la suma de los tres calores anteriores.

$$Q = 122.256 + 780.145 + 248.226$$

$$Q = 1150.92 \text{ Kcal}$$

Calentamiento del sulfato de calcio desde 298.15 hasta 1173.15°K

$$C_{p_m} \text{ del sulfato de calcio: } C_{p_m} \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_p = \frac{18.52(T_2 - T_1) + \frac{0.02197}{2}(T_2^2 - T_1^2) + 156800\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = 18.52 + \frac{0.02197}{2}(T_2 - T_1) + \frac{156800}{(T_2 - T_1)}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$T_1 = 298.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$C_{p_m} = 3.2 \frac{\text{cal}}{\text{K gr-mol}}$$

Peso molecular del sulfato de calcio (CaSO_4) = 136.08

Cantidad de CaSO_4 obtenida = 1.876 Kg.

$$Q = M c_p dT$$

$$Q = (1.876 \text{ Kg}) \left(32 \frac{\text{cal}}{\text{K gr-mol}}\right) \left(\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}}\right) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{136.08 \text{ gr}}\right) (1173.15 - 298.15) \text{ K}$$

$$Q = 386008.22 \text{ cal}$$

$$Q = 386 \text{ Kcal}$$

Calentamiento del CaS desde 298.15°K hasta 1173.15°K

$$C_p \text{ del sulfato de calcio : } C_p = 0.157 \frac{\text{cal}}{\text{gr-K}}$$

$$\text{Cantidad de CaS obtenida} = 2.97 \text{ Kg}$$

$$Q = MC_p dT$$

$$Q = (2.97 \text{ Kg}) (0.157 \frac{\text{cal}}{\text{gr-K}}) (1173.15 - 298.15) \text{ } ^\circ\text{K} (\frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ Kg}})$$

$$Q = 408 \text{ K cal}$$

El calor total en los productos será igual a:

$$Q = 1150.92 + 386.0 + 408$$

$$Q = 1944.92 \text{ Kcal}$$

Finalmente el calor de reacción a 900°K (1173.15°K) será igual a:

$$Q_{\text{reaccion total}} = \sum \Delta H_{\text{productos}} - \sum \Delta H_{\text{reactivos}} - \sum \Delta H_{\text{reacción}} (25^\circ\text{C})$$

$$H_{\text{productos}} = 1944.92 \text{ Kcal}$$

$$H_{\text{reactivos}} = 2055.10 \text{ Kcal}$$

$$H_{\text{reacción}} (25^\circ\text{C}) = 0$$

$$Q_{\text{reacción total}} = 1944.92 - 2055.10 + 0$$

$$Q_{\text{reacción total}} = -110.18 \text{ Kcal}$$

15.3 CALENTAMIENTO DEL AIRE:

	Masa (Kg)	Moles ($\frac{\text{Masa}}{\text{P.M.}}$)
O ₂	0.248	7.75
N ₂	0.8172	29.18
Aire	1.065	36.93

$$C_p \text{ del aire: } C_p = 6.386 + 1.762 \times 10^{-3} T + 0.2656 T^2$$

Rango: 300 K - 1500 K

$$\Delta H = C_p dT$$

$$\int \Delta H = \int (6.386 - 1.762 \times 10^{-3} T - 0.2656 T^2) dT$$

$$H = 6.38 (T_2 - T_1) - 1.762 \times 10^{-3} \left(\frac{T_2^2 - T_1^2}{2} \right) - 0.2656 \left(\frac{T_2^3 - T_1^3}{3} \right)$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C} = 293.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 900^\circ\text{C} = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$H = 6621.45 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$$

$$Q = MH$$

$$Q = (1065 \text{ gr}) \left(\frac{1 \text{ gr-mol}}{29 \text{ gr}} \right) (6621.45 \frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}})$$

$$Q = 243167.0 \text{ cal}$$

$$Q = 243.167 \text{ Kcal}$$

15.4 RESUMEN DEL BALANCE DE CALOR:

1) Calentamiento de los tubos	276 681.00 Kcal
2) Calentamiento del mineral:	
.Calcita	60 736.90 Kcal
.Grafito	74 052.78 Kcal
.Oxido de calcio	13 659.60 Kcal
.Cinabrio	1 282.20 Kcal
3) Calor de reacción	- 110.18 Kcal
4) Calentamiento del aire	243.167 Kcal
CALOR TOTAL EN LA TOSTACION	426 655.64 Kcal

16. CONDENSACION

Al condensador entran los siguientes gases :

	<u>% Vol.</u>	<u>Masa (Kg)</u>	<u>Moles</u>
Mercurio	50.4	37.63	7.55
Oxígeno	10.4	7.78	0.248
Nitrógeno	39.1	29.20	0.817

a una $T = 1173.15 \text{ K}$ y con un volúmen de 7.182 M^3

16.1 ENFRIAMIENTO DEL MERCURIO

$$T_{\text{final del proceso}} = 40^\circ\text{C} = 313.15^\circ\text{K}$$

El enfriamiento se efectuará en tres pasos :

- I) Enfriamiento del vapor de mercurio
- II) Condensación del vapor de mercurio
- III) Enfriamiento del mercurio líquido

I. ENFRIAMIENTO DEL VAPOR DE MERCURIO

$$\text{Punto de ebullición del mercurio} = 357.25^\circ\text{C} =$$

$$= 630.40^{\circ}\text{K}.$$

El enfriamiento del vapor se hará desde 900°C (1173.15°K) hasta 357.25°C (630.49°K).

$$Q = MC_p dT$$

$$Q = (37.63 \text{ mol}) \left(4.97 \frac{\text{cal}}{\text{Kg-mol}}\right) (1173.15 - 630.40)$$

$$Q = 101\,505.7 \text{ cal}$$

$$Q = 101.5 \text{ Kcal}$$

II. CONDENSACION DEL VAPOR DE MERCURIO

$$\text{Calor latente de condensación} = 13\,980 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$Q = M (\text{moles}) \lambda \left(\frac{\text{cal}}{\text{mol}}\right)$$

$$Q = (37.63 \text{ mol}) \left(13980 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}\right)$$

$$Q = 526\,067.4 \text{ cal}$$

$$Q = 526.06 \text{ Kcal}$$

III. ENFRIAMIENTO DEL MERCURIO

El enfriamiento del mercurio líquido se hará desde 357.25°C (630.4°K) hasta 40°C (313.15°K).

El Cp del mercurio líquido : $C_p = 6.01 \frac{\text{cal}}{\text{K mol}}$

$$Q = MC_p dT$$

$$Q = (37.63 \text{ mol}) \left(6.01 \frac{\text{cal}}{\text{K mol}} \right) (630.40 - 313.15)$$

$$Q = 71\,748 \text{ cal}$$

$$Q = 71.748 \text{ Kcal}$$

El calor total para el enfriamiento será igual a

$$Q = 101.5 + 526.06 + 71.748$$

$$Q = 699.308 \text{ Kcal}$$

16.2 ENFRIAMIENTO DE OXIGENO

Cp del oxígeno: $C_p = 8.27 + 0.000258 T - \frac{187700}{T^2}$

Rango de temperatura : 300 - 5000°K

$$\Delta H = C_p dT$$

$$\int \Delta H = 8.27 dT + \int 0.000258 T dT - \int \frac{187700}{T^2} dT$$

$$H = 8.27 (T_2 - T_1) + \frac{0.000258}{2} (T_2^2 - T_1^2) - 187700 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$T_1 = 313.15^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$H = 6837 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$Q = MH$$

$$Q = (7.78 \text{ moles}) \left(6837 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right)$$

$$Q = 53,191 \text{ cal}$$

$$Q = 53.191 \text{ Kcal}$$

16.3 ENFRIAMIENTO DEL NITROGENO

Cp del nitrógeno: $C_p = 6.50 - 0.001 T$

Rango de temperatura : 300 - 3000°K

$$\Delta H = C_p dT$$

$$\int \Delta H = \int 6.5 dT + \int 0.001 T dT$$

$$H = 6.5 (T_2 - T_1) + \frac{0.001}{2} (T_2^2 - T_1^2)$$

$$T = 313.15^\circ\text{K}$$

$$T = 1173.15^\circ\text{K}$$

$$H = 6229.1 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$Q = M H$$

$$Q = (29.2 \text{ mol}) \left(6229.1 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right)$$

$$Q = 84\,021.24 \text{ cal}$$

$$Q = 84.02 \text{ Kcal}$$

El calor desprendido durante la condensación es ---
igual a la suma de los tres calores anteriores.

$$Q_{\text{total}} = 699.308 + 53.19 + 84.02$$

$$Q_{\text{total}} = 836.51 \text{ Kcal en 10 horas}$$

17. CALCULO DEL AREA DEL CONDENSADOR

Se calculará el área teórica del condensador - considerando que se usaría un sistema de condensación utilizado en una gran mayoría de los hornos usados - en la actualidad. Estos sistemas de condensación - son tubos de 2 pulgadas de diámetro de fierro. Esto es con el fin de hacer una comparación entre el área real, usada actualmente y el área teórica necesaria.

