



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

25

ANALISIS DEL PROCESO DE OBTENCION
DE FOSFORO ELEMENTAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :
JOSE ANTONIO JAUREGUI ZARAGOZA



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.

LAB Tesis 1977
OO M-219 **222**
SCIA _____
RDC _____
S _____



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

Presidente: Vladimir Estivil Riera.
Vocal: Guillermo Carsolio Pacheco.
Secretario: Antonio Frias Mendoza.
1er. Suplente: Alfonso Franyutti Altamirano.
2o. Suplente: Caritino Moreno Padilla.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:
FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

SUSTENTANTE

JOSE ANTONIO JAUREGUI Z.

ASESOR DEL TEMA

I.Q. ANTONIO FRIAS MENDOZA.

CON CARIÑO A MI MADRE
SRA. CARMEN ZARAGOZA GARCIA
QUE GRACIAS A SUS SABIOS CON-
SEJOS, ESFUERZOS Y ABNEGA- -
CION, HA LOGRADO QUE FRUCTI-
FIQUE UNA DE LAS ETAPAS MAS-
GRANDES DE MI VIDA.

CON CARÍÑO A MIS HERMANOS:
PARA QUE SIRVA DE INCENTIVO
Y LOGREN SU META DESEADA .

CON AGRADECIMIENTO A TODAS
AQUELLAS PERSONAS QUE CON-
TRIBUYERON A MI FORMACION-
COMO PROFESIONISTA COLABO-
RARON A LA REALIZACION DE-
ESTE TRABAJO .

CON ETERNO AGRADECIMIENTO A
NUESTRA ALMA MATER QUE ES -
LA U.N.A.M. Y EN ESPECIAL A
LA FACULTAD DE QUIMICA .

CAPITULO I

INTRODUCCION

México ha llegado a ser actualmente el país vanguardia en el desarrollo Económico e Industrial de América Latina; hay un factor de primer orden que contribuye preponderantemente al logro de los fines y metas establecidas en el campo industrial y económico, que nos harán dejar atrás definitivamente la etapa del subdesarrollo y enfrentarnos con una amplia experiencia y capacidad a los problemas y necesidades de un país autosuficiente e industrialmente desarrollado. Este factor es la Industria Química Mexicana, que debe ser armónicamente desarrollada y mayoritariamente autosuficiente, basado en la explotación y transformación de nuestros recursos naturales disponibles, élla es la que les comunica el valor y a la vez les dá la posibilidad de ser útiles.

Con la creación de la Industria Química Mexicana, será posible abastecer de materias primas y productos elaborados a la Industria Nacional primordialmente y después posiblemente a la extranjera; especialmente a la de transformación que depende en numerosos renglones de la importación de diversos productos, lográndose así tres finalidades importantes: el aprovechamiento de nuestros recursos naturales, suprimir la fuga de divisas vía importación y -

la muy importante CREACION DE FUENTES DE TRABAJO.

La producción de Fósforo Elemental en nuestro país, vendría a llenar una urgente necesidad en este desarrollo Económico Industrial, por sus aplicaciones en las ramas de Acido Fosfórico, Fertilizantes y Fosfatos, ya que en nuestro territorio existe un atractivo, amplio y creciente mercado para el Fósforo Elemental y sus derivados que son objeto de importación y originan una fuga considerable de divisas al país.

Por los motivos anteriormente expuestos, vamos a analizar en esta tesis el proceso más adecuado y actualizado que pueda ofrecer buenos resultados, aportando utilidades y beneficios al obtener bajos costos de producción y con la tecnología actualizada donde se indiquen una serie de cambios y modificaciones que se han hecho al proceso y equipo asociado para obtener Fósforo Elemental

ANTECEDENTES

a).- Descubrimiento de P_4 .

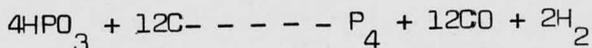
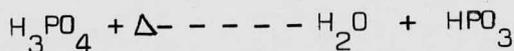
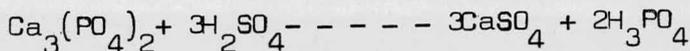
El Fósforo Elemental fué descubierto en 1675 por el alquimista alemán Brand, por el método de destilación de orina humana. Kunckel químico alemán investigó por su cuenta y al cabo de unas semanas logró obtenerlo. Brand en 1676 vendió su secreto a Kraft en 200 táleros, éste lo presentó en la Corte de Guillermo de Brandenburgo, donde Elsholtz le dió el nombre de "Fósforo". Más tarde Brand presentó su producto a la Corte de Carlos II de Inglaterra, fué mostrado al químico Boyle quien no pudiendo conseguir datos concretos de Brand, consiguió extraerlo igualmente de la orina en 1680, publicando este resultado.

