

720585

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**

**ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA PARA LA  
PRODUCCION DE OXIDO DE MERCURIO.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A**

**CESAR GARCIA PEREZ**

**MEXICO, D. F.**

**1974**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Jurado asignado según el tema:

PRESIDENTE ING. JOSE E. GALINDO FUERTES.

VOCAL ING. GUILLERMO CARSCIC PACHECO.

SECRETARIO ING. ALBERTO OBREGON PEREZ.

1er. SUPLENTE ING. EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ.

2o. SUPLENTE ING. MARIC RAMIREZ Y OTERO.

Sitio donde se desarrolló el tema : INDUSTRIAS P.R. MALORY  
Y FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS.

Nombre completo y firma del sustentante:

  
CESAR GARCIA PEREZ.

Nombre completo y firma del asesor  
del tema:

  
ING. ALBERTO OBREGON PEREZ

Nombre completo y firma del  
supervisor técnico.

  
QUIM. ROBERTO RAMO GOTS.

## DEDICATORIA

A los maestros que ayudaron  
a mi formación.

Con gratitud a mi maestro asesor:

Ing. Alberto Obregón P. y al

Ing. Heriberto Ramos C. por la

gran ayuda que me brindaron.

Con agradecimiento al personal de

Industrias P.R., Mallory por la

ayuda que me ofrecieron.

A mis hermanos y a mis primas con  
carifio.

Abel

Elvia

Guadalupe

Jorge

Julio

María del Carmen

Mauricio.

Con amor y agradecimiento a mis  
tíos y a mis padres que han da-  
do todo de sí, para lograr dar-  
me una formación profesional y  
espiritual.

# I N D I C E

	PAG.
1.0 Introducción	1
2.0 Generalidades del óxido de mercurio	
2.1 Historia y propiedades.	3
2.2 Medidas de precaución en el manejo del mercurio y sus compuestos.	6
2.3 Requerimientos del óxido de mercurio	8
2.4 Procedimientos de análisis.	8
3.0 Estudio.	
3.1 Métodos de producción de óxido rojo de mercurio.	15
3.2 Selección del proceso de producción	23
3.3 Balances de materiales.	25
3.4 Balance de energía.	30
3.5 Camino crítico en la producción del óxido de mercurio	46
3.6 Estimación de la inversión en equipo.	49
3.7 Estado de resultados.	61
3.8 Utilidades a través de la técnica del punto de equilibrio.	62
4.0 Conclusiones y observaciones.	64
5.0 Bibliografía	66

## I N T R O D U C C I O N .

El motivo por el que se decidió tomar como tema de tesis el estudio del anteproyecto de producción industrial del óxido de mercurio, es la gran importancia que tendrá en nuestro país; pues una de sus variedades es el componente principal en la fabricación de las pilas alcalinas de óxido de mercurio-zinc. En México hace poco tiempo que se ha empezado la fabricación de pilas alcalinas y éstas han tenido una gran aceptación, ya que tienen grandes ventajas respecto a las pilas secas. Entre las ventajas podemos mencionar las siguientes: mayor duración, facilidad de manejo, pues pueden construirse con dimensiones muy pequeñas y el suministro de voltaje es casi constante a través de su funcionamiento. El uso y la demanda de estas pilas se ha incrementado en México, debido a que los aparatos electrónicos y cámaras fotográficas que han salido últimamente al mercado, traen como suministro de energía este tipo de pilas y baterías.

Tomando en consideración estas observaciones y viendo que México es el único país productor de pilas alcalinas en la América Latina y de acuerdo a las estadísticas de producción de la compañía INDUSTRIAS P.R. MALLORY, S. A. , podemos observar el continuo incremento en la demanda de las pilas alcalinas y como consecuencia del óxido rojo de mercurio, que es la materia prima para su fabricación.

En México ya se tiene producción de óxido rojo de mercurio, pero debido a las especificaciones rigurosas necesarias en el producto que se usa en la fabricación de las pilas, se observa que en la actualidad gran cantidad de este óxido se importa todavía de los Estados Unidos.

La materia prima que se usa para la producción de óxido rojo de mercurio es el mercurio líquido tridestilado. México es un país que cuenta con yacimientos apreciables de mercurio, por lo tanto se considera que es posible cubrir la demanda interna del país y aún podría haber la posibilidad de exportar este compuesto.

Por lo tanto el presente estudio se encamina directamente a la producción de óxido rojo de mercurio, con especificaciones tales como 99.0% de pureza mínima, coloración rojo-naranja, densidad de 3.66 g/cm<sup>3</sup>, dimensiones de la partícula de 7-12 micrones.

Tomando en cuenta ésto, primeramente se tratarán los diferentes procesos de producción del óxido, para seleccionar a continuación el proceso de producción conveniente, de acuerdo a las condiciones y facilidades que se pueden encontrar en México.

Teniendo el método de producción, se tratarán los problemas técnico, de producción industrial y económico. Finalmente se darán las conclusiones a las que se ha llegado.

GENERALIDADES DEL OXIDO DE MERCURIO.

El óxido de mercurio fué obtenido primeramente por Gebel en el siglo VIII, por calentamiento prolongado del mercurio metálico en presencia de aire. Los químicos antiguos lo llamaron MERCURIUS PRAECIPITATUS PER SE, debido a que se formaba aparentemente sin intervención de otra materia. Raymundo Lulio enseñó su preparación en el siglo XIII, partiendo del nitrato mercúrico. Llamó al precipitado obtenido MERCURIUS PRAECIPITATUS RUBER (1).

Es un sólido inodoro, de sabor metálico desagradable y muy venenoso. Calentandolo con precaución, sin descomponerse adquiere primero un color rojo violeta, que va pasando lentamente a color violeta obscuro y finalmente se vuelve casi negro, pero al enfriarse recobra su color original.

Se descompone lentamente en sus componentes cuando se abandona largo tiempo a la acción de la luz. También lo descomponen las substancias orgánicas como grasas, gomas, lactosa, glucosa, etc., cuando se mezclan íntimamente con él, aún en frío.

Cede su oxígeno a las substancias fácilmente oxidables. El óxido de mercurio mezclado con carbón y azufre, detona violentamente cuando se calienta. Las mezclas de fósforo y óxido de mercurio detonan con solo golpearlas.

Se descompone a 500 °C en mercurio y oxígeno (2), es soluble en ácidos, aún los débiles como el ácido acético; es muy ligeramente soluble en agua e insoluble en alcohol al 95% y en éter. Se presenta en dos formas que según imágenes de difracción electrónica son químicamente idénticas. La forma amarilla debe su coloración a su

fino estado de subdivisión (2 micrones o menos). La forma roja se produce en cristales más grandes o en agregados cristalinos con dimensiones comerciales de 10 a 20 micrones. El óxido rojo por trituration se convierte a la forma amarilla. Ambas formas tienen impurezas en los espacios intersticiales. Los cristales son ortorrómbicos con modificación hexagonal.

El 90% de los cristales se descomponen a 390 °C en un período de 11 días. La descomposición térmica del óxido de mercurio empieza a una temperatura de 350 °C. Debido al tamaño menor de sus partículas la forma amarilla tiene más actividad que la forma roja.

Las soluciones diluidas de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  precipitan el óxido de mercurio de las soluciones donde se encuentra el catión  $\text{Hg}^{2+}$  en frío y carbonato de mercurio básico en caliente, aunque raramente la precipitación es total.

La precipitación es favorecida por soluciones frías (3), bajo pH y la presencia de Mn, Co, Ni y  $\text{Cl}^{2+}$ .

La precipitación se inhibe completa o parcialmente por la presencia de aniones complejos como  $\text{I}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{CN}^-$ , exceso de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$  6 cationes como  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{W}^{6+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ .

El catión  $\text{Hg}^{2+}$  puede ser reducido a  $\text{Hg}^0$  por iones de alta potencia reductora en soluciones alcalinas fuertes.

El óxido mercurioso ( $\text{Hg}_2\text{O}$ ) no existe, pues el precipitado negro formado por la adición de hidróxido de sodio a una solución de nitrato mercurioso, se ha visto que es una mezcla íntima de óxido mercurioso y mercurio metálico ( aunque esta idea ha sido refutada en una publicación posterior ) (4).



## MEDIDAS DE PRECAUCIÓN EN EL MANEJO DEL MERCURIO Y SUS COMPONENTES (6)

El mercurio y sus compuestos se deben manejar con cuidado, tomando medidas de protección puesto que son productos bastante tóxicos para el organismo humano.

Toxicidad humana; es rápidamente absorbido por vía respiratoria ( vapores de mercurio elemental y polvo de compuestos de mercurio) por contacto de la piel o por ingestión accidental. El mercurio metálico es muy peligroso cuando se derrama o cuando se calienta, pues — produce vapores.

Las soluciones de sales de mercurio tienen un efecto corrosivo sobre la piel y las membranas mucosas, causan severas náuseas, vómitos, dolores de estómago, diarrea sanguinolenta, daños en los riñones y puede ocasionar aún la muerte.

Los síntomas de la intoxicación son: inflamación de la boca salivación excesiva, pérdida de los dientes, temblores musculares, — contracciones, calambres en las extremidades, cambios de personalidad, depresión, irritabilidad y nerviosismo.

La sensación de la quemadura dura varias horas.

Antídoto: Dimercaprol ( BAL )

Dimercaprol: 2,3, Dimercaprol - 1 - propanol; 1,2, Dithioglicerol; Dicaptol; BAL; BRITISH-ANTI-LEWISITE; Sulfactin  $C_3H_8OS_2$ ; peso molecular = 124.21.



Se desarrolló pensando en un reactivo para contrarrestar los efectos de los gases tóxicos usados en la guerra.

Es un producto efectivo para parar la acción de los agentes intoxicantes en el cerebro.

Se prepara mediante la bromación de alcohol alílico, formando dibromohidrina-glicerol, seguido de la reacción con hidrosulfuro de sodio bajo presión.

También se prepara por la hidrogenación del trisulfuro de hidroxipropileno según patente U.S. 2,402.665 (E.I. DuPont de Nemours & Co.; 1946 ).

Es un aceite líquido viscoso, picante, de olor ofensivo a mercaptanos. Es soluble en aceites vegetales. Se vende como una solución al 10% en aceite de cacahuete con 20% de benzoato de bencilo. Este último se añade debido a que el 2,3 dimercaprol-1-propanol es más estable en esta mezcla.

LD<sub>50</sub> im en ratas: 105 mg/kg.

Una variación de este antídoto que se usa en los países socialistas es el UETHIOL que es el sulfonato 2,3, dimercapto -1 - propanol de sodio.

Es un agente desintoxicante de envenenamientos debidos a metales pesados: arsénico, oro, mercurio.

Dosis: i.m. 2.5 mg/kg.

Efectos laterales: náuseas, vómitos y contracciones en el pecho.

### 2.3 REQUERIMIENTOS DEL OXIDO ROJO DE MERCURIO (7).

#### Requerimientos Fisicos:

Color: rojo-naranja.

Forma: polvo.

Tamaño de promedio de las partículas; 7.0-12.0 micrones.

Rango del tamaño de las partículas: hasta un máximo de —  
50 micrones.

Densidad =  $3.66 \text{ gr/cm}^3$  mínimo.

#### Requerimientos Químicos:

El óxido de mercurio debe ser uniforme en su composición, debe estar totalmente libre de cualquier metal extraño, con una pureza no menor de 99.0 %.

Las impurezas deben tener los siguientes límites máximos:

Residuos de ignición:	0.05%
Cloruros:	0.05%
Sulfatos:	0.01%
Hierro:	0.02%
Nitratos:	Ninguno.
Metales pesados:	0.01%
Insolubles en HCl.	0.1%

#### 2.4 Procedimientos de análisis:

La densidad se determina utilizando un volúmetro Scott y el tamaño promedio de la partícula se obtiene usando un subtamiz medidor Fisher.

#### Análisis químico del óxido de mercurio:

Pesar aproximadamente 0.4 gr. de muestra y disolver en 30 -

mls. de ácido acético (1:1). Dejarlo así moviéndolo de vez en cuando pero sin calor hasta que la disolución se complete. Filtrar a través de un crisol gooch con filtro de fibra de vidrio (Fisher 2.1 cm.) y lavar completamente con agua caliente. Comprobar con papel tornasol — que se ha logrado la completa eliminación del filtro. Agregar 15 mls. de ácido nítrico y agitar bien. Agregar 3 gotas de  $\text{KMnO}_4$  0.1 normal y agitar bien. Agregar una gota de sulfato ferroso al 2 %, agitar y dejarlos reposar durante 5 minutos. Si permanece el color rosa, agregar otra gota de sulfato ferroso, agitar y dejarlo reposar. Después que la solución se ha aclarado, agregar sulfato férrico de amonio indicador y titular con  $\text{NH}_4\text{SCN}$  0.1 normal. Calcular el % de  $\text{HgO}$ .

**Soluciones necesarias:**

Sulfato férrico de amonio: disolver 8 gr. de sulfato férrico de amonio en 100 mls. de agua destilada.

Tiocionato de amonio 0.1 N : disolver 7.612 grs de  $\text{NH}_4\text{SCN}$  en 100 mls. de agua destilada en un matraz aforado. Diluir hasta alcanzar la marca con agua destilada. Normalizar en contra del mercurio puro.

Sulfato ferroso al 2 %: disolver 2 grs. de sulfato ferroso en 100 Mls. de agua destilada. Agregar 2 o 3 gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y agitar bien.

**Residuos de ignición:**

Incinerar 5.0 grs. de  $\text{HgO}$  en un crisol de porcelana. No deberá quedar más de 0.0035 grs. Guardar el residuo para determinar el hierro.

**Determinación del hierro:**

Al residuo que se guardó en la prueba anterior, agregar — bisulfato de sodio y fundir bajo una llama moderada hasta que el li-

quido se aclare. Enfriar la mezcla. Tomar el líquido fundido con la menor cantidad de agua caliente posible y diluir a 50 cc. Tomar 10 cc. de esta solución y diluir a 40 cc. Agregar 3 cc. de ácido clorhídrico y 3 cc. de solución de tiocianato de amonio al 15%.

El color rojo producido no debe ser más intenso que el del blanco al cual se han agregado 0.2 mg. de hierro con el mismo volumen de ácido clorhídrico y tiocianato de amonio.

La solución control debe hacerse como sigue: disolver --- 0.1727 g. de sulfato férrico de amonio en agua destilada y llevarlo a un litro. 10 cc. de esta solución contienen 0.2 mg. de hierro.