ENTRADA AL CONDENSADOR :

Gases no condensables

	<u>Moles</u>	<u>Masa (Kg)</u>	<u>% Vol</u>
O ₂	7.78	0.248	10.4
N ₂	29.80	0.8172	39.1
Total	37.58	1.065	100.0

Tiempo de operación 10 horas.

$$\frac{1.062 \text{ Kg}}{10 \text{ Hr}} = 0.106 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}}$$

Vapor de mercurio

	<u>Moles</u>	<u>Masa (Kg)</u>	<u>% Vol</u>
Hg	37.63	50.5	7.25

Tiempo de operación 10 horas

$$\frac{7.25 \text{ Kg}}{10 \text{ Hr}} = 0.725 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}}$$

Calor total desprendido durante la condensación -
836.51 Kcal.

En el condensador se tienen tres resistencias a la transferencia de calor :

1. La película que se forma al circular el aire fuera de los tubos.
2. Película que forman los gases no condensables.
3. Película que forma el vapor condensado.

17.1 PELICULA QUE SE FORMA AL CIRCULAR
EL AIRE FUERA DE LOS TUBOS

$$h = h_o \times F_t \times F_p$$

$$h = \text{coeficiente de película} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \right)$$

h_o = valor básico del coeficiente de película

F_t = factor de corrección por temperatura

F_p = factor de corrección por presión

$$\Delta T = 900 - 357.25 = 542.75$$

$$h_o = 1.7 \frac{\text{BTU}}{\text{ft hr F}} \quad (\text{fig. 34, Stovern})$$

$$T_{\text{promedio}} = \frac{900 - 357.25}{2} = 628.62^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{promedio}} = 628.62^\circ\text{C} = 1163.51^\circ\text{F}$$

$$F_t = 0.52 \quad (\text{tabla 32, Stovern})$$

$$F_p = 1.57 \quad (\text{tabla 33, Stovern})$$

$$h = 1.7 \times 0.52 \times 1.57$$

$$h = 1.38 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft F}}$$

17.2 PELICULA QUE FORMAN LOS GASES
NO CONDENSABLES

Ecuación de Dittos - Boelter

$$N_{uf} = 0.023 F_{ef}^{0.8}$$

Considerando las propiedades del fluido a la temperatura de un punto de su masa suficiente alejado de la superficie de enfriamiento, en donde el gradiente es nulo, la ecuación se transforma en :

$$N_u = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3}$$

Para el enfriamiento de fluidos en el caso de los gases, como el Pr es prácticamente constante, e igual a 0.74 se puede emplear la ecuación :

$$Nu = 0.021 Re^{0.8}$$

$$h = 0.021 K \frac{G^{0.8}}{D^{0.2} \mu^{0.8}}$$

h = coeficiente de transferencia de calor

G = gasto

D = diámetro interior

K = conductividad térmica

μ = viscosidad

Area transversal del tubo = 0.0233 ft^2

$$W = 0.234 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$G = \frac{W \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}}\right)}{A(\text{ft}^2)}$$

$$G = \frac{0.234}{0.0233} = 10 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}$$

$$(G)^{0.8} = (10)^{0.8}$$

$$(G)^{0.8} = 6.3$$

Diámetro nominal = 2"

Diámetro interior = 2.062" (Pág. B-16 CRANE)

Diámetro interior = 0.172 ft

$$(D)^{0.2} = (10.1772)^{0.2}$$

$$(D)^{0.2} = 0.704$$

μ (Viscosidad) (tabla A-13 OCON-Tojo)

$$\mu \text{ nitrógeno} = 0.1185 \frac{\text{lb}}{\text{ft hr}}$$

$$\mu \text{ oxígeno} = 0.125 \frac{\text{lb}}{\text{ft hr}}$$

μ promedio :

	Kg	% X	μ X			
O ₂	0.24	22.7	0.175	(0.125)	(0.227)	0.0283
N ₂	0.81	77.3	0.1185	(0.1185)	(0.773)	<u>0.0916</u>
						0.1199

$$(\mu)^{0.8} = (0.1199)^{0.8}$$

$$(\mu)^{0.8} = 0.842$$

K (conductividad térmica)

$$K_{N_2} = 0.0416 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \frac{^\circ\text{F}}{\text{ft}}} \quad \text{a } 1173^\circ\text{K}$$

$$K_{O_2} = 0.0397 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \frac{^\circ\text{F}}{\text{ft}}} \quad \text{a } 1173^\circ\text{K}$$

$$K_{\text{promedio}} = \frac{0.0416 + 0.0397}{2}$$

$$K_{\text{promedio}} = 0.0406 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \frac{^\circ\text{F}}{\text{ft}}}$$

Finalmente la ecuación nos quedaría :

$$h = (0.021 (0.0406) \frac{(6.3)}{(0.704) (0.842)})$$

$$h = 0.01 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

17.3 PELICULA QUE FORMA EL VAPOR CONDENSADO

$$h = 1.18 \left(\frac{K^3 \rho}{\mu \Lambda} g \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h = \text{coeficiente de transferencia de masa} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \right)$$

$$K = \text{conductividad térmica} \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \frac{\text{°F}}{\text{ft}}}$$

$$\Lambda = \frac{W}{b}$$

W = velocidad básica de flujo de condensado

b = perímetro del tubo medido normal al flujo

D = diámetro exterior del tubo

ρ = densidad del líquido

μ = viscosidad

g = aceleración de la gravedad

$$K = 5.5 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \frac{\text{°F}}{\text{ft}}}$$

$$K^3 = (5.5)^3$$

$$K^3 = 166.37$$

$$W = 1.59$$

$$b = 11 D_2$$

$$b = 11 (0.197)$$

$$b = 0.618 \text{ ft}$$

$$\Lambda = \frac{W}{b}$$

$$\Lambda = \frac{1.59}{0.197}$$

$$\Lambda = 8.07 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}$$

$$\mu_T = 357.2^\circ\text{C} = 1.816 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}}$$

$$\rho_T 357.2^\circ\text{C} = 7.94 \times 10^2 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$g = 4.18 \times 10^8 \frac{\text{ft}}{\text{hr}^2}$$

finalmente nos quedaría :

$$h = 1.18 \left(\frac{(1.66.375) (63.04 \times 10^4) (4.18 \times 10^8)}{(1.814) (9.07)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h = 169\,000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ F}}$$

17.4 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL SERIA :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h} \text{ gases no condensables} + \frac{1}{h} \text{ aire fuera de los tubos} + \frac{1}{h} \text{ vapor condensado}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0.01} + \frac{1}{1.38} + \frac{1}{169000}$$

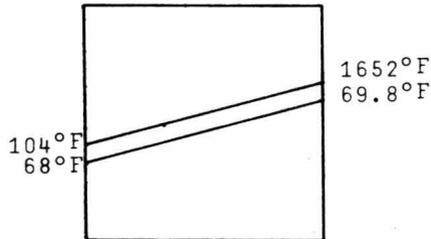
$$\frac{1}{U} = 100.72$$

$$U = 0.01 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ F}}$$

$$Q = U T_{ml} A$$

Donde T_{m1} :