Los procedimientos usados por todos estos químicos eran largos y repugnantes, puesto que partían de la orina putrefacta evaporándola, destilando el residuo con su peso de arena en presencia de agua. En 1743 Margraf indicó otro procedimiento basado en la reducción de los fosfatos de materias orgánicas a elevadas temperaturas fuera del contacto del aire. Gahn en 1774 descubrió la presencia del fosfato de calcio en los huesos y Scheele logró obtenerlo de las cenizas de los mismos. El carácter elemental de fósforo fué reconocido por primera vez por Lavoisier en 1777 para explicar su teoría de la combustión. Readmann en 1891 consiguió industrializar otro procedi-

miento indicado por Wohler, consistía en calentar arena pura con fosfato cálcico y carbón en un horno eléctrico.

b).- Procesos de Obtención de P_4 .

El proceso antiguo consistía en tratar huesos calcinados con H_2SO_4 , filtrar el sulfato de calcio resultante y otros insolubles del H_3PO_4 , concentrar el ácido por evaporación y finalmente pasar a retortas el ácido concentrado en presencia de carbón para efectuar la reducción a Fósforo Elemental.



Este proceso ha sido completamente suplantado por la fusión eléctrica, siendo en la actualidad el proceso más adecuado y utilizado en la obtención electrotérmica de Fósforo Elemental, donde se utiliza un horno eléctrico-rotatorio moderno de reciente diseño y construcción. Este proceso ofrece grandes ventajas, beneficios y utilidades por la serie de cambios y modificaciones que se le han he-

cho hasta la fecha, dando como resultado bajos costos de operación y una eficiencia mayor en la obtención de P_4 .

Otro proceso consiste en el uso de Altos Hornos (Blast Furnace), que requieren coque incandescente como -- fuente de calor en vez de electricidad. La economía de -- combustible hace que aparezca más atractivo el Alto Horno que el Horno Eléctrico, pero en la práctica áquel ha presentado serias dificultades de operación que lo hacen in-- costeable, por lo que ha caído en desuso y se ha abandonado finalmente.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso para la obtención industrial de fósforo elemental que será analizado, se basa en el tratamiento de la roca fosfórica en un horno eléctrico semejante al que recientemente construyó y diseñó la Tennessee Valley - Authority, esta tecnología se ha mantenido relativamente - estática, sujeta ahora a nuevas tendencias dentro de condiciones comerciales, dando un numeroso aumento de detalles del proceso en particular, los que dependen de la experiencia individual de la compañía, la localización de la planta, las características del mineral y el diseño del horno. Las principales diferencias del proceso son: el diseño del horno y el método de aglomeración del mineral fosfatado.

El diseño del 7o. horno electrotérmico rotatorio de 25,000 kilowatts para fósforo, es una gran unidad de moderno diseño que reemplaza a dos pequeños y obsoletos hornos, tiene una producción total de 43 toneladas métricas - por día, recuperando el 86 % del fósforo alimentado, tiene una carga eléctrica promedio de 29,950 kilowatts por tonelada de fósforo.

Las innovaciones adicionales a este sistema, son los sellos de agua telescópicos en los electrodos, el se--

llo de agua entre el crisol rotatorio y la cubierta estacionaria, también los sellos de cuarzo seco, que reemplazan a los sellos convencionales de aceite en el precipitador electrostático. Estas modificaciones, reducen la pérdida de P_2O_5 y mejoran la calidad del producto, otras operaciones económicas (comparadas con las unidades pequeñas), incluyen: menor costo de operación, menos energía eléctrica por tonelada de producto, y menos costo de mantenimiento. En el horno eléctrico, la sílice SiO_2 actúa como un ácido fuerte a elevadas temperaturas, de 1,300 a 1,500 °C libera P_2O_5 del mineral fosfatado, que se reduce con el carbón de coke presente en la carga del horno a fósforo gaseoso.