#### Determinación de cloruros:

Calentar 2 gr de HgO rojo con 5 cc. de agua y 1 cc. de ácido nítrico hasta que se disuelva y diluir con agua hasta 30 cc. agregar 4 cc. de ácido fórmico y 8 cc. de hidróxido de amonio y calentar hasta que empiece una rápida efervescencia, después calentar en baño maría por 30 minutos o hasta que una gota de líquido claro no se oscurezca con ácido sulfhídrico.

Filtrar y lavar con agua a 40°C. dividir el filtrado en --- dos porciones de 20 cc. cada uno. Guardar una de las porciones para la determinación de sulfatos. A la otra porción se le agregan 4 cc - de HNO<sub>3</sub> y 1 cc. de AgNO<sub>3</sub> debiendo la turbidez producida no exceder a la que se obtenga en una solución control que contenga 0.5 mg. de --- iones de cloruro.

La solución de cloruro control se hace como sigue: disolver 0.107 g. de NH<sub>4</sub>Cl en agua. Llevar este volumen hasta un litro - utilizando un matraz aforado.

El blanco se hace como sigue: en un tubo de ensayo de 25 cc.

introducir 10 cc. de la solución control de cloruro, 1.5 cc de ácido fórmico, 2 cc. de hidróxido de amonio, 4 cc. de ácido nítrico y 1 cc. de nitrato de plata, llevarlo hasta la marca de 25 cc. con agua destilada. Comparar la turbidez producida en este tubo con la del tubo de la muestra.

Determinación de sulfatos:

Evaporar la porción de 20 cc. restante del filtrado de la muestra de cloruros a 10 cc., filtrar si es necesario. Agregar a este filtrado mediante una pipeta 0.5 cc. de ácido clorhídrico normal y 1 cc. de solución de cloruro de bario. Cualquier turbidez resultante no debe ser mayor que la producida en una muestra control.

La solución control de sulfato puede hacerse como sigue: disolver 0.03363 gr. de sulfato de potasio en agua. Llevarlo hasta un litro utilizando un matraz aforado. 5 cc. de esta solución contienen 10 mgs. de sulfato. Utilizar el mismo volumen como muestra.

El blanco se hace como sigue:

Evaporar 1.5 cc. de ácido fórmico y 2 cc. de hidróxido de amonio hasta sequedad en baño maría. Disolver el residuo y 5 cc. de la solución control, en agua suficiente para medir 10 cc. Tratar esta solución con los mismos volúmenes de ácido clorhídrico normal y solución de cloruro de bario como se hizo con la muestra.

Determinación de nitratos:

Mezclar 1 g. de óxido rojo de mercurio con 5 cc. de agua destilada, agregar 2 cc. de ácido sulfúrico, enriar la mezcla y con cuidado dejar caer sobre esta 2 cc. de solución de prueba de sulfato ferroso para formar capas separadas. No se debe desarrollar ninguna zona café en la línea de contacto.

La solución de prueba de sulfato ferroso se hace como sigue:

Disolver 8 g. de sulfato ferroso en agua destilada y diluir hasta 100 cc.

Determinación de metales pesados:

Incinerar lentamente 10 g. de  $HgO$  seco en un crisol de porcelana. Agregar cerca de 10 cc. de ácido nítrico concentrado y hervir suavemente hasta que solo queden 3 cc. Enfriar y después transferir a un vaso de precipitados lavando con el mínimo volumen de agua posible. Neutralizar con hidróxido de amonio diluido (1:1). A continuación agregar ácido acético al 6% hasta que desaparezca el color — rosa (más o menos de 2 a 3 mls.). Transferir a un tubo nessler para colorímetro. Agregar 10 cc. de agua saturada con ácido sulfhídrico, diluir hasta la marca. Comparar la turbidez con una solución tipo que contenga el equivalente de 0.01% de plomo.

Preparación de la solución tipo de plomo:

Disolver 0.1598 g. de nitrato de plomo en agua. Diluir a un litro en un matraz aforado. 1 ml. es igual a 0.1 mg. de plomo.

Determinación de insolubles en ácido clorhídrico:

Pesar 5 g. de óxido de mercurio seco en un vaso de precipitados. Agregar 200 ml. de  $HCl$  concentrado y calentar a ebullición — hasta que todo el  $HgO$  se disuelva. Enfriar y filtrar a través de un crisol gooch, secar y pesar. No deberán quedar más de 0.005 g. de residuo.

DETERMINACION DE OXIDO DE MERCURIO (8)

( Segundo método )

Disolver 0.4 g. de HgO en 20 ml. de HCl, pasarlo a un frasco de 100 ml. y diluirlo con agua.

Colocar 10 ml. de este producto a un matraz erlenmeyer. -- Tratar los 10 ml. con 2 a 3 ml. de NaOH, hasta que permanezca el precipitado. Añadir 1 ml. de KCN al 5% y agitar hasta que el precipitado se disuelva. Diluir a 50 mls. añadir 1 ml. de NaOH y 3 ml. de HCHO ( formaldehido ) al 30% con agitación vigorosa.

Acidificar con 6 ml. de ácido acético. Añadir 1 g. de KBr y 5 ml. de agua de bromo saturada. Eliminar el exceso de bromo con 2 o 3 ml. de solución de fenol al 5%. Dejar reposar por 3 minutos y añadir 2 o 3 gr. de KI y usando almidón como indicador titular con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.1 N.

1 ml. 0.1N de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  : 6.788 ml.- de  $\text{HgCl}_2$

1 ml. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.1N ; 5.415 ml.- de HgO

DETERMINACION DE MERCURIO EN OXIDO DE MERCURIO (9)

Control de mercurio mediante un método gravimétrico con 2 mercapto, 5 anilino - 1,3,4 - thiodiazole.

El reactivo está en una solución alcohólica al 5%. Debe ser guardado en frascos bien cerrados. Las muestras conteniendo la solución del HgO son precipitadas en frío por adición del reactivo.

La precipitación del Hg<sup>0</sup> es inmediata, formándose en soluciones neutras o débilmente ácidas. Si la solución es ácida se debe alcalinizar. El ácido nítrico en más de 0.2 - 0.3 N oxida al reactivo, por lo que debe ser eliminado.

El precipitado se filtra y en un vaso se lava con etanol y ester etílico, se seca y se pesa.

El precipitado tiene la fórmula S.C.(NHPh):N.N.CS<sub>2</sub> Hg

### 3.1 METODOS DE PRODUCCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO.

#### METODO DE CLORACION (10)

La materia prima para la producción del óxido de mercurio mediante este proceso es la siguiente: cloro, sosa cáustica, y mercurio metálico elemental.

El primer paso es la preparación de cloruro mercuríco en solución. Esto se lleva a cabo en un recipiente de vidrio, forrado. El recipiente se llena inicialmente con una solución salina. El mercurio se introduce al recipiente a través de una válvula. En la línea de flujo se coloca una trampa para evitar que fluya gas desde el recipiente de reacción hasta el recipiente de mercurio. El mercurio se introduce a un tanque elevado de almacenamiento, por medio neumático a presión, desde el tanque al nivel del piso.

Simultáneamente conforme el mercurio se introduce en el recipiente de reacción, se debe aplicar una agitación vigorosa e introducir el cloro gaseoso mediante un tubo sumergido. Se debe mantener en el recipiente una presión positiva de gas cloro. El cloro se suministra desde los cilindros localizados fuera del edificio. El cloro líquido se extrae de los cilindros y se hace pasar a través de un evaporador y una válvula reductora de presión. La presión del gas cloro en el envase de reacción se controla mediante válvulas.

El mercurio y el cloro reaccionan en el recipiente para formar cloruro mercuríco. Se hace circular agua fría a través de la cubierta del recipiente de reacción para mantener la temperatura ligeramente arriba de la ambiental.

La solución se recircula por bombeo externo desde el fondo a

la parte superior del reactor, durante el curso de la reacción. Cerca del final de la reacción se pasa vapor a través de la cubierta para elevar gradualmente la temperatura de la solución. Al completarse la reacción, la válvula de salida se abre y se deja que ebulle la solución durante algún tiempo para expeler el pequeño exceso de cloro.

La solución de cloruro mercúrico caliente se bombea a un tanque de almacenamiento. Otro tanque de almacenamiento de proceso contendrá la solución de sosa cáustica caliente. Las soluciones se mantienen calientes mediante vapor.

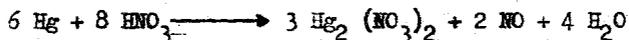
Ambas soluciones son bombeadas a un tanque de precipitación a baja velocidad. El tanque se calienta con vapor y la velocidad de flujo de cada solución, se regula mediante un sistema de control de pH para mantenerlo constante. Se debe mantener una agitación ligera en este tanque. El óxido de mercurio precipita en este tanque y se deposita en el fondo.

Las aguas madres son drenadas mediante salidas laterales, lavando el óxido con agua en el mismo tanque. El óxido se extrae desde el fondo y se conduce hacia filtros horizontales donde se lava de nuevo y se drena. El óxido húmedo se extrae del filtro y mediante una tolva se pasa a un secador cónico donde se seca con calor y vacío. A continuación se pasa el producto a un molino granulador para obtener el tamaño de partícula deseado.

## PRODUCCION DE OXIDO DE MERCURIO POR EL METODO SECO (11).

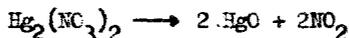
La materia prima necesaria para la producción de óxido de mercurio por este proceso es: mercurio tridestilado y ácido nítrico.

Primeramente se prepara una solución de nitrato mercurioso, tratando mercurio metálico en gran exceso con solución diluida de ácido nítrico calentada a ebullición ( solución 1:1 en volumen ).



En condiciones apropiadas la cantidad de ácido nítrico usado puede acercarse bastante a las proporciones indicadas en la ecuación. La solución de nitrato mercurioso saturada y caliente se introduce en un cristizador refrigerado con agua. El nitrato mercurioso cristaliza en forma de dihidrato  $\text{Hg}_2 (\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Se saca del cristizador por medio de un usillo, llevando los cristales hasta una tolva de almacenamiento. Las aguas madres pueden devolverse al reactor de formación de nitrato mercurioso. La reacción se lleva a cabo a la presión atmosférica. La temperatura de reacción debe ser de 70°C. El cristizador y todo el equipo auxiliar deberá ser de acero inoxidable.

El mecanismo de transformación del nitrato mercurioso en óxido rojo de mercurio se basa en la siguiente ecuación de reacción.



Al aplicarles calor a los cristales hidratados, se funden primero en su agua de cristalización. Después se expulsa el ácido nítrico por ebullición y se forma un nitrato básico amarillo y duro. A una temperatura de 180°C empiezan a desprenderse vapores de  $\text{NO}_2$ . El calentamiento debe seguir hasta que el producto no contenga nitrato.

Hay pérdidas de óxido de mercurio por evaporación debido a que la presión de vapor es muy perceptible a las temperaturas de calcinación. A cualquier temperatura de calcinación habrá pérdidas. Si la temperatura de calcinación es muy baja, el tiempo que se necesitaría sería muy grande, la cantidad de calor también, además de que se formarían terrones no completamente calcinados con cierto contenido de nitrato. Si la temperatura es alta el ciclo de calentamiento es corto, hay menor consumo de calor, se obtiene un producto más puro pero las pérdidas de mercurio son altas.

La temperatura de trabajo se deduce entonces que debe estar en un rango de 350-400°C. A esta temperatura habrá de 3 a 5% de pérdida de mercurio debido a la evaporación. El mercurio evaporado se puede recuperar mediante un precipitador electrostático, juntándose el mercurio sobre los electrodos y escurriendo en forma de gotas.

El material se debe mantener en movimiento continuo mientras se calienta, lo que se puede lograr mediante una retorta giratoria. El calor se aplica desde el exterior por fuego directo. La retorta será de acero inoxidable, debiendo tener un control automático de temperatura para evitar excesivas pérdidas por sobrecalentamiento.

En todos los pasos del proceso se desprenden humos de óxido de nitrógeno. El reactor y el cristalizador deben estar bajo campanas conectadas a un sistema de ductos que tengan una presión negativa. La retorta debe estar igualmente conectada a una torre de absorción para evitar que estos humos salgan directamente.

## PROCESO DE OBTENCIÓN DE ÓXIDO DE MERCURIO POR ATOMIZACIÓN (12)

El mercurio se pasa a través de una boquilla y se hace chocar sobre una superficie reflejante y vibrante ( vibración por medio de un oscilador ) en una atmósfera inerte o reductora. Después el metal atomizado se pasa a través de una atmósfera oxidante.

El mercurio caliente se alimenta a través de una tubería — caliente a un recipiente mediante la boquilla con espreas. El rocío de la boquilla choca contra un oscilador vibratorio rotacional. El ángulo de la área de reflexión relativa al chorro de metal puede ser ajustado mediante el movimiento del oscilador.

La atmósfera reductora tal como puede ser el gas hidrógeno se alimenta a través de un conducto, y una llama de gas calienta — la superficie reductora del oscilador. Así el metal adquiere la temperatura requerida para ser alimentado a la zona oxidante de aire caliente con o sin adición de oxígeno.

El polvo de metal parcialmente oxidado cae a través de un embudo dentro de una criba sacudidora para ser cernido si es necesario. La atomización es preferible a 40-300 kHz y la zona oxidante — debe tener una temperatura mayor de 100°C. pero menor que la temperatura de evaporación del metal pulverizado. El polvo producido tiene de 1-50 micrones de diámetro con un máximo de variación del 20%.

Este método usa más o menos 25% de la energía consumida — en los anteriores métodos.

### PRODUCCION DE OXIDO DE MERCURIO CON SOLUCION DE NaOH (13).

El proceso general consiste de la adición simultánea de nitrato mercúrico e hidróxido de sodio al agua, con agitación y a una temperatura elevada, mientras se mantiene la mezcla de reacción a una alcalinidad constante de 0.1-0.6 normal.

Bajo tales condiciones se obtiene generalmente el óxido amarillo de mercurio. El mecanismo por el cual el sistema presente produce el óxido rojo no está completamente entendido.

La presencia de cantidades substanciales de NaCl y el control riguroso de las condiciones de proceso, influyen en la reacción para producir el óxido rojo. El NaCl puede estar en solución o en suspensión, preferentemente a un rango de temperatura de 80-125°C. y al menos 24 partes por peso de NaOH por 100 partes en peso de  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , se debe usar para mantener la alcalinidad.

Las cantidades relativas de reactivo, temperatura y condiciones de mezclado determinan el tamaño, la densidad y la homogeneidad de las partículas. En este proceso queda muy poco mercurio en los subproductos.