17.5 TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA



$$T_{m1} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{2.3 \log \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$T_2 = 1652 - 69.8 = 1582.2^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 104 - 68 = 36^\circ\text{F}$$

$$T_{m1} = \frac{1582.2 - 36}{2.3 \log \frac{1582.2}{36}}$$

$$T_{m1} = 410^\circ\text{F}$$

$$Q = 331.94$$

$$U = 0.01 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ F}}$$

17.6 AREA TEORICA

Despejando A de $Q = U T_{m1} A$

$$A = \frac{Q}{U T_{ml}}$$

$$A = \frac{331.94}{(410)(0.01)}$$

$$A = 92.84 \text{ ft}^2$$

$$\text{Area de un tubo de 2"} = 0.618 \left(\frac{\text{ft}^2}{\text{ft}} \right)$$

17.7 EL AREA QUE OCUPA REALMENTE EL CUARTO DE CONDENSACION ES IGUAL A

$$576.04 \text{ ft}^2$$

17.8 LA RELACION DEL AREA REAL AL AREA TEORICA CALCULADA SERIA:

$$\frac{576.04 \text{ ft}^2}{92.84 \text{ ft}^2} = 6.2$$

18. PERDIDAS DE CALOR

18.1 OBTENCION DE LA TEMPERATURA INTERNA DEL HORNO.

Para la obtención de la temperatura interna del horno se usa la ecuación de Stefan-Boltzman:

$$q = 0.173 \times 10^{-8} e A (T_1^4 - T_2^4)$$

Como en nuestro caso el flujo va hacia dentro de los tubos, se invierten los signos de las temperaturas:

$$q = 0.173 \times 10^{-8} e A (T_2^4 - T_1^4)$$

Donde:

e = emisividad del fierro a $T = T_{1800}^{\circ}\text{F}$

$e = 0.70$

A = área del tubo de 12" de 4.78 ft de largo (1.46 m)

$$A = 3.338 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}}$$

$$A_{\text{total}} = \left(3.338 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}} \right) (4.78 \text{ ft})$$

$$A_{\text{total}} = 15.95 \text{ ft}^2$$

q = cantidad de calor

La cantidad de calor dada a cada uno de los tubos:

$$q = \frac{426\ 655.64}{13}$$

$$q = 32\ 819.66 \text{ Kcal}$$

$$q = 130\ 236.76 \text{ Btu}$$

$$T_1 = 900^\circ\text{C} = 1652^\circ\text{F}$$

$$T_2 = X$$

Dejando T_2^4 de la ecuación de Stefan-Boltzman:

$$T_2^4 = \frac{q}{0.173 \times 10^{-8} \text{ e A}} + T_1^4$$

$$T_2^4 = \frac{130\ 236.76 \text{ BTU}}{0.173 \times 10^{-8} \cdot 0.7 \times 15.95} + (1652)^4$$

$$T_2^4 = 6.7426 \times 10^{12} + 7.44 \times 10^{12}$$

$$T_2^4 = 13.866 \times 10^{12}$$

$$T_2 = 1930^\circ\text{F} = (1054.4^\circ\text{C})$$

18.2 PERDIDAS POR RADIACION: (Calor perdido por la -
mirilla o abertura de observación).

$$T_{\text{dentro del horno}} = 1930^{\circ}\text{F} \quad (\text{Sup. 1})$$

$$T_{\text{alrededor}} = 68^{\circ}\text{F} \quad (\text{Sup. 2})$$

$$\text{Gruesor de pared} = 6.25''$$

Usaremos la ecuación 11 del Stovern:

$$q = hr e_1 e_2 A_1 (T_1 - T_2) F_A$$

donde:

hr = velocidad neta de transferencia de calor por radiación de la Sup.1 a la Sup.2 $\frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \text{ hr}^{\circ}\text{F}}$

F_A = fracción de la radiación total de la Sup.1 que que llega a la Sup.2 determinado para varios t_i pos de superficies.

e_1 = emisividad de Sup.1

e_2 = emisividad de la Sup.2

A_1 = área de la mirilla

$$hr = 28 (T_1=1930^\circ F, T_2=68^\circ F) \text{ (Fig.10, Stoverm)}$$

$$F_A = 0.72 \left(\frac{\text{diámetro}}{\text{gruesor de pared}} = \frac{7.87}{6.25} = 1.26 \right) \text{ (Fig.11,12 Stoverm)}$$

Como nada de la radiación sobre cualquiera de los cuadrados es reflejada, estas superficies imaginarias son equivalentes a los cuerpos negros y tienen emisividad igual a 1:

$$e_1 = 1, \quad e_2 = 1$$

$$A_1 = 0.154 \text{ ft}^2$$

La ecuación nos quedaría finalmente:

$$q = (28) (1) (1) (0.154) (1930-68) (0.72)$$

$$q = 5536.843 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

El proceso dura 10 horas:

$$q = 5536.8432 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times 10 \text{ hr}$$

$$q = 55368.432 \text{ BTU}$$

18.3 PERDIDAS POR CONDUCCION:

Se usa ladrillo de arcilla con una conductividad -
térmica:

$$K = 0.48 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \text{ hr } \frac{\text{F}}{\text{ft}}}$$

El emplaste es de arcilla con una conductividad --
térmica:

$$K = 0.049 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \text{ hr F}}$$

Gruesor de Pared: X_1

Gruesor de Emplaste: X_2

a) Pérdidas por la pared frontal y posterior del horno:

PARED FRONTAL

$$q_1 = A_1 \frac{T_1 - T_2}{\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2}}$$

$$A_1 = 77.27 \text{ ft}^2$$

$$X_1 = 1.119 \text{ ft}$$

$$X_2 = 0.083 \text{ ft}$$

$$T_1 = 1930^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 122^\circ\text{F}$$

Substituyendo:

$$q_1 = (77.27) \frac{1930 - 122}{\frac{1.119}{0.48} + \frac{0.083}{0.049}}$$

$$q_1 = 34752.27 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times 10 \text{ hr}$$

$$q_1 = 347522.70 \text{ BTU}$$

PARED POSTERIOR

$$q_2 = A_2 \frac{T_1 - T_2}{\frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2}}$$

$$A_2 = 14.265 \text{ ft}^2$$

$$X_1 = 1.819 \text{ ft}$$

$$X_2 = 0.083 \text{ ft}$$

$$T_1 = 1930^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 122^\circ\text{F}$$

Substituyendo:

$$q_2 = (14.26) \frac{1930 - 122}{\frac{1.819}{0.48} + \frac{0.083}{0.049}}$$

$$q_2 = 4713.36 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times 10 \text{ hr}$$

$$q_2 = 47133.6 \text{ BTU}$$

b) Pérdidas por las paredes laterales del horno:

$$q_3 = A_3 \frac{\frac{T_1 - T_2}{X_1} + \frac{T_2 - T_3}{X_2}}{\frac{K_1}{X_1} + \frac{K_2}{X_2}}$$

$$A_3 = 24.5 \text{ ft}^2$$

$$X_1 = 0.43 \text{ ft}$$

$$X_2 = 0.083 \text{ ft}$$

$$T_1 = 1930^\circ\text{F}$$

$$T_3 = 122^\circ\text{F}$$

$$q_3 = (24.5) \frac{1930 - 122}{\frac{0.43}{0.48} + \frac{0.083}{0.049}}$$

$$q_3 = 17168.99 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times 10 \text{ hr}$$

$$q_3 = 171689.9 \text{ BTU}$$

c) Calor perdido por las tapas de hierro de los tubos:

$$q_4 = K A_4 \frac{T}{X}$$

$$A_4 = 19.25 \text{ ft}^2$$

$$X = 0.0468 \text{ ft}$$

$$T_1 = 1562^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 1552^\circ\text{F}$$

$$K_{\text{fierro}} = 26.8 \frac{\text{BTU}}{\text{ft hr } \frac{\text{F}}{\text{ft}}}$$