El diagrama de flujo se divide en 3 partes:

- 1.- Tratamiento de la Roca Fosfórica.
 - 2.- Proceso Electrotérmico.
 - 3.- Separación y Recuperación de Fósforo.
- 1.- Tratamiento de la Roca Fosfórica.

La carga del horno se compone de una mezcla de roca aglomerada (hojuelas compactadas), carbón (una mezcla 50-50% de coke y carbón bituminoso), sílice (gránulada con 99% de SiO_2). El promedio de carbón usado es de 104% del requerimiento teórico, debe agregarse suficiente sílice pa

ra obtener una relación SiO_2/CaO de 0.85 a 1.0 en la escoria. Aproximadamente 532 ton.met. de carga, reaccionan diariamente en el horno, para producir vapor de fósforo, escoria y monóxido de carbono, la principal reacción que se efectúa es la siguiente:



El mineral de fosfato usado, por lo general es una forma de apatita (flúor apatita: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), a la que simplemente llamaremos mineral fosfatado. La medición y aglomeración de la carga es un factor clave en la operación satisfactoria del horno, porque cualquier material muy fino inhibe la descarga de gas en la zona de reacción, la carga sin una porosidad adecuada, no desciende uniformemente a través de la masa fundida, produciendo burbujas de vapor que transportan cantidades excesivas de polvo. Para prevenir lo anterior, se aglomera el mineral fosfatado en un proceso de compactación, posteriormente se somete a tratamiento térmico (Secado, Calcinación y Enfriamiento), en el sistema de un horno rotatorio chico con transportador enrejado, para endurecer el mineral aglomerado, conteniendo de 26.5 a 28% de P_2O_5 con un espesor de hojuela uniforme de 1.6 a 1.9 cm. con un rango de tamaños de 2.5 cm., 3.1 cm., y 5.0 cm., por lo que no es preciso determinar un tamaño ideal de hojuela. El tamaño promedio deseado de partícula fosfatada está en un rango de 1.3 a 2.5 cm., con un mínimo de 6 mallas para finos y de 5.0 cm. para terrones, los finos menores de 6 mallas se recirculan al proce-

so de alomeración. El carbón tiene un diámetro promedio de 1 cm. y la sílice tiene regularmente un tamaño de 2.5 - cm.

Posteriormente el mineral fosfatado, el carbón - y la sílice, se mezclan y se conducen por una serie de - transportadores de banda hacia un depósito circular de materias primas, localizando a 8 metros sobre la cubierta -- superior del horno, el depósito tiene una capacidad de - - 295 ton. de carga, en 12 compartimientos alrededor de su - perímetro, cada uno tiene un vertedero que lleva la carga por gravedad hacia el horno.

2.- Proceso Electrotérmico.

El horno eléctrico es del tipo de arco indirecto trifásico el arco se mantiene entre los electrodos sobre - la carga, está completamente sellado y opera a una presión ligeramente arriba de la atmosférica. El hogar del horno-rotatorio tiene 8 metros de diámetro y 4.9 metros de la cubierta al hogar, la cubierta y los 3 electrodos que la a--traviezan son estacionarios, el crisol puede girar a una-velocidad de 1 revolución/150-300 hrs., hay una capa de -- bloques de carbón de 1.3 metros en el hogar, acomodados en 3 hileras sobre una placa de acero enfriada con agua, la - cubierta superior y las paredes laterales están encerradas con un revestimiento de acero enfriado con agua y hermeticamente sellado.

Los electrodos (89 cm. de diámetro y 10.5 ton. de peso máximo) cuelgan verticalmente de unas abrazaderas enfriadas por agua de los sellos telescópicos, su altura se ajusta automáticamente conforme se quema el carbón manteniendo constante la carga de corriente. Los sellos telescópicos constan de 2 secciones movibles y un recipiente para agua, ambos mantienen un sello de 15 cm de agua, permitiendo el movimiento vertical de los electrodos en un rango de 1.44 metros, el agua que los enfría está a 82°C y su sello positivo está provisto de una válvula de venteo de emergencia para descargar presiones elevadas anormales. — La energía proveniente de cada fase de un transformador de 30,000 KVA, se conduce por 12 tubos de cobre de 3.8 cm. de alta resistencia, enfriados por agua, 4 tubos para cada portaelectrodo, el transformador se conecta en circuito — delta, proporcionando 425 volts, su capacidad máxima es — de 750 volts.