#### Ejemplo de proceso:

La suspensión de NaCl (200 lb.) fué cargado a un reactor lineal encaquetado y equipado con un agitador. La suspensión se calentó a 100°C. agitándola. Una solución acuosa (30 galones: 11.12 N) de  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  y una solución acuosa (27 galones: 11.65 N) de NaOH fué simultáneamente añadida al recipiente a una velocidad de 3 galones por minuto, mientras el contenido del recipiente se mantiene a 100-105°C. Después que la adición se completó, la mezcla de reacción que tenía una concentración alcalina de 0.2 N se decantó y el precipitado se lavó con agua, filtrando al vacío y secando.

METODO DE OBTENCION DE OXIDO DE MERCURIO POR MEDIO DE OXIDACION  
ELECTROLITICA.

Generalidades de la pila que se usa en la producción del —  
óxido de mercurio (23).

Tanque de la pila: acero

Dimensiones : Longitud : 250 cm.

Anchura : 140 cm.

Altura : 67.5 cm.

Ánodo : Mercurio

Densidad de corriente : 1.7 - 2.0 A/dm<sup>2</sup>

Cátodo : Hierro colado perforado.

Separación entre el cátodo y el ánodo : menor de 2.5. cm.

Electrolito : 5 g/lit. de NaCl.

40 g/lit. de NaOH.

80 g/lit. de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

1 g/lit. de goulac.

Temperatura de operación : 50 - 55°C.

Tensión : 12 - 17 voltios.

Intensidad : 1600 - 1800 amperios.

Proceso : continuo.

Gasto de energía : Kw-hr/Kg de producto : 4.4

Rendimiento : 0.2 Kg/ Kw-hr.

La base del tanque de acero está inclinada respecto a las -  
paredes verticales con un desnivel vertical de 115 cm. teniendo en la  
parte inferior una abertura de tubería de 10 cm. Horizontalmente a -  
unos 40 cm. por debajo de la parte superior de la pila, pende una ban  
deja de hormigón de 2 metros de longitud por 50 cm. de anchura, por -

5 cm. de profundidad y paredes de un espesor de 5 cm. Esta bandeja de hormigón contendrá el mercurio.

El cátodo de hierro colado perforado estará suspendido sobre la bandeja. Sobre la superficie del mercurio se forma una capa de óxido que continuamente resbala junto con algo de mercurio ocluido cayendo al fondo de la pila. Al centro de la parte baja del cátodo se fija un rascador de hormigón que se sumerge en la bandeja y la recorre de un extremo a otro. El cátodo y el rascador están soportados por una estructura que se mueve a lo largo de la bandeja hacia uno y otro lado, 12 o 15 veces por hora. El rascador empuja el óxido acumulado hacia el borde de la bandeja.

La materia acumulada en el fondo de la pila es extraída con el electrolito y va a un recipiente previsto de agitador, donde las gotículas de mercurio pueden reunirse e ir al fondo, por donde se dá salida a aquel. El óxido de mercurio queda en suspensión, y mediante una bomba es inyectado a través de un filtro-prensa. Los panes o tortas que se recogen en éste contienen 56% de mercurio en forma de óxido y 26% de mercurio libre. El líquido que sale de los filtros se diluye con agua, para compensar la pérdida por evaporación y electrólisis, y se vuelve a la pila.

La corriente positiva es conducida al mercurio mediante placas de acero que se sumergen en él, en cada extremo de la bandeja. Los conductores anódicos van revestidos de caucho en la parte que atraviesa el electrolito.

Cuando la tensión ha aumentado hasta 17 voltios, se añade mercurio hasta que caiga a 12 voltios.

### 3.2 SELECCION DEL PROCESO DE PRODUCCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO.

En la selección del método apropiado para la producción industrial del óxido rojo de mercurio, se tomaron en cuenta varios factores:

1.- Propiedades físicas y químicas que se requieren, tales como - la densidad, la pureza, tamaño de partícula, coloración, etc.

Cuatro de los cinco métodos cumplen con estas condiciones, -- pues cambiando las variables de operación en cada uno de ellos se puede alcanzar la pureza y densidad requeridas.

El método que quedaría relativamente descartado, sería el -- electrolítico, pues según la descripción bibliográfica del método, el óxido que se obtendría quedaría mezclado con mercurio metálico.

2.- La incertidumbre de los métodos o la facilidad de experimentación.

Con esta condición se debe descartar el método de obtención - del óxido mediante atomización ya que presenta complicaciones de tipo experimental, que con dificultad se podrían realizar en el laboratorio.

3.- Dimensiones del equipo.

De los tres métodos que quedan: cloración, precipitación con hidróxido de sodio y cloruro de sodio y el de calcinación, se puede -- observar que en todos ellos el material que se debe usar en la construcción del equipo, deberá ser de acero inoxidable ( 316 ), por lo que -- las dimensiones del equipo será un factor decisivo en la selección del proceso, por el alto costo de este tipo de acero.

Los métodos de cloración y de precipitación, se realizan casi en su totalidad por vía húmeda, lo que dará lugar a que se tenga que -- usar un equipo con dimensiones grandes.

El método de calcinación tendrá un dimensionamiento de su --

equipo menor que el de los dos anteriores, aunque presenta el problema de que en las reacciones se emiten vapores nitrosos que no deben salir a la atmósfera directamente, pues son tóxicos.

En conclusión los tres últimos procesos son factibles de llevar a cabo. Aquí se escogerá el proceso de producción por medio de la calcinación para ser desarrollado, quedando los otros dos como alternativas viables.

DESARROLLO DEL METODO DE PRODUCCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO POR CALCINACION

3.3- BALANCE DE MATERIALES

El cálculo del balance de materiales, así como el balance de energía constituyen el cimiento de la ingeniería química, ya que todo el cálculo subsecuente se basa en el balance.

Se debe escoger un reactivo limitante para tomar una base de cálculo. En este caso el reactivo limitante será el mercurio; debido a su alto costo.

BALANCE DE MATERIALES EN EL REACTOR DE NITRACION DE MERCURIO

Reacción estequiométrica.



Base : 50 Kg. de mercurio líquido destilado.

1.- Cantidad de ácido nítrico necesaria para la reacción.

Se ve que 6 moles de mercurio reaccionan con 8 moles de ácido nítrico por lo que:

$$\text{Cantidad de ácido nítrico} = 50 \text{ Kg. de mercurio} \times \frac{1 \text{ mol. de Hg}}{200 \text{ g de Hg}} \times$$

$$\times \frac{8 \text{ moles de ácido}}{6 \text{ moles de Hg}} \times \frac{63 \text{ g de ácido nítrico}}{1 \text{ mol de ácido}}$$

Cantidad de ácido nítrico necesaria = 21 Kg

Experimentalmente se ha visto que para que la reacción de los 50 Kg de mercurio sea total, es necesario agregar un gran exceso de ácido nítrico. Se debe agregar tres veces la cantidad de ácido nítrico estequiométrica.

Cantidad real de ácido nítrico = 63 Kg

Cálculo del volumen ocupado por el ácido nítrico reaccionante.

El ácido nítrico tiene una densidad promedio:

$$\rho = 1.4 \text{ g/cm}^3 = 1.4 \text{ Kg/lt}$$

volumen ocupado por el ácido nítrico reaccionante:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{63 \text{ Kg}}{1.4 \text{ Kg/lit.}} = 45 \text{ lt}$$

2.- Cálculo de la cantidad de agua necesaria para la dilución del ácido nítrico:

Preparación de una solución 1:1 en volumen de ácido nítrico.

Teniendo 45 lt. de ácido nítrico se necesitan 45 lt. de agua para obtener la solución. Por lo tanto:

El peso del agua usada en la preparación de la solución será:

$$m = V \times \rho = 45 \text{ lt} \times 1 \text{ Kg/lit} = 45 \text{ Kg}$$

siendo la densidad del agua igual a  $\rho = 1 \text{ Kg/lit}$

3.- Cantidad de nitrato mercurioso formado en el reactor. Se considera una reacción total del mercurio con el ácido nítrico.

De acuerdo a la ecuación de reacción 6 moles de mercurio producen 3 moles de nitrato mercurioso dihidratado, por lo que:

cantidad de nitrato mercurioso formado: 50 Kg de mercurio x

$$\frac{1 \text{ mol de mercurio}}{200 \text{ g de mercurio}} \times \frac{3 \text{ moles de nitrato}}{6 \text{ moles de mercurio}} \times \frac{560 \text{ g de nitrato}}{1 \text{ mol de nitrato}} =$$

cantidad de nitrato mercurioso dihidratado formado = 70 Kg

Volumen ocupado por el nitrato mercurioso formado:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{70 \text{ Kg}}{4.78 \text{ Kg/lit}} = 14.629 \text{ lt}$$

siendo la densidad del nitrato dihidratado  $\rho = 4.785 \text{ Kg/lit}$

4.- Cantidad de óxido de nitrógeno (NO) gaseoso formado en el reactor.

cantidad de óxido de nitrógeno = 50 Kg de mercurio x ...

$$\frac{1 \text{ mol de mercurio}}{200 \text{ g de mercurio}} \times \frac{2 \text{ moles de NO}}{6 \text{ moles de Hg}} \times \frac{30 \text{ g de NO}}{1 \text{ mol de NO}} =$$

cantidad de óxido de nitrógeno formado = 2.5 Kg

volumen de gas formado en condiciones normales (0°C y 1 atm.)

$$\text{volumen normal} = 2.5 \text{ Kg de NO} \times \frac{1 \text{ mol de NO}}{30 \text{ g de NO}} \times \frac{22.4 \text{ lt de NO}}{1 \text{ mol de NO}} =$$

$$\text{volumen normal} = 1,865.9 \text{ lt de N}_6$$

volumen de gas emitido a las condiciones de operación:

$$\text{volumen de gas} = 1,865.9 \text{ lt} \times \frac{343 \text{ }^\circ\text{K}}{273 \text{ }^\circ\text{K}} \times \frac{760 \text{ mm de Hg}^\circ}{586 \text{ mm de Hg}^\circ} =$$

volumen de óxido de nitrógeno gaseoso = 3,040.0 lt

5.- Cantidad de agua formada en la reacción química:

$$\text{cantidad de agua} = 50 \text{ Kg de mercurio} \times \frac{1 \text{ mol de mercurio}}{200 \text{ g de mercurio}} \times \dots$$

$$\frac{4 \text{ moles de H}_2\text{O}}{6 \text{ moles de Hg}} \times \frac{18 \text{ g de H}_2\text{O}}{1 \text{ mol de H}_2\text{O}} = 3 \text{ Kg}$$

cantidad de agua formada = 3 Kg

$$\text{volumen de agua formada} = \frac{m}{\rho} = \frac{3 \text{ Kg}}{1 \text{ Kg/lt}} = 3 \text{ lt}$$

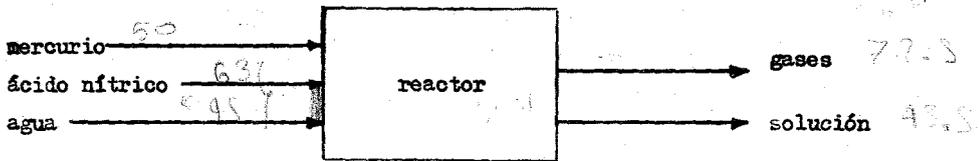
volumen total de agua después de efectuada la reacción:

volumen total de agua = 48 lt.

Ecuación de proceso en el reactor de nitración.

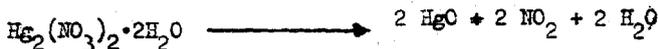
50 Kg de mercurio + 63 Kg de ácido nítrico + 45 Kg de agua = ...

70 Kg. de nitrato mercurioso + 2.5 Kg de NO + 43.5 Kg de agua



**BALANCE DE MATERIALES EN LA RETORTA GIRATORIA (HORNO DE CALCINACION)**

Ecuación de reacción;



Cantidad de óxido de mercurio formado en la retorta giratoria,

tomando como base inicial los 50 Kg de mercurio que producen 70 Kg de nitrato mercurioso dihidratado.

cantidad de óxido de mercurio = 70 Kg de nitrato mercurioso x ...

$$\frac{1 \text{ mol de nitrato}}{560 \text{ g de nitrato}} \times \frac{2 \text{ moles de óxido}}{1 \text{ mol de nitrato}} \times \frac{216 \text{ g de óxido de mercurio}}{1 \text{ mol de óxido de mercurio}}$$

cantidad de óxido de mercurio formado : 54 Kg

Debido a la temperatura elevada con que se trabaja, habrá pé  
ridas de óxido de mercurio, por evaporación de sus componentes. Experi  
mentalmente se ha visto que a una temperatura de calcinación de 370°C  
hay 5 % de pérdidas del óxido de mercurio .

$$\text{cantidad real de óxido de mercurio} = 54 \text{ Kg} \times 0.95 = 51.3 \text{ Kg}$$

volumen ocupado por el óxido de mercurio formado:

$$\text{densidad del óxido de mercurio} = 3.66 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{volumen del óxido} = \frac{m}{\rho} = 14.01 \text{ lt}$$

Cálculo de la cantidad de mercurio formado debido a la descom  
posicion del óxido de mercurio en la calcinación:

ecuación de reacción.



$$\text{cantidad de óxido de mercurio que se descompone} = 54 \times 0.05 =$$

$$\text{cantidad de óxido de mercurio} = 2.7 \text{ Kg}$$

$$\text{cantidad de mercurio} = 2.7 \text{ Kg de óxido de mercurio} \times \dots$$

$$\frac{1 \text{ mol de HgO}}{216 \text{ g de HgO}} \times \frac{1 \text{ mol de Hg}^0}{1 \text{ mol de HgO}} \times \frac{200 \text{ g de Hg}^0}{1 \text{ mol de HgO}} = 2.5 \text{ Kg}$$

$$\text{cantidad de mercurio formado} = 2.5 \text{ Kg}$$

2.- Cantidad de dióxido de nitrógeno que se desprende en la  
retorta de calcinación:

$$\text{cantidad de dióxido de nitrógeno} = 70 \text{ Kg de nitrato mercurioso} \times$$

$$\frac{1 \text{ mol de nitrato}}{560 \text{ g de nitrato}} \times \frac{2 \text{ moles de NO}_2}{1 \text{ mol de nitrato}} \times \frac{46 \text{ g de NO}_2}{1 \text{ mol de NO}_2}$$

$$\text{cantidad de dióxido de nitrógeno} = 11.5 \text{ Kg}$$

Cantidad de agua liberada en la calcinación ( pues el nitrato

mercuroso está dihidratado).

cantidad de agua = 70 Kg de nitrato mercuroso x ...

$$\frac{1 \text{ mol de nitrato}}{560 \text{ g de nitrato}} \times \frac{2 \text{ moles de agua}}{1 \text{ mol de nitrato}} \times \frac{18 \text{ g de agua}}{1 \text{ mol de agua}} = 4.5 \text{ Kg}$$

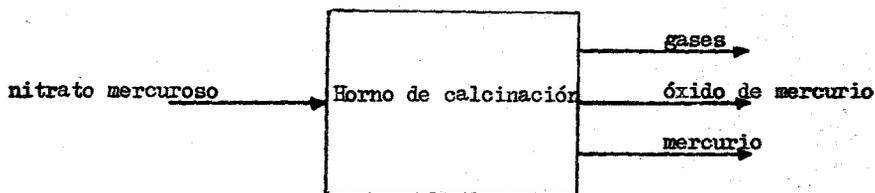
cantidad de agua = 4.5 Kg

Cantidad de oxígeno que se desprendería debido a la descomposición del óxido de mercurio durante la calcinación.