Substituyendo:

$$q_4 = (26.8) (19.25) \frac{1562 - 1552}{0.0468}$$

$$q_4 = 110\,235.04 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times 10 \text{ hr}$$

$$q_4 = 1\,102\,350.4 \text{ BTU}$$

18.4 BALANCE PARCIAL DE CALOR:

Pérdida por radiación:	53 684.3 BTU
Pérdida por conducción:	47 133.6 "
	171 689.9 "
	284 097.3 "
	<u>1 102 350.4 "</u>
	2 008 162.3 BTU
Calor para el calentamiento del hierro	1 097 944.0 "

Calor para calentamiento
del mineral:

.Calcita	241 019.44 BTU
.Grafito	293 860.23 "
.Oxido de Calcio	54 204.76 "
.Sulfuro de mercurio	5 088.09 "
.Calor de reacción	- 437.22 "
.Calentamiento del aire	<u>964.94 "</u>
	1 692 644.00

Calor dado al horno = Calor perdido por conducción +
Calor necesario para la tostación

Calor dado al horno = 2 008 162.3 + 1 692 644.0

Calor dado al horno = 3 700 806.3 BTU

18.5 PERDIDAS DE CALOR POR ARRASTRE DE GASES DE COMBUSTION:

El diafano se alimenta a la temperatura ambiente junto con el aire. La combustión se lleva a cabo con un 10% de aire en exceso y los productos de combustión abandonan el horno a una $T = 800^{\circ}\text{C}$ (1472°F)

Calor en los productos de una combustión perfecta a 1472 F 6 000 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$

Calor en el aire requerido para una combustión perfecta a 1472 F 5 200 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$

10% de aire en exceso	520 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$
Calor en los gases de combustión	6 520 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$
Valor máximo de calentamiento	21 000 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$
Valor mínimo de calentamiento	20 000 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$
Calor latente en el vapor de agua producido	1 000 $\frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$

Finalmente el porcentaje del calor total que es acarreado por los gases de combustión -- será igual a:

$$\% = \frac{6520+1000}{21000} \times 100$$

$$\% = \frac{7520}{21000} \times 100$$

$$\% = 34.5$$

El porcentaje restante (65.5) es calor dado al horno.

Sabiendo que el calor dado al horno es igual a - - -
3 700 806.3 BTU entonces:

$$3\ 700\ 806.3\ \text{BTU} \quad \text{--} \quad 65.5\%$$

$$5\ 650\ 085.9\ \text{BTU} \quad \text{--} \quad 100.0\%$$

Calor arrastrado por los productos de combustión:

$$5\ 650\ 085.9$$

$$\underline{3\ 700\ 806.3}$$

$$1\ 949\ 279.6$$

18.6 CALOR TOTAL ENVUELTO EN EL PROCESO:

5 650 085.9 BTU

18.7 CANTIDAD DE COMBUSTIBLE USADO:

$$\text{Potencia calorífica media}^{(2)} = 20\,500 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$\text{Peso específico}^{(3)} = 49.32 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\text{PCM} = 20\,500 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times 49.32 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times 1 \frac{\text{ft}^3}{28.317 \text{ lt}}$$

$$\text{PCM} = 35\,705.05 \frac{\text{BTU}}{\text{lt}}$$

$$\text{Litros de diafano usado} = \frac{Q_{\text{total}}}{\text{PCM}}$$

$$\text{Litros de diafano usado} = \frac{5\,650\,085.9 \text{ BTU}}{35\,705.05 \frac{\text{BTU}}{\text{lt}}}$$

$$\text{Litros de diafano usado} = 158.5 \text{ lt}$$

Si consideramos 87% en exceso debido a la eficiencia real :

$$\text{Litros totales} = 158.5 + 137.89$$

$$\text{Litros totales} = 296.5$$

18.8 CANTIDAD DE AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTION

El combustible usa ⁽³⁾ $14.45 \frac{\text{Kg. de aire}}{\text{Kg. de comb.}}$

Peso específico de combustible ⁽³⁾ = $0.7916 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}}$

Masa de combustible = $296.5 \times 0.7916 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}}$

Masa de combustible = 235 Kg

Masa de aire = 235 Kg de comb. $\times 14.43 \frac{\text{Kg. de aire}}{\text{Kg. de comb.}}$

Masa de aire = 3391 Kg

Densidad del aire = $1.2083 \frac{\text{Kg}}{\text{M}^3}$

Volúmen de aire = $3391 \text{ Kg} \times \frac{1}{1.2083 \frac{\text{Kg}}{\text{M}^3}}$

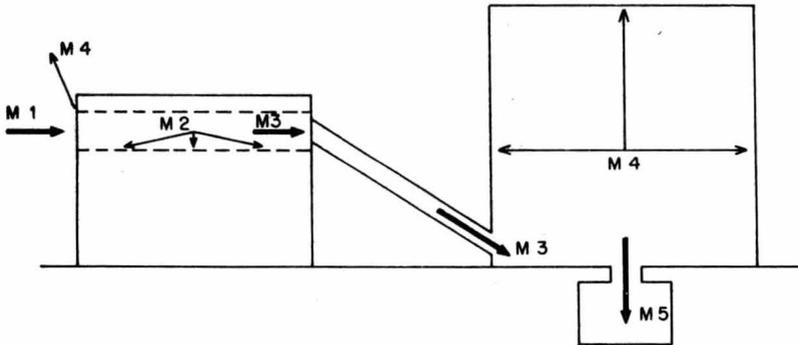
Volúmen de aire = 2806.5 m^3 en 10 horas

Volúmen de aire = $280.65 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

Volúmen de aire = $4.67 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

19. EFICIENCIA EN EL HORNO Y EN EL SISTEMA
HORNO-CONDENSADOR

Balance parcial de mercurio en el sistema hor
no condensador :



$M_1 = 13.25$ Kg de mercurio alimentado

$M_2 = 2.06$ Kg de mercurio residual

$M_3 = 11.19$ Kg. de mercurio evaporado

$M_4 = ?$ Kg de mercurio perdido

$M_5 = 7.55$ Kg de mercurio obtenido

Obtención de M_4 :

$$M_3 = M_4 + M_5$$

$$M_4 = M_3 - M_5$$

$$M_4 = 3.64 \text{ Kg}$$

Cantidad de mineral + óxido de calcio/carga :

502.0 Kg. de mineral

$$\frac{50.0 \text{ Kg. de óxido de calcio}}{552.0 \text{ Kg de mezcla}}$$

Duración de una carga : 10 horas

Teóricamente se tienen 16 cargas por semana:

$$(11.19 \frac{\text{Kg.}}{\text{carga}}) (16 \text{ cargas}) = 179.04 \text{ Kg.}$$

$$(179.04 \text{ Kg}) (\frac{1 \text{ frasco}}{35.54 \text{ Kg}}) = 5.2 \text{ frascos de mercurio (teóricos)}$$

Realmente se obtienen 7.55 Kg de mercurio por carga:

$$(7.55 \frac{\text{K}}{\text{carga}}) (16 \text{ cargas}) = 120.8 \text{ Kg.}$$

$$(120.8 \text{ Kg}) (\frac{1 \text{ frasco}}{34.54 \text{ Kg}}) = 3.5 \text{ frascos de mercurio (reales)}$$