Previo al arranque, se seca el forro del horno — con una combinación de fuegos de leña y coke, y con la — energía de los electrodos, la parte superior del horno alcanza 650 °C durante el secado, temperatura que la agrieta extensamente, son fisuras que no presentan un problema después de aplicar un lechado en las partes afectadas, durante el primer año de operación. Durante la operación normal, el calor de los electrodos funde la carga entre — — 1,260 y 1,482 °C, la sílice ácida libera P_2O_5 , entonces el vapor de pentóxido de fósforo es reducido por el carbón incandescente a fósforo elemental gaseoso. Los productos gaseosos, aproximadamente 10% de P_4 en volúmen, CO y tra—

zas de otros gases como: H_2 , CO_2 , CH_4 , C_2H_4 , salen del horno por un conducto de acero de 1 metro de diámetro. Algo de fósforo se pierde en la formación de una aleación de fierro-fósforo, que se extrae cada 12 horas y se vende a la industria del acero. Aproximadamente $3/4$ de ton. de P_4 , se pierden diariamente como P_2O_5 en la escoria de silicato de calcio, que también contiene flúor, la escoria se extrae cada 45 minutos y se vende como material de expansión para concreto, aproximadamente $1,040 \text{ Kg/m}^3$.

3.- Separación y Recuperación de Fósforo.

La corriente de gas sale del horno aproximadamente a 350°C pasa a un precipitador electrostático de doble paso, capaz de manejar $226 \text{ m}^3/\text{min}$. al que se le han adaptado los sellos de cuarzo seco en lugar de los sellos de aceite convencionales. El polvo desciende a una tolva colectora, donde el agua arroja la suspensión a un tanque con agitación continua; de aquí, una bomba centrífuga envía la mezcla a un tanque de sedimentación, el polvo se recircula al proceso de aglomeración o se vende para fertilizantes.

Los gases calientes conteniendo fósforo, pasan a un sistema de condensación (Tubular y Espreas), localizado arriba de un foso colector grande de 5 secciones que está forrado de ladrillos. Los gases se alimentan por la parte inferior del condensador de espreas que es de acero dúctil, circulando 950 L.P.M. de licor espreado (solución --

diluida de amoníaco), recirculado a contracorriente, el vapor de fósforo se condensa durante la evaporación adiabática del licor, escurriéndose dentro del foso colector. La recuperación final de los residuos de fósforo en el gas se lleva a cabo en el condensador tubular enfriado con agua.

La mayor parte del fósforo condensado, sedimenta dentro de la primera de las 5 secciones del foso colector, el resto queda en el sedimento (Emulsión de: agua, P_4 , polvo y partículas volátiles del horno), el cual fluye hacia la segunda sección del foso. El Fósforo elemental se envía al almacén con bombas centrifugas, con la tubería sumergida en agua caliente. El sedimento que contiene aproximadamente un 50% de fósforo, se separa por asentamiento o por centrifugado y se almacena.

CAPITULO III
ANALISIS TECNICO

A continuación se desarrolla un estudio técnico, con el objeto de proporcionar una descripción más precisa y exacta de todas y cada una de las etapas del proceso para la obtención de fósforo elemental, en donde se indican una serie de modificaciones, controles, ajustes o cambios que se han efectuado en el horno rotatorio No. 7 de 25,000 KW. y en el equipo asociado.

A).- TRATAMIENTO DE LA ROCA FOSFORICA.

1.- Preparación de la Alimentación.

La capacidad máxima de un horno eléctrico para fósforo, por lo general puede extenderse y los costos de fabricación reducirse, si primero se preparara la alimentación del mineral fosfatado, por medición y tratamiento térmico antes de introducirla al horno. Cuando se usan grandes cantidades de finos en la carga inicial, se forma una incrustación que se atribuye a una fusión parcial - - - de la carga arriba de la zona de reacción, la incrustación fuerza al flujo gaseoso a través de un espacio anular estrecho alrededor de los electrodos y con ésto, se --

limita el flujo de la carga a la zona de reacción, lo que tiende a reducir la capacidad del horno.