Cantidad de oxígeno = 2.7 Kg de óxido de mercurio x ...

$$\frac{1 \text{ mol de HgO}}{216 \text{ g de HgO}} \times \frac{\frac{1}{2} \text{ mol de oxígeno}}{1 \text{ mol de HgO}} \times \frac{32 \text{ g de oxígeno}}{1 \text{ mol de oxígeno}} = 0.200 \text{ Kg}$$

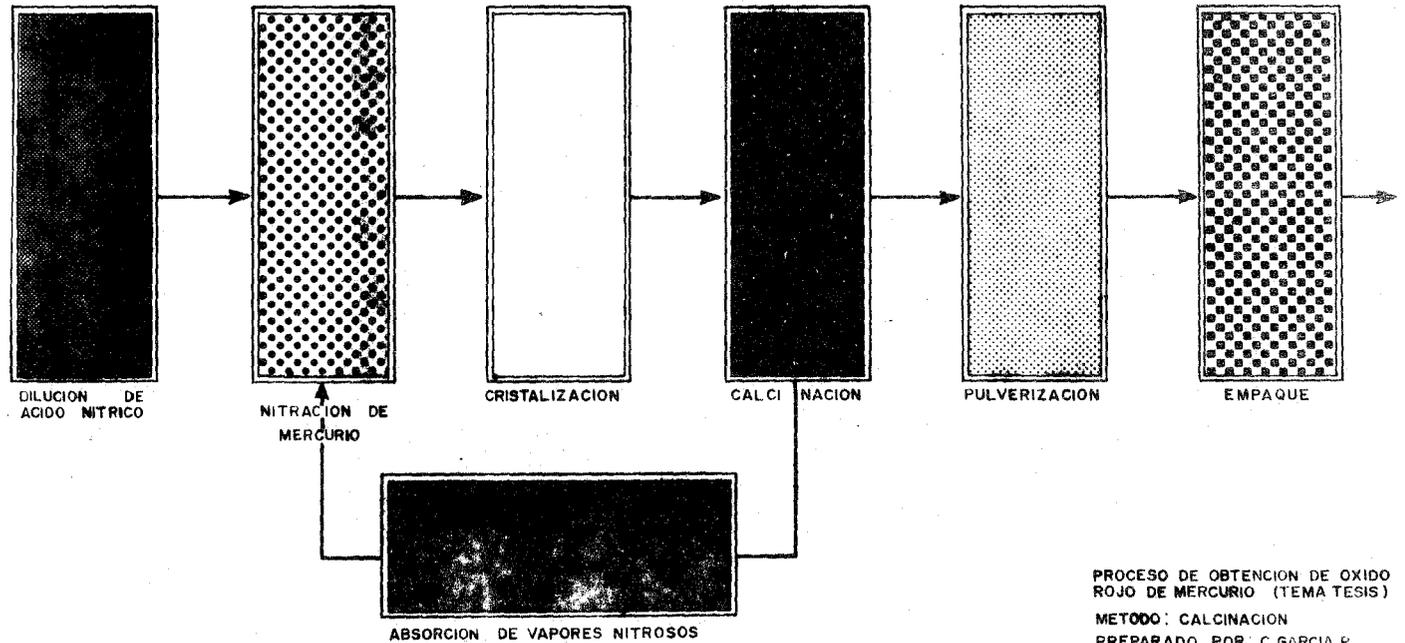
cantidad de oxígeno = 0.200 Kg



Ecuación de proceso:

70 Kg de nitrato mercuroso  $\longrightarrow$  51.3 Kg de óxido de mercurio + 11.5 Kg de dióxido de nitrógeno + 4.5 Kg de agua (g) + 2.5 Kg de mercurio + 0.200 Kg de oxígeno.

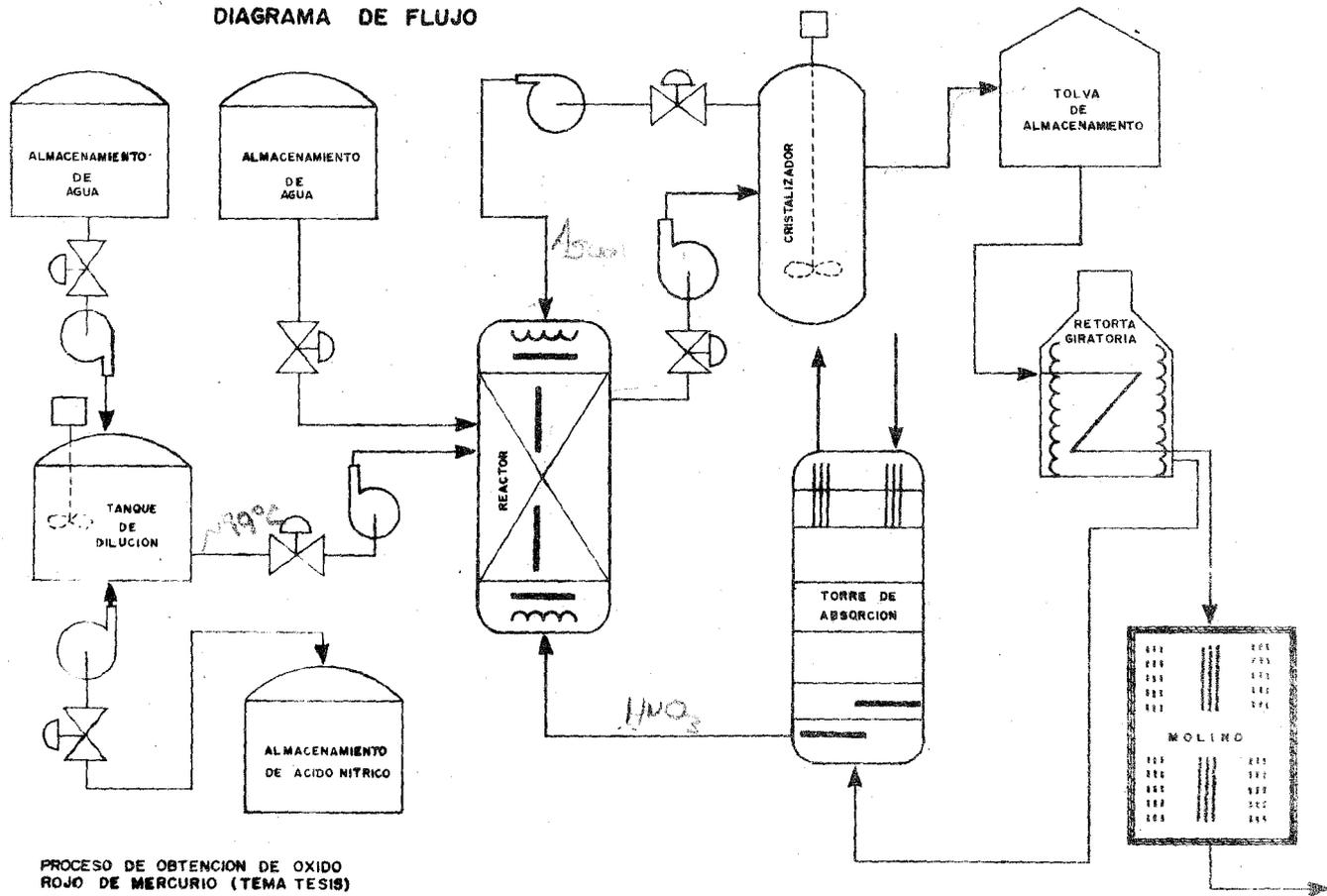
## DIAGRAMA EN BLOQUES



PROCESO DE OBTENCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO (TEMA TESIS)

METODO: CALCINACION  
PREPARADO POR: C. GARCIA P.  
FAC. DE QUIMICA U. N. A. M.

## DIAGRAMA DE FLUJO



PROCESO DE OBTENCION DE OXIDO  
 ROJO DE MERCURIO (TEMA TESIS)  
 METODO: CALCINACION  
 PREPADO POR: C. GARCIA P.  
 FAC. DE QUIMICA U.N.A.M.  
 1974.

### 3.4 BALANCES DE ENERGIA.

#### BALANCE DE ENERGIA EN EL TANQUE DE DILUCION DE ACIDO NITRICO.

La dilución del ácido nítrico genera calor, pues es un proceso exotérmico, por lo que se eleva la temperatura de la solución formada.

Cantidad de ácido nítrico que se va a diluir = 63 Kg

$$\text{cantidad de ácido nítrico en moles} = \frac{63 \text{ Kg}}{63 \text{ g/mol}} = 1,000 \text{ moles}$$

calor latente de dilución (14) del ácido nítrico = -5.3 Kcal/mol

calor desprendido = -5.3 Kcal/mol x 1,000 moles = - 5,300 Kcal

Cálculo de la elevación de la temperatura de la solución debido al calor desprendido en la dilución del ácido nítrico.

calor específico de la solución de ácido nítrico = 0.650 cal/g°C

Ecuación del balance de energía para el calor sensible.

$$Q = w C_p (t_2 - t_1)$$

Q : calor liberado durante la dilución = - 5,300 Kcal

w : masa que absorbe el calor de dilución = masa de ácido nítrico + masa de agua = 108 Kg

t<sub>2</sub> : temperatura de salida de la solución

t<sub>1</sub> : temperatura de entrada de los componentes : 20°C

despejando la incógnita:

$$t_2 = t_1 + \frac{Q}{w C_p}$$

t<sub>2</sub> = 95.5 °C : temperatura de salida de la solución.

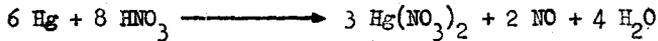
#### BALANCE DE ENERGIA EN EL REACTOR DE NITRACION DE MERCURIO.

Principalmente se deben de considerar los calores de reacción pues será la fuente principal de generación de calor, ya que es una reacción exotérmica.

Ecuación del balance de energía en una reacción química:

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \Delta H_{\text{productos}} + \Delta H_{\text{reactivos}}$$

Reacción que se efectúa:



Datos de calores de formación de los reactivos y productos

calor de formación del mercurio  $H = 0.0 \text{ Kcal/mol}$

calor de formación del ácido nítrico  $H = -41.4 \text{ Kcal/mol}$

calor de formación del nitrato mercurioso  $H = -58.5 \text{ Kcal/mol}$

calor de formación del óxido de nitrógeno  $H = 21.6 \text{ Kcal/mol}$

calor de formación del agua (1)  $H = -68.3 \text{ Kcal/mol}$

Cantidades de productos y reactivos expresados en moles

moles de nitrato mercurioso  $= \frac{70,000 \text{ g}}{560 \text{ g/mol}} = 125 \text{ moles}$

moles de óxido de nitrógeno  $= \frac{2,500 \text{ g}}{30 \text{ g/mol}} = 83.3 \text{ moles}$

moles de agua  $= \frac{3,000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 166.6 \text{ moles}$

moles de mercurio  $= \frac{50,000 \text{ g}}{200 \text{ g/mol}} = 250.0 \text{ moles}$

moles de ácido nítrico  $= \frac{21,000 \text{ g}}{63 \text{ g/mol}} = 333.3 \text{ moles}$

Calor de formación de los productos.

$$\Delta H_{\text{productos}} = 125 \text{ moles} \times (-58.5 \text{ Kcal/mol}) + 83.3 \text{ moles} \times \dots \\ (21.6 \text{ Kcal/mol}) + 166.6 \text{ moles} \times (-68.32 \text{ Kcal/mol})$$

$$\Delta H_{\text{productos}} = -16,898.7 \text{ Kcal}$$

Calor de formación de los reactivos.

$$\Delta H_{\text{reactivos}} = 250 \text{ moles} \times (0.0 \text{ Kcal/mol}) + 333.3 \text{ moles} \times \dots \\ (-41.4 \text{ Kcal/mol})$$

$$\Delta H_{\text{reactivos}} = -13,799.8 \text{ Kcal}$$

Calor de reacción.

$$\Delta H_{\text{reacción}} = -16,898.7 \text{ Kcal} - (-13,799.8 \text{ Kcal}) = -3,098.5 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = -3,098.5 \text{ Kcal} \times 3.97 \frac{\text{BTU}}{\text{Kcal}} = -12,301.9 \text{ BTU}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = -12,301.9 \text{ BTU}$$

Se ve que al llevarse a cabo la reacción química hay desprendimiento de energía lo que indica que es una reacción exotérmica. Aunque hay desprendimiento de energía en la reacción, es necesario suministrar calor para que dicha reacción se lleve a cabo a una temperatura de 70°C.

Cálculo de la cantidad de energía que se debe suministrar en forma de calor para que la reacción se lleve a cabo a las condiciones especificadas.

El calor que se desprende al llevarse a cabo la reacción exotérmica, hace que se eleve la temperatura en las masas reaccionantes. Se puede calcular la temperatura teórica que se alcanzaría debido a la generación de esta energía. Se usa la ecuación del balance de energía sensible.

$$Q = w C_p (t_2 - t_1)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q}{w C_p}$$

Q : calor emitido en la reacción exotérmica = 3,098.72 Kcal

w : masa de las sustancias reaccionantes = 158.00 Kg

$\bar{C}_p$ : calor específico promedio (cálculo):

calor específico de la solución de ácido nítrico = 0.65 cal/g°C

calor específico del mercurio = 0.033 cal/g °C

fracciones en peso de las sustancias reaccionantes:

$$x_{\text{HNO}_3} = \frac{63 + 45}{63 + 45 + 50} = 0.68$$

$$x_{\text{Hg}} = \frac{50}{158} = 0.32$$

$$\begin{aligned} \text{calor específico promedio} &= 0.65 \times 0.68 + 0.033 \times 0.32 = \\ &= 0.45 \text{ cal/g}^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

t<sub>1</sub>: temperatura inicial de los reactivos = 20°C.