19.1 EFICIENCIA DEL HORNO :

$$E = \frac{M_3}{M_1} \times 100$$

$$E = \frac{11.19 \text{ Kg}}{13.25 \text{ Kg}} \times 100$$

$$E = 84.4$$

19.2 EFICIENCIA DEL SISTEMA HORNO-CONDENSADOR :

$$E = \frac{M_5}{M_1} \times 100$$

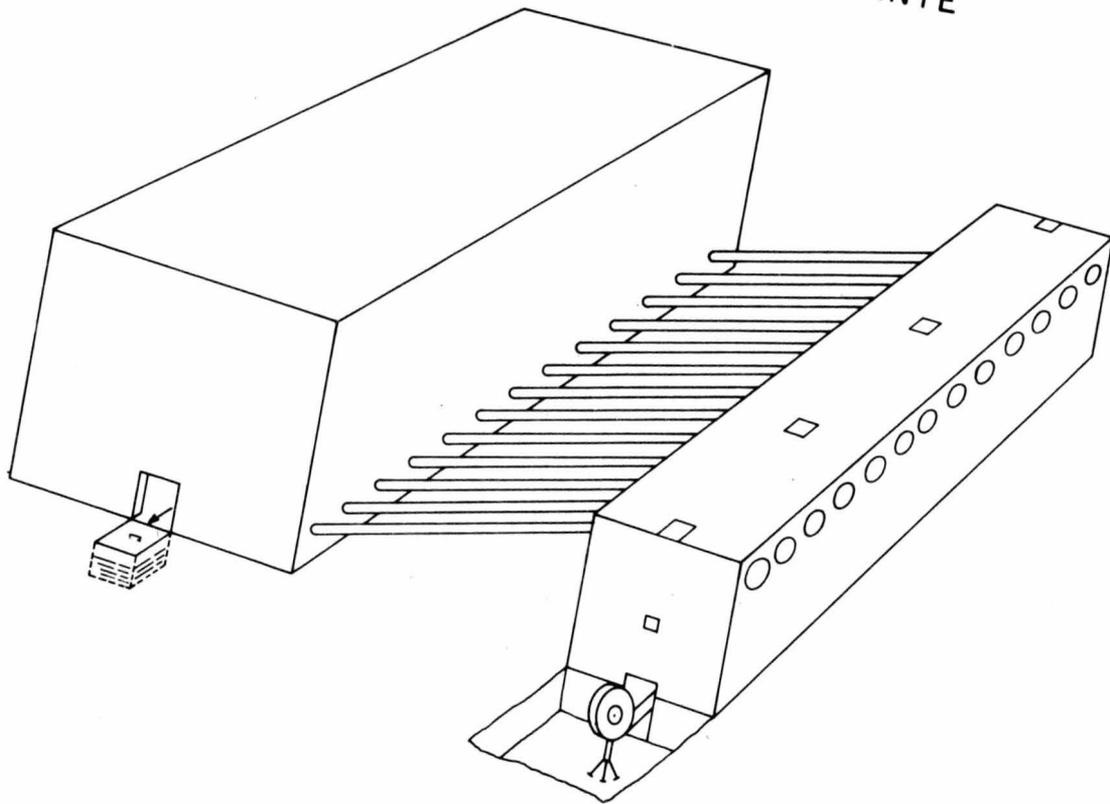
$$E = \frac{7.55 \text{ Kg}}{13.25 \text{ Kg}}$$

$$E = 0.57$$

Las pérdidas de mercurio se llevan a cabo por -
varios lugares :

- a) A través del barro agrietado debido a las pérdi
das de humedad.
- b) Por la amalgamación del mercurio con el cemento
de las paredes del cuarto condensador.

FIG. 27.- HORNO DE MERCURIO INTERMITENTE

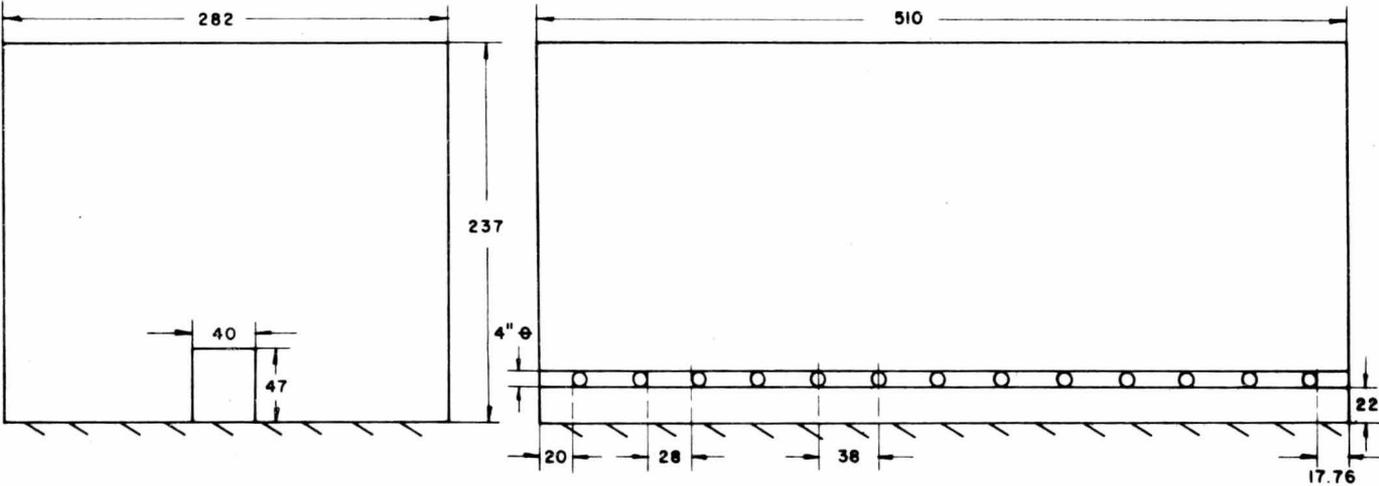


h. c.

FIG. 28.- CONDENSADOR

VISTA DE LADO

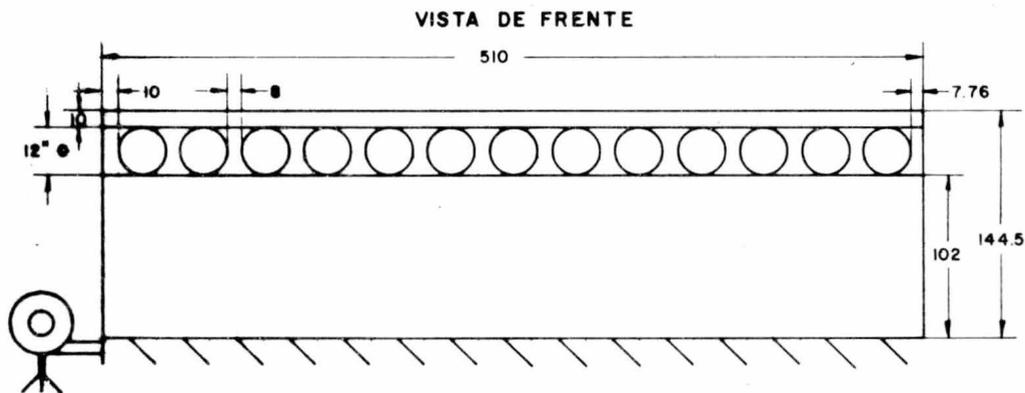
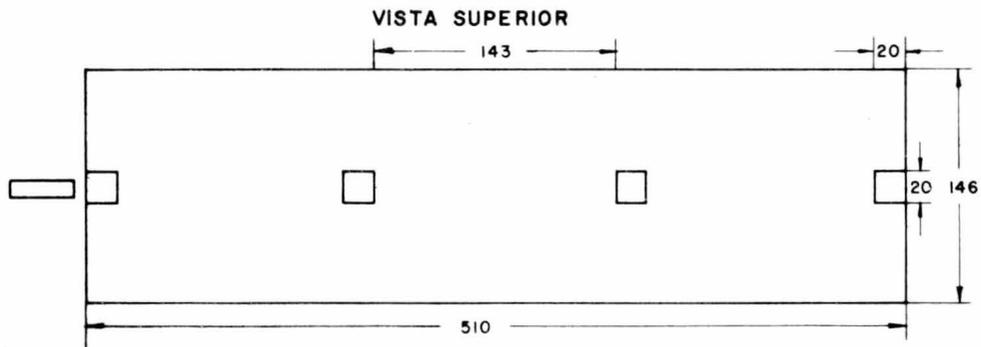
VISTA DE FRENTE



Esc: 1:33 1/3 Acot: en cm.

20. ESTUDIO COMPARATIVO DEL PROCESO A
DOS TEMPERATURAS DIFERENTES

La reacción de descomposición del HgS (sulfuro de mercurio) se lleva a cabo normalmente a 450°C. - La temperatura en el horno estudiado alcanza los - 900°C. Se puede notar una inmensa diferencia entre ambas temperaturas, exactamente el doble. La existencia de esta diferencia nos hace presuponer que - también se obtendrán contrastes muy notorios entre los usos de energía, combustible, y otros, al ser - realizado el mismo proceso a dos temperaturas tan - distantes. Las siguientes tablas comparativas nos dan una idea al respecto.