Substituyendo valores en la ecuación del balance de energía:

$$t_2 = 20 + \frac{3,098.72 \text{ Kcal}}{158 \text{ Kg.} \times .45 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}} = 63^\circ\text{C}$$

La temperatura de  $63^\circ\text{C}$  se alcanzaría teóricamente con el simple hecho de realizarse la reacción de nitración del mercurio. Ahora bien, como se debe de realizar la reacción a una temperatura de  $70^\circ\text{C}$ , es necesario colocar una fuente de calor que suministra la energía que se necesita para llegar a esa temperatura. La cantidad de energía necesaria que se debe agregar será:

$$Q = 158 \text{ Kg.} \times 0.45 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (70-63) = 4.98 \times 10^5 \text{ cal}$$

$$Q = 498 \text{ Kcal.}$$

#### BALANCE DE ENERGIA EN EL CRISTALIZADOR.

Para que pueda realizarse la cristalización del nitrato mercurioso, la solución se debe concentrar y después enfriar por medio de agua.

La cristalización del nitrato mercurioso es un proceso exotérmico. Por lo tanto, además del calor que se debe eliminar para lograr el enfriamiento de la solución, también es necesario quitar el calor generado al formarse los cristales de nitrato.

La temperatura de reacción que se tiene en la nitración del mercurio será de  $70^\circ\text{C}$ , por lo tanto esta temperatura deberá ser la que tenga la solución en la entrada al cristalizador. La temperatura a la que sale la solución después de pasar por el cristalizador será de  $25^\circ\text{C}$ .

Se debe usar de nuevo la ecuación del balance de energía, determinando las variables que ella contiene.

El calor específico de la solución será un promedio de los calores específicos del agua, del ácido nítrico y del nitrato mercurioso. Tomando en consideración las fracciones de cada uno de los compo-

entes.

calor específico del agua = 1 cal/g°C

Calor específico del nitrato mercuroso.- Debido a que no se encontraron datos experimentales, se tuvo que usar el método de calores atómicos aditivos(15).

calor atómico aditivo	elemento
8.0	Hg
8.0	N
6.0	O
4.3	H

$$C_p = \frac{8.0 \times 2 + (8.0 + 6.0 \times 3) \times 2 + 2(4.3 \times 2 + 6.0)}{560}$$

$$C_p = 0.17 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$$

peso molecular del nitrato mercuroso dihidratado = 560 g/mol

calor específico del ácido nítrico = 0.51 cal/g.°C

fracciones en peso de cada uno de los componentes:

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{45}{45 + 42 + 70} = 0.28$$

$$X_{\text{nitrato}} = \frac{70}{157} = 0.45$$

$$X_{\text{HNO}_3} = \frac{42}{157} = 0.27$$

calor específico de la solución:

$$C_p = 1.0 \times 0.28 + 0.17 \times 0.45 + 0.51 \times 0.27 = 0.495 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Cantidad de calor que hay que eliminar mediante el enfriamiento con agua:

$$Q_s = 157 \text{ Kg} \times 0.495 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (25-70) = -3,497.0 \text{ Kcal}$$

Calor emitido durante la cristalización del nitrato mercuroso:

El calor de cristalización es el calor latente que acompaña a

la precipitación de cristales en una solución saturada. Se toma el calor de disolución con el signo contrario, despreciando el calor de dilución pues generalmente éste es pequeño comparado con el primero.

calor de disolución del nitrato mercurioso(17) = 11.5 Kcal/mol

Como se deben de formar los cristales en lugar de disolverse, entonces esta cantidad de calor debe de emitirse en lugar de absorberse.

calor de cristalización = -11.5 Kcal/mol

Cantidad de cristales de nitrato mercurioso que se deben formar, expresado en moles:

$$\text{moles de nitrato mercurioso} = \frac{m}{PM} = 125 \text{ moles}$$

calor emitido debido a la cristalización:

$$Q_c = -11.5 \text{ Kcal/mol} \times 125 \text{ moles} = -1,437.50 \text{ Kcal}$$

Cantidad de calor total que se debe quitar para que se realice la cristalización:

$$Q_t = Q_s + Q_c = -3,497.0 - 1,437.5 \text{ Kcal} = -4,934.5 \text{ Kcal}$$

Cálculo de la cantidad de agua de enfriamiento que se necesitaría:

temperatura de entrada del agua = 20°C

temperatura de salida del agua = 60°C

$$w = \frac{Q}{C_p(t_2 - t_1)} = \frac{4,934.5 \text{ Kcal}}{1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times 40^\circ\text{C}} = 123.3 \text{ Kg}$$

Cantidad de agua de enfriamiento necesaria = 123.3 lt

#### BALANCE DE ENERGIA EN LA RETORTA (HORNO DE CALCINACION)

Para obtener una temperatura de 400°C en la retorta giratoria se necesita suministrar una cierta cantidad de energía a base de fuego directo:

Ecuación mediante la cual se conoce la cantidad de energía

necesaria para obtener una temperatura de salida determinada en un horno rotatorio(17).

$$Q = 0.172 \sigma A \left[ \left( \frac{T_g + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f + 460}{100} \right)^4 \right]$$

Q = transferencia de calor : BTU/hr

0.172 constante de Stefan Boltzman

$\sigma$  : emisividad ; para gas = 0.64 ; para petróleo = 0.75

A : área efectiva de absorción de calor ; pies<sup>2</sup>

T<sub>g</sub> : temperatura de salida de los gases del horno

T<sub>f</sub> : temperatura de la superficie de absorción

La temperatura de inflamación del combustible será de 950°C (18)

$$Q = 0.172 \times 0.75 \times 5.0 \times \left[ \left( \frac{-950 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{752 + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$Q = 11,610 \text{ BTU/hr}$$

Esta cantidad de energía se necesitaría suministrar al horno mediante la combustión del petróleo, para poder alcanzar y mantener una temperatura de 400°C.

Cálculo de la cantidad de combustible que se requiere para obtener tales condiciones de calcinación:

calor de combustión del petróleo = 44.05 BTU/Kg

cantidad de combustible =  $\frac{11,610 \text{ BTU/hr}}{44.05 \text{ BTU/Kg}} = 263 \text{ Kg}$

Se necesitarían 263 Kg de petróleo para la calcinación del óxido de mercurio.

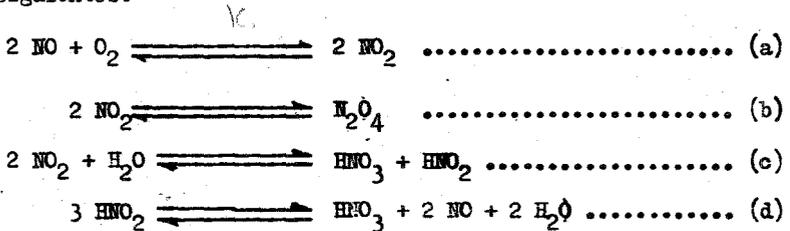
#### BALANCE Y CALCULO DE LA TORRE DE ABSORCION DE VAPORES NITROSOS.

En las reacciones de nitración del mercurio y de calcinación del nitrato mercurioso, hay desprendimientos de vapores nitrosos que no deben salir directamente a la atmósfera, pues causarían una contaminación nociva para el medio ambiente. Por lo tanto hay la necesidad de

eliminar los vapores nitrosos del aire que sale, mediante un proceso de absorción de los vapores, en agua a través de una torre de contacto de platos.

Al pasar los vapores a través del equipo de contacto, no ocurre únicamente la absorción de vapores de  $\text{NO}_2$ , sino que va a realizarse una oxidación de vapores de  $\text{NO}$  con el oxígeno que se encuentra en el medio ambiente, transformándose a  $\text{NO}_2$ . Además de esta oxidación, también se llevará a cabo al mismo tiempo una reacción química, que dará lugar a la producción de ácido nítrico.

Las reacciones que ocurren en la torre de contacto serán entonces las siguientes:



La reacción de oxidación de  $\text{NO}$  va a ser el paso que controlará a la reacción total. Este control se lleva a cabo solo cuando la absorción de los vapores nitrosos se lleva a cabo en agua. La razón por la que se debe oxidar el óxido nítrico antes de ponerse en contacto con el agua es que ese producto no reacciona directamente con este líquido.

Hay tres pasos que regularían la velocidad de absorción de los vapores nitrosos en agua:

- 1.- Oxidación de  $\text{NO}$  para transformarse a  $\text{NO}_2$  en la fase gaseosa.
- 2.- La difusión física de los óxidos reaccionantes del gas hacia la fase líquida.
- 3.- La reacción química en la fase líquida.

El cálculo del equipo de absorción y reacción, se puede llevar a cabo usando únicamente fórmulas que incluyan a la constante de velocidad de oxidación y datos de equilibrio de las ecuaciones(19):

Equilibrio en la reacción de  $\text{NO}_2$  con  $\text{H}_2\text{O}$ .

La reacción total que se tiene sumando las ecuaciones (c) y (d).



La constante de equilibrio para esta reacción:

$$K = \frac{P_{\text{NO}} a_{\text{HNO}_3}^2}{P_{\text{NO}_2}^3 a_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$a_{\text{HNO}_3}$  : actividad del ácido nítrico.

$a_{\text{H}_2\text{O}}$  : actividad del agua.

Separando en dos partes esta expresión:

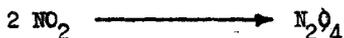
$$K = k_1 k_2 = \frac{P_{\text{NO}_3}}{P_{\text{NO}_2}} \frac{a_{\text{HNO}_3}^2}{a_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$k_1$  = función de la composición del gas en equilibrio.

$k_2$  : función de la concentración del ácido nítrico.

Los valores de  $k_1$  y  $k_2$  pueden ser encontrados mediante datos de presión de vapor y de energía libre standard.

Experimentalmente se encontró que el cambio de energía libre standard en la siguiente ecuación de reacción:



está dada por :

$$\Delta F^\circ = - 13.693 + 42.21 T ; \text{ cal/mol}$$

lo que da lugar a

$$\log_{10} K_3 = \frac{2993}{T} - 9.226 ; \text{ atm}^{-1}$$

Realizando un balance de material, suponiendo que se alcanza el equilibrio termodinámico en el plato, se obtiene:

componente	presión parcial ; atm	
	en la entrada del plato	en el líquido
NO	0.0308	$P_{(NO)_2} = k_1 (p_{NO_2})_2^2$
NO <sub>2</sub>	0.0924	$(p_{NO_2})_2$
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		$(p_{N_2O_4}) = k_3 (p_{NO_2})_2^2$

La presión parcial de los vapores nitrosos, se obtuvo considerando que se trabaja con un ventilador de una potencia de 1 HP, pues este tipo es de los más usados.

Puesto que las moles de gas NO<sub>2</sub> absorbidas se igualan con tres moles de gas NO:

$$3 \left[ k_1 (p_{NO_2})_2^3 - 0.0308 \right] = 0.0924 - \left[ 2k_3 (p_{NO_2})_2^2 + (p_{NO_2})_2 \right]$$

Los valores de las constantes  $k_1$  y  $k_2$  se pueden obtener de los datos experimentales que se encuentran en la bibliografía. Resolviendo la ecuación se obtiene:

$$3.6 \times 10^4 X^3 + 13.1 X^2 + X = 0.185$$

Obteniendo los valores de la ecuación:

$$X = (p_{NO_2})_2 = 0.017$$

La composición del gas que saldría del plato número uno sería:

$$P_{NO} = k_1 (p_{NO_2})_2^3 = 0.0589$$

$$P_{NO_2} = 0.017 \text{ atm}$$

$$P_{N_2O_4} = k_3 (p_{NO_2})_2^2 = 0.0019 \text{ atm}$$

La presión total de los vapores nitrosos que entran al plato:

$$0.0308 + 0.0924 = 0.1232$$

La presión total de los vapores nitrosos que salen del plato:

$$0.0589 + 0.0172 + 0.0019 = 0.0778$$

La oxidación del óxido nítrico para convertirlo a dióxido de nitrógeno se puede calcular mediante la ecuación de velocidad de reacción:

$$-\frac{d P_{NO}}{d \theta} = k'' P_{NO}^2 P_{O_2}$$

La integración aproximada de la ecuación sería (19):

$$\frac{1}{(P_{NO})_3} = \frac{1}{(P_{NO})_2} + \left[ 2(P_{O_2}) - (P_{NO_2}) \right] \frac{k'' \theta}{2}$$

En este caso el valor experimental de  $k''$  es:

$$k'' = 23.2 \text{ (seg}^{-1} \text{) (atm}^{-2} \text{)}$$

Se considera que el tiempo de residencia de los vapores nitrosos en cada uno de los platos es de 4 segundos.

El aire tiene una composición de 21% de oxígeno. Se usarán 51.6 Kg de aire, por lo tanto para la determinación de las fracciones se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{oxígeno} = 51.6 \times 0.21 = 10.8 \text{ Kg}$$

$$\text{gases inertes} = 51.6 \times 0.79 = 40.76 \text{ Kg}$$

$$\text{vapores nitrosos} = 2.5 \text{ Kg de NO} + 11.5 \text{ Kg de NO}_2 = 13.9 \text{ Kg}$$

fracción en peso del oxígeno:

$$X_{O_2} = \frac{10.8}{65.46} = 0.16$$

$$\text{Presión parcial del oxígeno} = P_t \times X_{O_2} = 0.77 \times 0.16 = 0.123 \text{ atm}$$

substituyendo valores en la ecuación:

$$\frac{1}{(P_{NO})_3} = \frac{1}{0.0589} + 2 \times 0.123 - 0.0589 \frac{23.2 \times 4}{2} = 28.11$$

$$(P_{NO_3}) = 0.035 \text{ atm}$$

composición de la mezcla de gases a la entrada del segundo plato:  
to:

$$P_{NO} \dots\dots\dots 0.035 \text{ atm}$$

$$P_{(NO_2 + H_2O_4)} = 0.17 + 2(0.0019) + (0.059 + 0.035) \dots\dots\dots 0.045 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} = 0.123 - \frac{1}{2} (0.059 - 0.035) \dots\dots\dots 0.111 \text{ atm}$$

Realizando los cálculos para los platos siguientes, se llega a los siguientes datos.

Plato No. 2 Composición del gas a la salida del plato.

$$P_{NO} \dots\dots\dots 0.035 \text{ atm}$$

$$P_{(H_2O_4 + NO_2)} \dots\dots\dots 0.036 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} \dots\dots\dots 0.103 \text{ atm}$$

Plato No. 3

$$P_{NO} \dots\dots\dots 0.026 \text{ atm}$$

$$P_{(H_2O_4 + NO_2)} \dots\dots\dots 0.034 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} \dots\dots\dots 0.097 \text{ atm}$$

Plato No. 4

$$P_{NO} \dots\dots\dots 0.023 \text{ atm}$$

$$P_{(NO_2 + H_2O_4)} \dots\dots\dots 0.024 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} \dots\dots\dots 0.093 \text{ atm}$$

Plato No. 5

$$P_{NO} \dots\dots\dots 0.016 \text{ atm}$$

$P(\text{NO}_2 + \text{N}_2\text{O}_4)$ .....	0.019 atm
$P_{\text{O}_2}$ .....	0.091 atm
Plato No. 6	
$P_{\text{NO}}$ .....	0.014 atm
$P_{\text{O}_2}$ .....	0.089 atm

Se puede ver que se necesitarían al menos 6 platos teóricos para lograr una eliminación de los gases tóxicos, mas o menos razonable.

Para la determinación de la distancia de separación entre los platos se tomó en cuenta, los datos de separación comerciales más usuales, llegando a la conclusión de que una separación de 25 cm entre plato y plato es bastante aceptable, ya que daría espacio suficiente para que se lograra la oxidación del óxido nítrico. En esta determinación tambien se consideró el alto costo del equipo, pues deberá ser construido totalmente de acero inoxidable, debido a la alta corrosividad del ácido nítrico que se deberá obtener(19).

Altura de la torre : número de platos x distancia de separación

$$\text{Altura de la torre} = 6 \text{ platos} \times 0.25 \text{ m/plato} = 1.50 \text{ m}$$

Para la selección del diámetro de la torre de absorción de los vapores nitrosos, se toma en cuenta la ecuación de Souders y Brown que permite valorar la velocidad de los gases al pasar por los platos de absorción. Esta ecuación se deriva suponiendo que el arrastre fraccional del vapor suspendido sobre las gotitas de líquido no debe exceder al peso promedio de una gota:

$$u = K_v \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_2}}$$

$$= K_v \sqrt{P_2} \sqrt{\frac{P_1}{P_2} - 1}$$

$$u = K_v \sqrt{P_2}$$

u: velocidad superficial del gas, basada en la sección trans-

versal de la torre ; pies/seg

$\rho_l$ : densidad del líquido ; lb/pie<sup>3</sup>

$\rho_g$ ; densidad del gas ; lb/pie<sup>3</sup>

$K_v$ : constante empírica.- esta constante varía con el espaciamiento de los platos y con la profundidad del líquido en los platos.

La ecuación de Souders y Brown es una representación empírica de equipos comerciales de proceso. Para las condiciones que se tienen  $\rho_g$  es mucho menor que  $\rho_l$  y esta no varía mucho. Entonces las únicas cantidades además de  $K_v$  que varían significativamente son "u" y  $\rho_g$ . Para simplificar la ecuación se considera que la densidad del líquido es igual a 49 lb/pie<sup>3</sup>. Multiplicando la ecuación por  $\sqrt{\rho_g}$  se obtendrá

$$F = u\sqrt{\rho_g} = 7 K_v$$

Una cantidad más útil que el valor de F sería:

$$\frac{G}{\phi} = 986 u \sqrt{\rho_g}$$

G : velocidad superficial de la masa de vapor.

$$\phi = \sqrt{\rho_g/0.075}$$

De la bibliografía(19) se pueden encontrar los valores de  $K_v$  en la tabulación de Carey. Para las condiciones que se tienen (espaciamiento igual a 25 cm y una profundidad de líquido igual a 1 pulgada se obtiene:

$$u \sqrt{\rho_g} = 0.7$$

$$u = \frac{0.7}{\sqrt{\rho_g}}$$

Se tiene que  $\rho_{NO} = 0.0837$

$$\rho_{aire} = 0.0808$$

densidad promedio de los gases = 0.082 lb/pie<sup>3</sup>

entonces :

$$u = \frac{0.7}{\sqrt{0.082}} = \frac{0.7}{0.286} = 2.45 \text{ pies/seg} = 8820 \text{ pies/hr}$$

La cantidad de gases que pasarían a través de la torre considerando que la absorción se realizara en una hora:

Masa de aire = 51.6 Kg

Masa de vapores = 13.9 Kg

Masa de gases = 65.5 Kg = 144.2 lb.

Masa velocidad = 144.2 lb/hr.

Para la determinación del área transversal, de la columna se usa la siguiente ecuación:

$$A = \frac{M}{u \rho_g}$$

A: área transversal de la columna

M: masa velocidad : lb/hr

u: velocidad superficial del gas: pies/seg.

g: densidad de los gases: lb/pie<sup>3</sup>

$$A = \frac{144.2 \text{ lb/hr}}{3820 \frac{\text{pies}}{\text{hr}} \times 0.82 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}} = .199 \text{ pies}^2$$

Determinación del diámetro de la torre de contacto considerando que la absorción fuera el paso determinante de la reacción.

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

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$D = 2 \left[ \frac{.199}{3.1416} \right]^{\frac{1}{2}} = 2 (.063)^{\frac{1}{2}} = .5 \text{ pies}$$

D= 15.25 cm. de diámetro.

La determinación del diámetro obtenido se hizo considerando que la absorción de los vapores nitrosos en la columna es el paso determinante en la reacción total que ocurre en el equipo. Ahora bien el paso determinante en la reacción total es la oxidación del NO para con

vertirse a  $\text{NO}_2$ , que se realiza en el espacio que se encuentra entre los platos. Por lo tanto el diámetro obtenido en los cálculos anteriores no ha de cumplir con las necesidades.

Siendo una reacción química la que controla a la reacción total se debe aumentar las dimensiones del equipo que se necesita, pues los estudios de las reacciones químicas en la actualidad todavía no han logrado la precisión que ya se obtiene en los procesos físicos.

Recurriendo a datos comerciales y prácticos que se encuentran en la bibliografía, se llega a la conclusión que una columna de contacto con un diámetro igual a 60 cm. es conveniente usar para el fin que se quiere.

Tomando en cuenta las ecuaciones que se utilizaron, para obtener la cantidad de oxidación de óxido nítrico, se puede observar que esta reacción se puede hacer más efectiva suministrando una concentración alta de oxígeno o bien disminuyendo la velocidad de paso de los vapores nitrosos por los platos de contacto. Esto dá lugar a que se consideren los seis platos de contacto, suficientes para lograr una absorción efectiva adecuada, pues la oxidación se puede mejorar haciendo ciertas variaciones prácticas.

CALIENTE CRITICO EN LA PRODUCCION DEL CALDO ROJO DE MERCURIO.

Diagrama de flechas como representación visual del camino crítico para la producción de óxido rojo de mercurio por el método de calcinación.

(0-1) Dilución del ácido nítrico.

capacidad de la bomba : 4 gpm.

volumen de agua :  $\frac{45 \text{ lt.}}{3,785 \text{ lt/gal}} = 11.8 \text{ gal}$

tiempo de dilución :  $\frac{11.8 \text{ galones}}{4 \text{ gal./min.}} = 2.95 = 3 \text{ minutos.}$

(1-3) Alimentación de solución de ácido nítrico al reactor - de nitración de mercurio.

capacidad de la bomba : 4 gpm.

volumen de la solución : 90 Lt. = 23.6 galones

tiempo :  $\frac{23.6 \text{ gal}}{4 \text{ gal/min.}} = 5.9 \text{ min.} = 6 \text{ minutos}$

(2-3) Alimentación del mercurio al reactor.

volumen de mercurio :  $\frac{50 \text{ Kg}}{13,546 \text{ Kg/lt}} = 3.6 \text{ lt.} = .97 \text{ galones.}$

velocidad de alimentación del mercurio al reactor : 1 gpm.

tiempo :  $\frac{.97 \text{ galones}}{1 \text{ gal / min.}} = .97 \text{ min} = 1 \text{ minuto}$

(3-4) Reacción.

Experimentalmente se encontró que a una temperatura de 70°C y con agitación, la reacción total del mercurio con la solución de ácido nítrico, se lleva a cabo aproximadamente en 60 minutos ( experimentación en el laboratorio ).

tiempo : 60 minutos.

(4-5) Transporte de la solución del reactor al cristalizador.

volumen de la solución en el reactor : 76.7 lt = 20.2 gal.

tiempo :  $\frac{20 \text{ galones}}{4 \text{ gal./min.}} = 5 \text{ minutos.}$

(5-6) **Cristalización**

Mediante experimentación se encontró que el tiempo de evaporación y después de enfriamiento es aproximadamente igual a 90 minutos.

tiempo : 90 minutos.

(6-7) Transporte de cristales de nitrato mercurioso desde el cristalizador hasta la retorta.

tiempo aproximado : 15 minutos.

(7-9) **Calcinación.**

A una temperatura que fluctúa entre 350-400°C el tiempo que se necesita para evitar residuos de nitrato mercurioso es de 3 horas.

tiempo : 180 minutos.

(3-9) **Absorción de vapores nitrosos.**

El tiempo de absorción y reacción de los vapores nitrosos deberá ser la suma de los tiempos de reacción y de calcinación, — pues durante este lapso es cuando se desprenden los vapores nitrosos.

tiempo : 240 minutos.

(9-10) **Pulverización.**

De acuerdo al molino escogido para lograr la pulverización del óxido rojo de mercurio y tomando en cuenta el tamaño de partícula que se necesita, el tiempo que ha de durar esta parte del proceso será de 60 minutos.

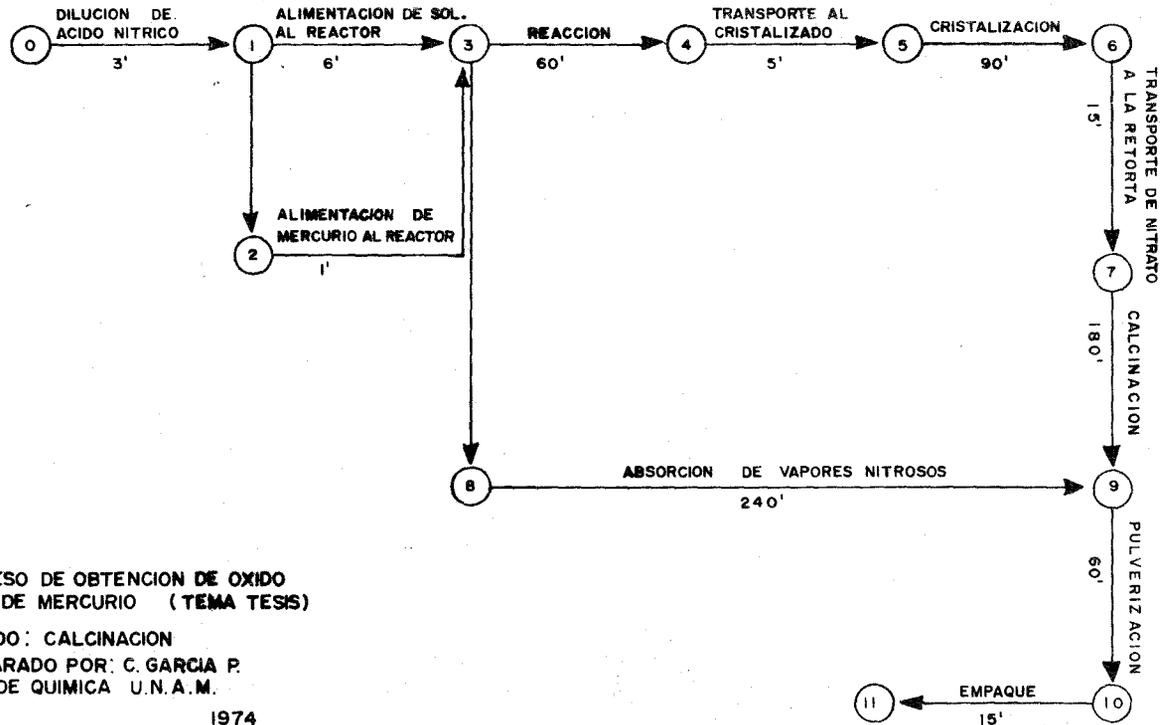
tiempo : 60 minutos.

(10-11) **Empaque y acondicionamiento.**

Aproximadamente el tiempo usado es de 15 minutos.

El tiempo de duración del proceso de acuerdo al método del camino crítico será de 6 horas y 59 minutos.

## CAMINO CRITICO EN LA PRODUCCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO



PROCESO DE OBTENCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO (TEMA TESIS)

METODO: CALCINACION  
PREPARADO POR: C. GARCIA P.  
FAC. DE QUIMICA U.N.A.M.

1974

Para obtener la máxima capacidad de la planta se deberá tomar en cuenta el tiempo de duración del proceso.

Aproximadamente el tiempo de duración de una corrida será de siete horas, por lo que se deduce que en un turno de trabajo de ocho horas, únicamente una corrida se podrá realizar, quedando un margen de seguridad para los contratiempos que pudieran salir.

Si se consideran dos turnos de trabajo y un total de 250 días laborables se podrá obtener una cierta capacidad de producción de óxido de mercurio en la planta.

Producción anual máxima considerando dos turnos de trabajo :

$$\text{Producción} : \frac{51.3 \text{ Kg.}}{1 \text{ corrida}} \times \frac{2 \text{ corridas}}{1 \text{ día}} \times \frac{250 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 25,650 \text{ Kg/año.}$$

### 3.5 ESTIMACION DE LA INVERSION EN EL EQUIPO.

#### 1.- Tanque de almacenamiento de agua (20)

volumen = 10,000 lt

material de construcción : concreto

costo estimado : \$ 4,500.00 M.N.

#### 2.- Tanque de almacenamiento de ácido nítrico (21)

volumen del tanque = 500 lt

material de construcción: plástico resistente a la corrosión

temperatura de almacenamiento: 20°C

costo estimado: \$ 2,900.00 M.N.