Esc: 1:33 1/3
Acot: en cm.

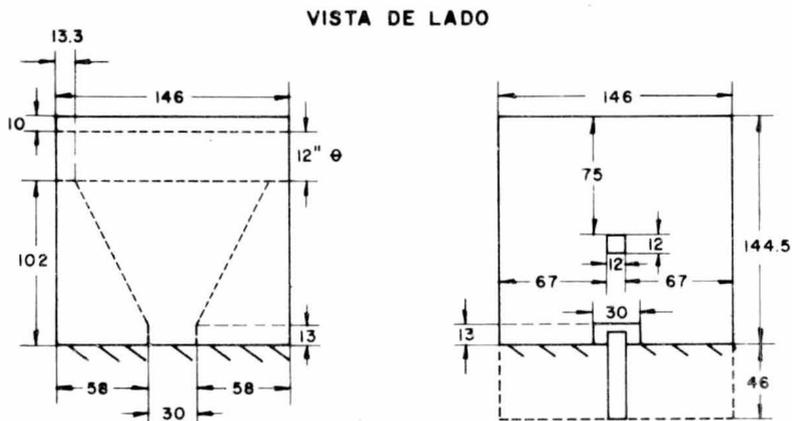


FIG. 29.- HORNO

h.c.

BASE : UNA CARGA (10 HORAS)

	450°C	900°C	Dif.
Litros de diafano	188	296.5	108.5
Cantidad de aire (m ³)	1,779.5	2,806.5	1,027.0
Coefficiente total de transferencia de calor ($\frac{BTU}{hr\ ft^2\ F\ ft}$)	0.037	0.01	
Area de condensador (ft ²) (teórica)	33.15	92.84	59.69
Area del condensador real	576.04	576.04	
Relación de : $\frac{Area\ real}{Area\ teórica}$	17.37	6.2	11.17
Temperatura interna del horno	615°C	1,054.4°C	296.2°C
Calor para calentamiento del hierro	573,641.66	1,097,940.0	524,298.4
Calor para calentamiento del mineral			
- calcita	103,915.99	241,019.44	137,103.45
- grafito	116,217.97	293,860.23	137,642.26
- óxido de calcio	18,876.78	54,204.76	35,327.98
- sulfuro de mercurio	4,600.42	5,088.09	487.67
Calor de reacción	289.68	-437.22	-147.54
Calor para calentamiento del aire	399.58	964.94	565.36
Calor perdido por radiación	11,875.2	53,684.3	41,809.1
Calor perdido por convección	1,711,124.2	1,954,478.0	243,353.8
Calor arrastrado por - productos de combustión	1,235,138.1	1,949,279.6	713,802.3
Calor Total	<u>3,580,110.6</u>	<u>5,650,085.9</u>	<u>2,069,975.3</u>

21. MATERIAL DEL SISTEMA HORNO-CONDENSADOR
Y SU DURACION

a) HORNO :

Los ladrillos del horno que están fabricados - con arcilla ladrillera, duran como máximo un - año. Continuamente se agrietan, por lo que las reparaciones con barro son constantes.

b) CUARTO CONDENSADOR :

Es el que tiene mayor tiempo de duración. El - cuarto de condensación generalmente se constru- ye con ladrillos de arcilla, los que se recubren interiormente con una capa de cemento. En las paredes condensan los vapores de mercurio. Por lo regular, cada año es recubierto por una nue- va capa de cemento en su parte interior.

c) TUBOS DE RETORTA :

La duración de los tubos de retorta, es aproxi- madamente de un mes y medio. El factor más im- portante en su corta duración, son los choques térmicos a los cuales están sometidos continua- mente, provocando cuarteaduras, reventamientos

y oxidación de los mismos. Los vapores de mercurio atacan al fierro. Los vapores de SO_2 desprendidos en el proceso de tostación son altamente corrosivos al fierro (Figs. 30 y 31).

d) TUBOS CONECTORES DEL HORNO CONDENSADOR :

Los tubos conectores del horno condensador, duran por lo regular un año. Estos a diferencia de los tubos de retorta, no están sometidos a choques térmicos, más sí sufren el ataque de los vapores producidos durante la tostación. (Fig. 32).

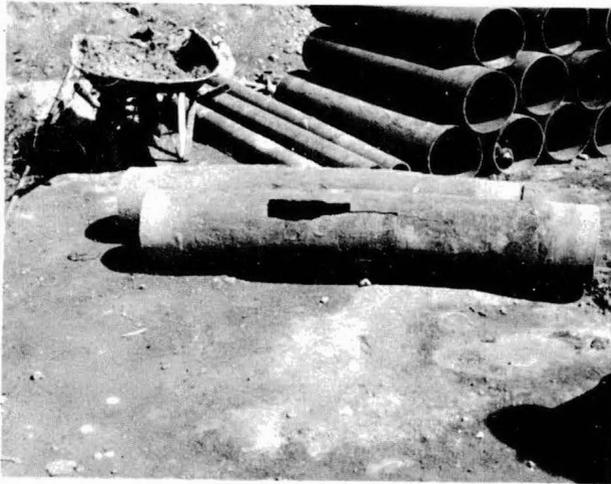


Fig. 30 y 31. DESPUES DE SER SOMETIDOS A CONTINUOS CHOQUES TERMICOS, ESTE ES EL ESTADO EN EL CUAL SE ENCUENTRAN LOS TUBOS DEL HORNO.



Fig. 32. ESTADO DE LOS TUBOS DEL SISTEMA HORNO-CONDENSADOR, VISTOS DESDE DENTRO DEL CUARTO DE CONDENSACION.

22. ESTUDIO ECONOMICO

22.1 COSTO DE EQUIPO

1. LADRILLOS

El ladrillo usado tanto para la construcción del horno, como para el cuarto de condensación, - es el ladrillo común y corriente para la edificación de muros.

Ladrillos empleados en el horno = 1728

Ladrillos empleados en el condensador = 1726

Ladrillos totales empleados = 3454

1000 ladrillos cuestan = \$700.00

Costo Total \$ 2,418.00

2. RESORTES

Son tubos de fierro con un diámetro de 12", y 1.46 metros de largo. En el mercado los tubos de fierro se venden por kilogramos.

La masa de los 13 tubos de fierro es igual a 2018 Kg.

Costo de $\frac{\text{fierro}}{\text{kilogramo}} = \7.00

Costo total \$ 14,126.00

3. TUBOS CONECTORES DEL HORNO AL CUARTO DE CONDENSACION.

Son 13 tubos de fierro con un diámetro de 4" y 2.80 metros de largo. La masa de los tubos es igual a 511.0 Kg.

Costo de $\frac{\text{fierro}}{\text{kilogramo}} = \$ 7.00$

Costo total 3,577.00

4. VARILLAS USADAS EN LA CONSTRUCCION DEL CUARTO CONDENSADOR.

Se usaron 196 metros de varillas de 3/8, las cuales tienen una masa de 141 Kg. El kilogramo de varilla cuesta \$5.00.

Costo total 705.00

5. CEMENTO
- Sacos de cemento utilizados = 16
- Costo por saco = \$30.00
- Costo total \$ 480.00
6. ARENA
- Arena usada = 4 M³
- Costo de arena por M³ = \$90.00
- Costo total 360.00
7. PLAST-CEMENT
- Sacos de plast-cement utilizados = 16
- Costo por saco = \$16.00
- Costo total 256.00
- COSTO DE EQUIPO 21,922.00
- 22.2 COSTO DEL EQUIPO ADICIONAL
8. QUEMADOR
- Modelo SM 4616-1 con motor de -
- 1 H.P. y soplador.
- Precio de soplador = \$8,220.00
- Precio de motor = \$ 1,866.00
- Costo total 10,086.00

9. TANQUE DE COMBUSTIBLE

Volúmen = 4.5 M^3

Costo \$ 1,390.00

10. QUEBRADORA

Marca Alfo

Costo quebradora = \$92,850.00 (costo -
total repartido entre 7 hornos)

Costo atribuible a un solo horno 13,264.00

11. TAPAS

Tapas de los tubos de retorta con
una masa de 182 Kg. de fierro.

Costo de $\frac{\text{fierro}}{\text{kilogramo}} = \7.00

Costo total 1,274.00

12. ANGULOS

Angulos de fierro de 18.0 metros
con una masa de 174 Kg.

Costo de $\frac{\text{fierro}}{\text{kilogramo}} = \7.00

Costo total 1,218.00

13. TUBOS CONECTORES DEL QUEMADOR AL
TANQUE DE COMBUSTIBLE.

Tubo de fierro de 2" de diámetro
y de 10 metros de longitud, con
una masa de 11.26 Kg.

Costo total \$ 78.85

14. AZADONES

2 azadones de mango largo

Costo por un azadón \$30.00

Costo total 60.00

15. PALAS

2 palas

Costo de una pala \$35.00

Costo total 70.00

16. CARRETILLA

1 carretilla

Costo 600.00

COSTO DE EQUIPO ADICIONAL : \$ 28,040.85

22.3 COSTO DE INSTALACION

Se toma el 15% de la suma del -
costo del equipo + costo del equip
o adicional

Costo de equipo	\$ 21,922.50
Costo de equipo adicional	<u>28,040.85</u>
(0.15)	<u>(49,962.85)</u>
Costo de instalación	7,494.45

22.4 COSTO FISICO DEL EQUIPO

Costo de equipo	21,922.00
Costo de equipo adicional	28,040.85
Costo de instalación	<u>7,494.45</u>
Costo físico del equipo	57,457.30

22.5 COSTO DIRECTO

Se suma del costo físico, más el
costo por ingeniería y construc-
ción.

Por ingeniería y construcción se

Toma el 15% del costo ffsico.

(0.15) (57,457.30)	=	\$ 8,618.60
Costo ffsico del equipo		<u>57,457.30</u>
COSTO DIRECTO		\$ 66,069.90

22.6 CAPITAL FIJO DE INVERSION

Se calcula sumando:

Costo directo+honorarios profesionales. Los honorarios profesionales se calculan tomando el 8% del costo directo.

(0.08) (66,069.90)	=	\$ 5,285.60
Costo Directo		<u>66,069.90</u>
CAPITAL FIJO DE INVERSION		<u><u>\$ 71,355.50</u></u>

23. CALCULO DE LA DEPRECIACION DEL
SISTEMA HORNO-CONDENSADOR

a) COSTO DE EQUIPO Y ACCESORIOS

Fuente : Ley del Impuesto sobre la Renta y Disposi--
ciones Complementarias. Artículo 4 (Depreciación 6%
anual)

Ladrillos	\$ 2,418.00
Tubos conectores horno condensador	3,577.50
Varillas	705.00
Cemento	480.00
Arena	360.00
Plast-cement	256.00
Quemador	10,086.00
Tanque de combustible	1,390.00
Quebradora	13,264.00
Tapas	1,274.00
Angulos	<u>1,248.00</u>
TOTAL	\$ 35,058.50 =====

$$\frac{35,058.50}{(52) (7) (24)} = \$4.0/\text{hr } \$0.25/\text{Hr.}$$

$$(\$4.0/\text{hr} \times 10 = \$40.0 \text{ en } 10 \text{ horas})$$

- b) TUBERIA PARA HORNO DE RETORTA. ESTA TUBERIA SE DEPRECIA EN UN MES Y MEDIO.

13 tubos de 12" de diámetro interior y de -
1.46 metros de longitud, con una masa de 2018 Kg.

Precio de rescate = (2028 Kg) (\$0.6/Kg)

Precio de rescate = 1412.60

$$\frac{(14,126.00 - 1,210.80)}{(6 \text{ sem})(7 \text{ días/sem})(24 \text{ Hr/día})} = \$12.81 \text{ Hr.}$$

\$12.81/hr. x 10 hr. = \$128.10 en 10 horas

- c) DEPRECIACION DEL EQUIPO EN CADA MEDIA TONELADA DE MINERAL PROCESADO.

$$128.10 + 40.0 = \$168.10$$

24. UTILIDAD BRUTA

BASE :

502 Kg. de mineral :

Ley de mineral

2.6

Tiempo de proceso :

10 horas

Eficiencia en la obtención del mercurio:

60 %

	<u>GASTO</u>	<u>COSTO</u>
Combustible	269.5 Lt	148.25
Personal	20 Hr	71.25
Cal	50 Kg	18.00
Pólvora	15 bombillos	19.50
Mineral	502 Kg	57.50
Costo de producción		314.65

	<u>CANTIDAD</u>	<u>COSTO</u>
Mercurio obtenido en el proceso	7.55 Kg	
Costo de producción	1 Kg	37.85
Costo de mercurio - en el mercado	1 Kg	52.45
Venta bruta del mercurio	7.55 Kg	396.00
UTILIDAD BRUTA		81.35

25. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

25.1 CONCLUSIONES

- a) En la actualidad el equipo que se emplea para tratar el mineral de cinabrio es muy rudimentario.
- b) Las pérdidas de mercurio en el sistema horno-condensador son bastante grandes. Esto se concluye al cuantificar la eficiencia obtenida para el sistema, $E = 0.57$.
- c) Al comparar el sistema de condensación actual, con uno calculado para el mismo volúmen de gases, se notó una gran diferencia en cuanto a la relación de sus áreas. ($\frac{\text{área actual}}{\text{área teórica}} = 6.2$)
- d) Al hacer la comparación entre el proceso que en el horno se lleva a cabo a 900°C , pero que normalmente es realizado a 450°C , se obtuvo una diferencia de 2,069,975.3 Btu/carga. Este gasto de energía se podría evitar fijando la temperatura en 450°C , con ayuda de equipo de medición y control de temperatura.

e) Del balance económico se puede desprender, - que actualmente el producir mercurio resulta incosteable, atendiendo al precio internacional del frasco - de mercurio, motivo por el que numerosas minas han - cerrado.

f) En México se desconocen las reservas de mercurio, debido a la falta de estudios serios que podrían llevarse a cabo, pero que no se han hecho, debido a la falta de planeación en ese campo.

g) La mano de obra no es calificada, en su mayoría son campesinos sin trabajo, que no tienen otra - alternativa sino la de laborar en esa ocupación. El trabajo no es más que de tipo manual: extraer y quebrar mineral, cargar material como mineral, tubos, - equipo, etc.; barrer las paredes del condensador con objeto de desprender el mercurio condensado, cuidar del funcionamiento de los quemadores, etc.

h) El costo de la mano de obra es muy barata, - siendo el mínimo \$28.60 por turno, tanto para el excavador, como para el hornero. Aunque esto depende del lugar de la Sierra de Querétaro.

i) El capital es muy escaso, sobre todo cuando se habla de gambusinos, aumentando en muy contados casos cuando se asocian varias personas interesadas en la explotación.

j) La contaminación debido a las fugas del mercurio en el horno sin tomar las debidas precauciones, puede ser la causante de las enfermedades que padecen los mineros, en una gran cantidad de casos siendo fatal.

25.2 RECOMENDACIONES

a) El uso de ropa inadecuada, y la falta de equipo de seguridad, expone a los mineros a uno de los peores males "el hidrargirismo". Se recomendaría usar principalmente mascarilla de seguridad, para evitar así un ataque directo de los vapores de mercurio.

b) Para el sistema de condensación, se recomienda usar tubos de fierro de 2", los cuales tienen una conductividad térmica bastante apropiada para efectuar la disipación de calor en los gases, siendo ade

más mucha menor el área de los tubos, comparado con el área del condensador actual. Uno de los inconvenientes de este último, debido a su recubrimiento interior de cemento, es que a la vez de servir de semirefractario, tiene muy poca conductividad a través de sus paredes.

c) En caso de seguir usando el mismo tipo de diseño de horno, se recomienda cambiar los ladrillos usados actualmente, por ladrillo refractario. Con esto se disminuirían las pérdidas de calor por conducción y se incrementaría la duración del horno.

d) La instalación de un equipo de medición y control de parámetros, entre ellos la temperatura, evitaría elevaciones tan grandes de la misma, como las que actualmente se registran (900°C), fijándola en 450°C , justamente la necesaria para llevar a cabo el proceso.

e) Las pérdidas de calor por arrastre de combustión son bastante considerables. Este calor que se pierde podría ser aprovechado, mediante la recircula

ción de los mismos gases en el horno.

f) Ahora, pensando que se sigan usando los mismos tubos de retorta, una buena idea sería usar tapaderas herméticas, en lugar de las tapas de fierro que actualmente se usan, selladas en las orillas con barro, lugar por donde al evaporarse el agua y agrietarse se se llevan a cabo las fugas de vapor de mercurio.

g) Modernizar los métodos de explotación a efecto de aumentar el volumen y reducir los costos.