#### 3.- Tanque de dilución de ácido nítrico (22)

solución que se alcanza : solución de ácido nítrico al 50%

temperatura máxima de operación : 95.5°C

volumen del tanque : 100 lt.

material de construcción : acero inoxidable 18-12 ó 18-8

espesor : 1.27 cm.

costo estimado: \$ 36,720.00 M.N.

#### 4.- Frascos de almacenamiento de mercurio.

volumen ocupado por el mercurio que se almacenará: 40 lt.

se debe almacenar en frascos de vidrio pequeños de aproximada  
mente 5 Kg. Esto se debe hacer para facilitar el manejo y transporte  
ya que es un producto de gran costo, que tiene un peso muy alto en un  
volumen bastante pequeño.

El precio del recipiente de almacenamiento del mercurio, gene  
ralmente viene incluido en el costo de venta del producto.

#### 5.- Tanque de almacenamiento de proceso de mercurio

Volumen 50 lt.

Material de construcción : acero inoxidable ( 316 )

Espesor : 6 mm

costo estimado: \$ 1,400.00 M.N.

6.- Reactor para la nitración del mercurio (22)

tipo : reactor de tanque agitado, enchaquetado, con sistema de calentamiento.

material de construcción : acero inoxidable tipo 18-8, 18-12, 3-16

volumen efectivo para la reacción : 140 lt.

presión de operación : 536 mm. de Hg

costo aproximado del tanque : \$ 40,700.00 M.N.

6 b.- Sistema de agitación.

velocidad máxima de operación del agitador : 1,150 r.p.m.

potencia del agitador : 3HP

costo estimado : \$ 7,300.00 M.N.

7.- Cristalizador ( 22)

Cristalizador para el proceso intermitente

Debe tener un sistema de agitación y debe estar enfriado con agua.

temperatura máxima de operación : 70°C normalmente.

volumen del cristalizador : 65 lt.

material de construcción : acero inoxidable 316

costo estimado del cristalizador : \$ 26,000.00 M.N.

costo estimado del sistema de agitación : \$ 7,300.00 M.N.

Suma de costos del sistema de cristalización : \$ 33,300.00 M.N.

8.- Tolva de almacenamiento de cristales de nitrato mercurioso.

volumen : 80 lt.

costo estimado : \$ 3,500.00 M.N.

material de construcción : acero inoxidable: 316

9.- Retorta giratoria para la calcinación del nitrato mercurioso.

temperatura máxima de operación : 400°C

debe tener sistema de control de temperatura automático.

volumen de la zona de calcinación : 0.15 m<sup>3</sup>

sistema de calentamiento : fuego directo

material de construcción : acero inoxidable tipo : 316

espesor mínimo : 1.27 cm.

costo aproximado : \$ 40,000.00 M.N. —

Este costo se obtuvo mediante la investigación en el mercado

directamente.

10.- Molino giratorio de martillos

tamaño de partícula que se obtiene : 20 - 50 micrones.

área efectiva de operación : 4,129 cm<sup>2</sup>

área total de malla : 3,484 cm<sup>2</sup>

velocidad de operación.: 900 - 3,600 r.p.m.

potencia : 10 H.P.

peso de óxido de mercurio formado : 54 Kg.

costo obtenido en el mercado nacional : \$ 30,600.00 M.N. —

cotizado por : BICOR, S. A.

11.- Torre de absorción y reacción de vapores nitrosos (22)

altura total : 1.50 m.

diámetro de la columna : 0.60 m.

número de platos : 6

presión de operación : 586 mm. de Hg.

material de construcción : acero inoxidable 316, 18-8

espesor mínimo : 0.60 cm

costo estimado de la columna : \$ 35,500.00 M.N.

costo estimado de platos y accesorios : \$ 18,000.00 M.N.

suma de costos del proceso de absorción : \$ 53,500.00 M.N. —

12.- Sistema de bombeo.

número total de bombas necesarias : 6

Bombas que manejan líquidos altamente corrosivos:

número de bombas de cuerpo de plástico resistente a la corrosión : 4

tipo de bombas : bombas centrifugas.

capacidad hasta 4 g.p.m.

velocidad : 1,750 r.p.m.

cuerpo de teflón y unidad de bombeo de PVC.

costo unitario de la bomba : \$ 9,000.00 M.N.

especificaciones del motor impulsor de la bomba:

motor trifásico

60 ciclos

220 - 440 V.

potencia : 0.25 HP.

cuatro polos

costo unitario : \$ 1,950.00 M.N.

costo unitario del sistema de bombeo : \$ 10,950.00 M.N.

costo de cuatro unidades de bombeo : \$ 43,800.00 M.N. —

Bombas que manejan agua:

número de unidades : 2.

tipo : bombas centrifugas.

capacidad : hasta 4 g.p.m.

velocidad : 1,750 r.p.m.

materia de construcción : acero al carbón.

costo unitario de la bomba : \$ 2,500.00 M.N.

Las características del motor impulsor de estas bombas serán

las mismas que las de los motores de las bombas anticorrosivas.

costo del motor impulsor :	\$ 1,950.00 M.N.
costo unitario de bombeo:	\$ 4,450.00 M.N.
costo de dos unidades de bombeo :	\$ 8,900.00 M.N.
cotizador por : BICOR, S. A.	
suma del costo de bombeo :	\$ 52,700.00 M.N.

13.- Tuberías.

Tuberías de acero inoxidable.

diámetro de la tubería : 1" cédula 40

material de construcción : acero inoxidable : 3-16, 18-8

longitud de la tubería : 14 m.

costo de la tubería de acero inoxidable :	\$ 3,250.00 M.N.
---	------------------

Tubería galvanizada.

diámetro : 1" cédula 40

longitud tubería galvanizada : 24 m.

costo de tubería galvanizada	\$ 533.00 M.N.
------------------------------	----------------

suma del costo de las tuberías :	\$ 3,783.00 M.N.
----------------------------------	------------------

La cotización de las tuberías fué hecha por :

"ACEROS INOXIDABLES, S.A. "y por " ACEROS MONTERREY, S. A. "

14.- Válvulas.

Válvulas de compuerta de acero inoxidable :

se necesitan un total de 4 válvulas de acero inoxidable.

material de construcción : acero inoxidable 3-16, 18-8

diámetro : 1" cédula 40.

costo unitario :	\$ 3,795.00 M.N.
------------------	------------------

costo de cuatro unidades :	\$ 15,180.00 M.N.
----------------------------	-------------------

Válvulas de compuerta galvanizadas

diámetro : 1" cédula 40

costo unitario :	\$ 202.00 M.N.
número de válvulas galvanizadas necesarias: 2	
costo de válvulas galvanizadas :	\$ 404.00 M.N.
suma del costo de las válvulas :	\$ 15,584.00 M.N.

RESUMEN DE LA INVERSION EN EL EQUIPO NECESARIO PARA  
LA PRODUCCION DE OXIDO ROJO DE MERCURIO.

Equipo	Costo
tanque de almacenamiento de agua :	\$ 4,500.00 M.N.
tanque de almacenamiento de proceso de mercurio	1,400.00 "
tanque de almacenamiento de ácido nítrico	2,900.00 "
tanque de dilución de ácido nítrico	36,720.00 "
reactor de nitración de mercurio	40,700.00 "
sistema de agitación del reactor	7,300.00 "
cristalizador con sistema de agitación.	33,300.00 "
tolva de almacenamiento	3,500.00 "
retorta giratoria.	40,000.00 "
molino giratorio	30,600.00 "
torre de absorción	53,500.00 "
sistema de bombeo.	52,700.00 "
tuberías.	3,783.00 "
válvulas	15,584.00 "
INVERSION TOTAL EN EL EQUIPO DE PROCESO	\$ 326,487.00 "
INVERSION EN LA INSTALACION DEL EQUIPO	261,189.60 "
INVERSION DIRECTA: EQUIPO E INSTALACION	587,676.60 "
INVERSION APROXIMADA EN MUEBLES (instalación)	
laboratorio de investigación	45,000.00 "
almacén	15,000.00 "

oficina \$ 20,000.00 M.N.  
INVERSION TOTAL EN MUEBLES 80,000.00 M.N.

Para el cálculo del costo de instalación del equipo se tomó en cuenta el artículo " CAPITAL COST ESTIMATING " (22).

El costo de instalación del equipo y sus accesorios se puede determinar multiplicando el costo de fábrica del equipo por el factor 1.8 , quedando :

Inversión fija : costo de la planta :  $326,487.00 \times 1.8 =$   
\$587,676.60 M.N.

costo de instalación del equipo = inversión fija- costo fab.

costo de instalación del equipo =  $587,676.60 - 326,487.00 =$   
\$261,189.60 M.N.

#### COSTOS DE INGENIERIA

Los costos de ingeniería serán el 13.6% de la inversión fija o costo total de la planta.

costos de ingeniería =  $587,676.00 \times 0.136 =$  \$ 79,923.94 M.N.

#### AMORTIZACION

El costo de ingeniería se puede amortizar. Tomando en cuenta el tipo de amortización legal permitida: 5% anual.

amortización anual:  $\$ 79,923.94 \times 0.05 =$  \$ 3,942.00 M.N.

#### DEPRECIACION

Cálculo de la depreciación del equipo y accesorios:

La depreciación anual que se usa para fines de anteproyecto es el 10% anual.

Depreciación =  $587,676.00 \times 0.10$  \$ 58,767.60 M.N.

Cálculo de la depreciación de los muebles.

La depreciación de los muebles se considera también que es el

10% de la inversión.

inversión en muebles = \$ 80,000.00

depreciación de muebles =  $80,000.00 \times 0.1 = \$ 8,000.00 \text{ M.N.}$

**SUELDOS Y SALARIOS APROXIMADOS DE EMPLEADOS Y OBREROS (anual).**

Aquí se deben considerar los sueldos de los empleados y obreros que se utilizarían en forma particular para este proceso, y los que se tendrían en común con otros procesos adyacentes.

Salarios del personal que laboraría en el proceso de obtención del óxido de mercurio:

	sueldo	total mensual	total anual
5 obreros	\$ 1,560.00	7,800.00	93,600.00
2 supervisores	4,000.00	8,000.00	96,000.00
1 mecánico	3,000.00	3,000.00	36,000.00
<b>SUMA</b>			<b>225,600.00</b>

costos indirectos : vacaciones, aguinaldos, Seguro Social -

1 % de impuesto para la educación : 19,740.00

Suma de costos debidos al personal que trabaja en este proceso

**\$ 245,340.00**

Salarios del personal administrativo que laboraría en el proceso de obtención del óxido de mercurio: se considera que el siguiente personal laboraría para otros cuatro procesos adyacentes y no únicamente para el de la obtención de óxido de mercurio. Por lo tanto para el proceso que se trata correspondería la quinta parte de los costos de este personal.

	sueldo	total mensual	total anual
1 gerente	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	\$ 120,000.00
1 secretaria	2,000.00	2,000.00	24,000.00
1 almacenista.	2,500.00	2,500.00	30,000.00

gastos de contabilidad :	4,000.00	48,000.00
1 laboratorista	3,500.00	42,000.00
1 velador	1,560.00	18,720.00
suma :		\$ 282,720.00

costos indirectos : vacaciones, aguinaldos, Seguro Social -

1 % de impuesto para la educación :	43,180.00
suma :	\$ 325,900.00

Dividiendo este costo en cinco partes para determinar la parte correspondiente a cada uno de los procesos.

$$\text{costo administrativo de un proceso} = \frac{325,900.00}{5} = 65,180.00$$

costo total de sueldos y prestaciones para el proceso tratado.

$$\$ 245,340.00 + 65,180.00 = \$ 310,520.00 \text{ M.N.}$$

Costos fijos (resumen). Los costos fijos son aquellos que se tienen en forma independiente de la producción. Pueden ser: depreciación, amortización, sueldos a un año, mantenimiento a un año, etc.

Depreciación anual.	\$ 58,767.60
Amortización	3,942.34
Sueldos y prestaciones anuales.	310,520.00
Mantenimiento anual	58,767.60
Renta del local anual.	60,000.00
SUMA DE LOS COSTOS FIJOS ANUALES :	492,000.00

COSTOS VARIABLES :

Los costos variables son aquellos que se tienen en función del volumen de producción. Cada unidad que se produzca originará un incremento en estos costos. Entre ellos se pueden contar: materias primas, servicios, porcentajes de ventas, etc.

CONSUMO Y COSTO DE ENERGIA ELECTRICA.

Energía eléctrica consumida en los motores de las bombas.

Número de bombas : 6

Potencia de las bombas : 1/4

Tiempo promedio de operación diario. Debido a que es un proceso intermitente se consideran unicamente dos horas de operación para cada bomba.

$$\frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} = 0.25 \text{ HP} \times 0.745 \frac{\text{Kw}}{\text{HP}} \times 6 \text{ bombas} \times \frac{2 \text{ hr}}{\text{día}} \times 250 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

$$\frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} = 560.0$$

Energía eléctrica consumida por el molino:

Potencia del molino : 10 H.P.

Tiempo promedio de uso diario : 2 Horas

$$\frac{\text{Kw-Hora}}{\text{año}} = 10 \text{ HP} \times \frac{0.745 \text{ Kw}}{1 \text{ HP}} \times \frac{2 \text{ hr}}{\text{día}} \times \frac{250 \text{ días}}{\text{año}} = 3,725.0 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

Energía eléctrica consumida en iluminación.

Número de lámparas : aproximadamente 26

Tiempo promedio de uso diario : 10 horas

Gasto de energía por lámpara : 75 watts-hora.

$$\frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}} = 75 \text{ watts} \times 26 \text{ lámparas} \times \frac{10 \text{ hr}}{1 \text{ día}} \times \frac{250 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 4,875.0 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

$$\text{suma de la energía eléctrica consumida : } 9,160.00 \frac{\text{Kw-hr}}{\text{año}}$$

costo aproximado de energía eléctrica : \$ 1.00 Kw-hr

costo de la energía eléctrica total consumida : \$ 9,160.00 M.N.

Costo del combustible usado en la calcinación del nitrato mercurioso.

Costo según la distribuidora de petróleo "DISTRIBUIDORA DE -- PEMEX", costo : 0.26 \$/lt.

cantidad de combustible necesario diario 526 Kg. ( dos corridas por día ).

densidad del petróleo : 0.87 g/cm<sup>3</sup>

volumen de petróleo que se usa diariamente 604.60 lt.

costo anual de petróleo :  $604.60 \times 0.26 \text{ \$/lt} \times 250 \text{ días/año}$

costo anual de petróleo : = 39,300.00 \\$/año.

Gasto y costo de agua (anual).