26. BIBLIOGRAFIA

1. Bargalló, M. (1962). TRATADO DE QUIMICA INORGANICA. México, D.F., Editorial Porrúa, S.A.
2. Trinks, W. And Mawhinney, N.H. (1961). INDUSTRIAL FURNACES. Volume II (4th Edition). U.S.A. John Wiley and Sons.
3. Trinks, W. and Mawhinney, M.H. (1972). HORNOS INDUSTRIALES. Volúmen II (4a. Edición), España, Ediciones Urmo.
4. Stoever, H.J. (1941). APPLIED HEAT TRANSMISSION U.S.A., Mc Graw Hill.
5. Perry, H.J. (1963). CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK. (4th Edition). Tokyo, Mc Graw Hill.
6. Ocon, G.J. y Tojo, B.G. (1968). PROBLEMAS DE INGENIERIA. Tomo I (3a. Edición). España, Ediciones Aguilar.
7. Foust, A.S. (1960). PRINCIPLES OF UNIT OPERATIONS. (2nd. Edition). U.S.A., John Wiley and Sons.
8. González, R.G. (1947). RIQUEZA Y YACIMIENTOS MINERALES DE MEXICO. (2a. Edición). México, D.F., Banco de México, S.A., Departamento de Investigaciones Industriales.

9. Alegría, A.C. (1955). MONOGRAFIA DEL MERCURIO. México, D.F., Instituto de Geología, U.N.A.M.
10. ENCYCLOPEDIA BRITANICA. (1973). (15th Edition) Chicago, U.S.A., Encyclopedia Británica, Inc.
11. Salisbury, E.D. (1958). A TEXTBOOK OF MINERALOGY WITH AN EXTENDED TREATISE ON CRYSTALLOGRAPHY AND PHYSICAL MINERALOGY. (4th. Edition). - New York, John Wiley and Sons.
12. Segura, D. (1941). EL MERCURIO EN MEXICO. México, D.F., Secretaría del Patrimonio Nacional, Dirección General de Minas y Petróleos.
13. Ullman, F. (1932). ENCICLOPEDIA DE QUIMICA INDUSTRIAL. (sección IV), Volúmen VII (2a. Edición). Barcelona, España, Editorial Gustavo Gili, S.A.
14. Kirk, E.R. and Othmer, F.D. (1952). ENCYCLOPAEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY. (2nd. Edition), - U.S.A. The Intersciencia Encyclopedia.
15. Statistical Office of the United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (1950-1973). STATISTICAL YEARBOOK. Publishing Service United Nations.

16. Dirección General de Estadística. (1940-1973). ANUARIOS ESTADISTICOS DE COMERCIO EXTERIOR DE - LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. México, D.F., Secretaría de Industria y Comercio.
17. SUMARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA. - (1960-1973). México, D.F., Consejo de Recursos Naturales no Renovables.
18. Mateos, G.A. (1969). DISEÑO DE UN HORNO Y CONDENSADORES DE MERCURIO. (Tesis), México, D.F.
19. Rodríguez, C.H. (1972). ESTIMACION DE UN HORNO CONTINUO PARA LA TOSTACION DE CINABRIO. (Tesis) México, D.F.
20. De la Peña y Sobarzo, Patricia Yolanda. (1975). LA CONTAMINACION POR MERCURIO (1a. Parte) Y EXPOSICION DE MINEROS AL MERCURIO, IDENTIFICACION EN EL PELO (2a. Parte). (Tesis). México, D.F.
21. Careaga, J.A., Goldis, G.F., Herrera, V.A., Rangel, O.T., Rodríguez, C.H. y Rodríguez, V.R. - (1973). CONSTRUCCION DE UN HORNO CONTINUO PARA TOSTAR MINERALES DE MERCURIO. México, D.F., - Centro de Investigación de Materiales, U.N.A.M.
22. Careaga, J.A., Cendejas, H.S., Rodríguez, C.H. - y Rodríguez C.C. (1974). LA SITUACION DE LA MINERIA EN MEXICO. México, D.F., Centro de -

23. Herrera V., A., Rodríguez C., H. et al. (1974).
OPTIMIZACION DE UN HORNO PARA LA TOSTACION DE CI--
NABRIO. - Estudio realizado en colaboración con el
CONACYT para la Comisión del Río Balsas. México,
D.F., Centro de Investigación de Materiales,
U.N.A.M.
24. Pancorbo. T.L. (1974). EVOLUCION HISTORICA DEL MER-
CURIO Y SUS APLICACIONES. Primer Congreso Interna-
cional del Mercurio. Barcelona, España. 1, 109-
113.
25. Emerson, D.F. (1974). THE INDUSTRIAL USES OF
MERCURY. Primer Congreso Internacional del Mercu-
rio. Barcelona, España. 1, 29-37.
26. Sierra, J. (1974) PERSPECTIVAS DE RESERVAS Y RECUR-
SOS DEL MERCURIO EN EL MUNDO. Primer Congreso Inter
nacional del Mercurio. Barcelona, España. 1, 407-
436.
27. Putnam, J.J. (1972) QUICKSILVER AND SLOW DEATH,
National Geographic. October, 507-527.
28. An Enviroment Staff Report (1971). MERCURY IN THE
AIR. Enviroment. 13, 24-28.
29. Neville, G. (1971). HOW MERCURY REACHES MAN.
Enviroment. 13, 3-15.
30. Goldwater, J.L. (1971). MERCURY IN THL ENVIROMENT.
Scientific American. 224, 3-23.

31. Jonasson, J.R. and Boyle, R.W. (1971). GEOSCHEMISTRY OF MERCURY. MERCURY IN MAN'S ENVIRONMENT.
The Royal Society of Canada, Ottawa, Canadá. --
Febrero, 5-21.
32. Wallace, R.A., Fulkersen, W., Shultz, W.D. and
Lyon, W.S. (1971). MERCURY IN THE ENVIRONMENT.
THE HUMAN ELEMENT. U.S.A. Environmental Program.
Oak Ridge National Laboratory.
33. Jenkins, D.W. (1972). THE TOXIC METALS IN YOUR
FUTURE AND YOUR PAST. Smithsonian, Abril, 62-69.
34. Krehl, A.W. (1972). MERCURY. THE SLIPPERY METAL.
Nutrition Today. Nov-Dic, 4-15.
35. Aronson, T. (1971). MERCURY IN THE ENVIRONMENT.
Environment 13, 16-23.
36. D'Itri, F.M. (1971). THE ENVIRONMENTAL MERCURY
PROBLEM. Report of the Michigan House Represen
tative Resulting from House Resolution 424. -
Great Lake Contamination (mercury) Comitte, -
East Lansing, Michigan.
37. D'Itri, F.M. (1972). THE ENVIRONMENTAL MERCURY
PROBLEM. Cleveland, Ohio. Chemical Rubber Com
pany, Press.
38. Hunter, D. (1969). THE DISEASE OF OCUPATIONS.-

(4th. Edition) London, The English Universities
Press.

39. Davis, C.J. (1974). CHLOR-ALKALI PRODUCERS -
SHIFT TO DIAPHRAM CELLS. Chemical Engineering.
81, 84-87.
40. YEARBOOK OF THE AMERICAN BUREAU METAL STATISTICS.
(1973). U.S.A.