Gasto de agua de proceso en reacción : 45 lt.

gasto de agua de proceso en proceso de absorción : 8000 lt.

gasto de agua para uso doméstico y para enfriamiento : 2000 lt aprox.

volumen de agua usada por corrida ( agua de proceso ) : 845.0 lt.

costo anual de agua de proceso :  $845.0 \text{ lt/corrída} \times 2 \text{ corridas/día} \times 1.00 \text{ \$/m}^3 \times 360 \text{ días/año} : \$ 608.00 \text{ M.N. /año.}$

costo anual de agua de uso doméstico y de enfriamiento :

$2.0 \text{ m}^3/\text{corrída} \times 2 \text{ corridas/día} \times 360 \text{ días/año} \times 0.75 \text{ \$/año} :$

costo de agua de enfriamiento : \$ 1,080.00 /año

costo total del agua usada : 1,688.00 \\$/año.

Resumen de costos variables.

— costos de materias primas	\$ 3,851,501.00 M.N.
— costos de servicios :	
electricidad :	9,160.00 M.N.
agua :	1,688.00 M.N.
combustible :	39,300.00 M.N.
suma de costos de servicios:	50,148.00
— gastos de ventas ( 3 % sobre ventas netas ) :	157,369.00 M.N.
Suma de los costos variables :	4,068,178.00 M.N.

ESTIMACION DE LOS COSTOS VARIABLES DEBIDOS AL CONSUMO DE MATERIA PRIMA.

ARTICULO	UNIDAD	COSTO UNITARIO	<u>UNIDADES</u> Kg de producto	COSTOS TOTALES \$/año
mercurio	Kg	150.00 \$/Kg	0.97	3,732 075.00
ácido nítrico	Kg	3.80 \$/Kg	1.22	119 016.00
agua de proceso	m <sup>3</sup>	1.00 \$/m <sup>3</sup>	0.016	410.00
COSTO TOTAL DE LA MATERIA PRIMA (anual).				3,851 501.00

Estos costos de la materia prima, se obtuvieron considerando una producción de 25,650.0 Kg/año (capacidad máxima de producción de la planta)

Se tendría una producción diaria de HgO = 153.9 Kg

ESTADO DE RESULTADOS.

Involucra tres variables que son: ventas, costos y gastos, e impuestos.

La ecuación general del estado de resultados es:

utilidad neta : ventas - costos y gastos - impuestos ( 1 )

VENTAS.

Las ventas netas quedan determinadas por esta ecuación:

ventas netas : precio unitario x volumen - devoluciones - impuestos sobre ingresos mercantiles.

Precio de venta unitario.- Se considera el precio de venta - que hay actualmente en el mercado. Cotización de la compañía - - - -  
" QUIMICA UNIVERSAL ", S. A.

precio de venta unitario : 215 \$/Kg.

Volumen de ventas brutas.- Considerando una venta total de la producción máxima de la planta.

volumen de ventas brutas : producción máxima : 25,650 Kg/año

Devoluciones.- La cantidad de producto que pueda ser regresado por los clientes como producto en mal estado o fuera de especificaciones se considera que es el 1 % de las ventas brutas.

devoluciones = 25,650 x 0.01 = 256.5 Kg

costo de las devoluciones = 256.5 Kg x 215.00 = 55,147.00

Impuestos sobre ingresos mercantiles.- El impuesto sobre ingresos mercantiles que se tiene que pagar actualmente, es el 4% de la diferencia de las ventas brutas y las devoluciones:

I.S.M. = (5,514,750.00 - 55,147.00) x 0.04 = \$ 218,384.12 M.N.

ventas brutas = 25,650.0 Kg x 215.00 \$/Kg = 5,514,750.00 M.N.

ventas netas = 5 514,750.00 - 218 372.00 - 55,147.00 =

ventas netas = 5,241 219.00 M.N.

### 3.8 LAS UTILIDADES A TRAVES DE LA TECNICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.

La técnica tiene su máxima expresión en la gráfica del punto de equilibrio, además que esta gráfica es una forma accesible para apreciar el informe de contabilidad.

Explicación de la gráfica del punto de equilibrio.

En el eje de las ordenadas se representarán los costos.

En el eje de las abscisas se representarán las ventas o la producción.

La línea de la producción o también línea de las ventas, empezará desde el punto cero de producción hasta la capacidad máxima de la planta o ventas máximas logradas.

Los costos fijos se representarán por una línea constante, — pues tiene el mismo valor a través de todos los niveles de producción.

Los costos variables se incrementan a medida que la producción aumenta.

El punto en el que el ingreso coincide con el costo es el — punto de ganancia cero o punto de equilibrio y representa el volumen de producción necesario para poder cubrir el costo total. En el punto donde se interceptan los costos, con la línea de ventas, no se obtienen ni pérdidas ni ganancias.

A medida que el volumen de ventas se aleja del punto de — equilibrio, se obtendrán utilidades o pérdidas según el caso de desplazamiento.

Ecuación que determina el punto de equilibrio:

$$Pe = \frac{Cf}{1 - Cv/V}$$

Pe : punto de equilibrio.

Cf : costos fijos

Cv : costos variables.

V : volumen de ventas netas o brutas y volumen de producción.

Substituyendo los valores de acuerdo a los datos obtenidos:

$$Pe = \frac{492,000.00}{1 - (4,068,178.00 / 5,241,219.00)} = 2,376,811.00$$

Punto de equilibrio = \$ 2,376,811.00

volumen de producción para alcanzar el punto de equilibrio =

$$2,376,811.00 / 215.00 = 11,055.0 \text{ Kg}$$

Para lograr equilibrar los costos con las ganancias es necesario producir 11,055.0 Kg de óxido rojo de mercurio. Para una producción mayor a esta cantidad empezará a haber utilidades para la empresa.

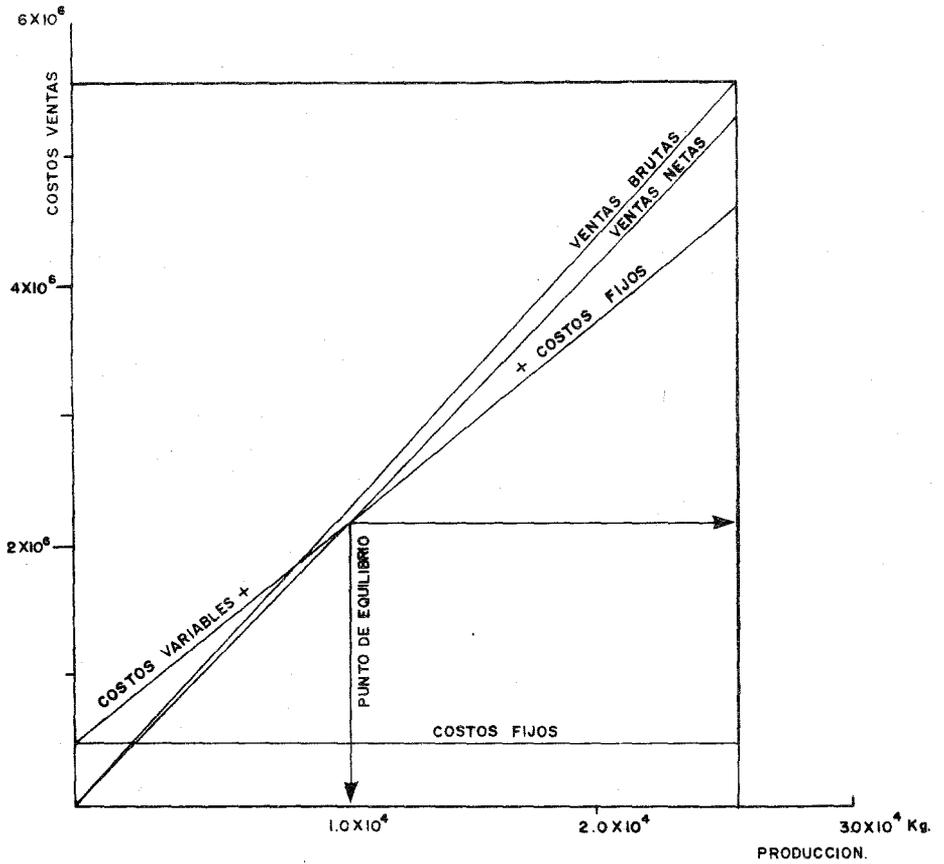
#### PROYECCION DE VENTAS DE OXIDO ROJO DE MERCURIO PARA EL FUTURO.

Consumo aproximado del óxido rojo de mercurio para los siguientes cinco años.

año	consumo estimado.
1974	12,000.0 Kg
1975	14,000.0 Kg
1976	16,000.0 Kg
1977	18,000.0 Kg
1978	20,000.0 Kg

Estos consumos aproximados son estimaciones para años posteriores, tomando en cuenta la tendencia de incremento de producción de las pilas alcalinas en México. Además de esto se debe considerar también la posibilidad de exportación del producto a países sudamericanos, pues en estos se tiene una demanda alta de las pilas alcalinas producidas en nuestro país.

### GRAFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO



ESTADO DE RESULTADOS o PERDIDAS Y GANANCIAS.

	1974	1975	1976	1977	1978	
Ventas brutas	2,600,000.00	3,000,000.00	3,400,000.00	3,800,000.00	4,200,000.00	
ventas netas	2,470,000.00	2,850,000.00	3,230,000.00	3,610,000.00	3,990,000.00	
Costos y gastos (*)	2,410,000.00	2,720,000.00	3,050,000.00	3,330,000.00	3,600,000.00	
Utilidades antes de impuestos y participaciones	60,000.00	120,000.00	180,000.00	280,000.00	390,000.00	
Impuestos						
Impuestos sobre la renta (35%)	21,000.00	42,000.00	63,000.00	98,000.00	136,500.00	
Reparto de utilidades ( 8% )	4,800.00	9,600.00	14,400.00	22,400.00	31,200.00	
Suma de Impuestos	25,800.00	52,400.00	77,400.00	120,400.00	167,700.00	
Utilidad neta	34,200.00	67,600.00	102,600.00	159,600.00	222,300.00	
Rentabilidad :	$\frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión Inic.}}$	5.6%	11.6%	17.6%	27.5%	33.3%

6107

(\*) : Datos extraidos de la gráfica del punto de equilibrio.

UN = 56  
IN

UN  
3.6

$\frac{200}{00}$

#### 4.0 CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.

Observaciones al desarrollo del método de producción de óxido rojo de mercurio :

En el desarrollo del proceso de obtención por calcinación, se topó con la dificultad de obtener información de los costos de algunos equipos en el mercado nacional, por lo que se tuvo que recurrir a estimaciones que se obtuvieron en algunos artículos de costos anotados, en la bibliografía.

Tomando en consideración que se usa mercurio líquido tridesilado como materia prima en este proceso, y viendo su alto costo por la pureza requerida, se puede notar que valdría la pena llevar a cabo en forma adjunta el proceso de purificación del mercurio metálico.

Debido a la relativa facilidad de obtener el óxido rojo de mercurio y a su bajo costo de mano de obra se concluye que este proceso se facilitaría realizándose en un complejo industrial donde se obtuvieran otros productos del mercurio.

Observando las rentabilidades obtenidas en los cálculos anteriores ( balance ), se concluye que este proyecto es factible de realizar económicamente, pues desde el primer año deja utilidades ( aunque algo bajas ), que van aumentando en forma considerable en los siguientes años.

La máxima producción de la planta estudiada, considerando dos turnos de trabajo sería igual a 25,650 Kg, pero para una demanda futura mayor, se podría aumentar la capacidad de producción de la planta hasta 38,475 Kg, implantando un turno de trabajo adicional.

Para demandas mayores de este producto se considera que serían más efectivos los procesos de producción por precipitación, ya --

que estos utilizan un equipo con dimensiones mucho mayores, que el del método de calcinación estudiado.

En conclusión, se estima que el desarrollo, práctico de este - proceso de obtención del óxido de mercurio por calcinación, es bastante aceptable para las condiciones de consumo que hay en México.

5.0 BIBLIOGRAFIA.

- 1.- ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA.  
Espasa Calpe; Vol. 34  
pags. 856, 857, 859, 862.
- 2.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
Vol. 64, 1966 - 7442.
- 3.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
Vol. 59, 1255, año 1963.
- 4.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
Indian Journal Chem. 3(3), 100 -4(1965)
- 5.- THE OXIDATION STATES OF THE ELEMENTS.  
Latimer Wendel : pags. 175 - 182.
- 6.- INDEX MERCK.  
pag. 662
- 7.- ARCHIVOS DE " INDUSTRIAS P.R. MALLORY "
- 8.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
Gyorgy Szasz, Vera Banyai.  
Acta Pharm Hung. 25, 145-9(1955)
- 9.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
E. Popper N. Arnton.  
Pharmacia (Bucharest) 6, 491 - 8(1958)
- 10.- ARCHIVOS DE "INDUSTRIAS P.R. MALLORY"
- 11.- ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA (inglés)  
Kirk Othmer; Vol 13  
pags. 245 - 247
- 12.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
Varta A.G. Brit. 1,150,506 (Cl.B22d) 30 apr. 1969  
Ger. Appl. 03 feb. 1966
- 13.- CHEMICAL ABSTRACTS.  
Eugene L. Codrus & Leslie Lipschitz

U.S. 3,149,917 (Cl,23-183) sept. 22, 1964

Appl. jan. 14, 1963

- 23.- INGENIERIA ELECTROQUIMICA  
C.L. Mantell : pags. 332,333  
Editorial Reverté
- 14.- MATERIAL AND ENERGY BALANCES  
A. X. Schmidt & H.L. List : pag 209  
Prentice Hall
- 15.- CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK  
John H. Perry ; pag. 3.4  
Mc Graw Hill Book Company
- 16.- MATERIAL AND ENERGY BALANCES  
Schmidt & List ; pag 188  
Prentice Hall
- 17.- CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK  
J.P. Perry ; pag. 9-14
- 18.- CATALOGO DE " SERVICIO INDUSTRIAL, S. A. "  
pag. 109
- 19.- ABSORPTION & EXTRACTION  
Sherwood & Pigfor ; pag. 370  
Mc Graw Hill Book Company
- 20.- CASA COMERCIAL " FREISSINET, S. A. "
- 21.- PLASTICOS REFORZADOS DE MEXICO, S. A.
- 22.- CAPITAL COST ESTIMATING.  
K.M. Guthrie.  
Chemical Engineering, marzo 24, (1960), pags. 114 - 142
- 24.- CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK.  
J.H. Perry ; pag. 26-31.