La medición cuidadosa de sólidos alimentados al horno, promueven la distribución del flujo gaseoso en el horno, resultando una mayor transferencia de calor y costos bajos de energía, cuando ésta se reemplaza parcialmente por combustible de bajo costo. El promedio deseado del tamaño de partícula fosfatada, está en un rango de 1.3 cm. a 2.5 cm. con un mínimo de 6 mallas para finos y de 5 cm. para terrones.

El tratamiento térmico, también es importante ya que imparte resistencia y dureza a las partículas cargadas en el horno, estas características minimizan la decrepitación en la alimentación a altas temperaturas.

2.- Procesos de Aglomeración.

La aglomeración del mineral fosfatado para usarlo en la alimentación del horno eléctrico, requiere la formación de uniones físicas fuertes entre las partículas separadas, produciéndolas de un tamaño más grande y en forma de: esferas, gránulos, briquetas, hojuelas u otras formas, pero el objetivo básico de estos procesos es el mismo o sea la preparación de una alimentación satisfacto-

ria para el horno, cuyo funcionamiento probablemente depende de: la concentración, la resistencia al choque y el contenido de volátiles de los aglomerados formados.

La alimentación ideal preparada, estará compuesta de aglomerados de igual densidad e integridad mecánica con respecto a la partícula mineral original, que no manifiesta pérdida de peso al calentarla al punto de fusión. - La porosidad de la carga (como una función del aglomerado-formado), también es importante que admita flujo a contracorriente entre el gas y la carga de entrada, con baja caída de presión, pero con buena transferencia de calor.

a.- Proceso de Granulación.

El mineral es secado hasta un nivel de 1% de humedad o menos, para prevenir la formación de capas sobre el medio de molienda, el mineral seco pasa a un molino de bolas hasta obtener el No. de Blaine (área total de contacto de la alimentación); en un rango de 2,000 a 4,000 cm^2/gm , la energía de entrada al molino y el tamaño de éste, son fuertemente influenciados por el contenido de sílice en el mineral, una vez reducido el mineral quizá a un tamaño de distribución de 60-80% pasando 200 mallas, se alimenta sobre un disco rotatorio (también se usa: tambor o cono), donde el agua espreada origina la semilla para formar los gránulos que se obtienen sobre el disco, se pueden tamizar, recirculando las partículas de menor tamaño hacia

la regeneración de los gránulos.

El proceso requiere una alimentación seca y firmemente molida, aumentando los costos de inversión y operación, la formación de gránulos no permite un control automático del proceso necesitando frecuentemente ajustes de operación y las operaciones a gran escala requieren unidades múltiples. Las velocidades del proceso son más lentas porque los gránulos son más densos y menos porosos, las velocidades de difusión exterior de los gases de escape producidos son más lentas, si los gases producidos se desprenden a velocidades mayores que la velocidad de difusión el gránulo se puede hacer añicos, aproximadamente el diámetro máximo del gránulo es 1.8 cm. Este proceso, por lo tanto se rechaza por las desventajas que ofrece y que fueron descritas antes.

b.- Proceso de Briqueteado.

La aglomeración del mineral se produce por la aplicación de una fuerza, que se ejerce por 2 cilindros rotatorios con su contador respectivo, giran en sentido opuesto uno con respecto al otro, la alimentación del mineral es por gravedad o utilizando un dispositivo de alimentación forzada del tipo "tornillo de gusano", luego el mineral se introduce en una de las aberturas muy estrechas entre cualquier cilindro. El criterio más importante para diseñar el molino de briqueteado es: la densidad de bul

to del mineral y la densidad deseada del producto briquetado. La presión ejercida en cada briqueta, depende de la cantidad de materia en los moldes, como del ancho y diámetro de los cilindros. La temperatura también es una variable muy importante, porque algunos minerales pueden briquetarse fácilmente a temperatura ambiente, especialmente si contienen arcilla, que actúa como agente ligante, también influyen en la facilidad de briquetado, la distribución del tamaño de partícula o las características del mineral. La formación de la briqueta es por medio de moldes perfectos o cojinetes, formados en las cavidades de los cilindros.

Este proceso no se recomienda, porque produce un desgaste considerable en los cilindros, ocasionando un costo de operación mayor, la extensión del cilindro varía con el tamaño de briqueta, con las características del mineral o con las temperaturas, pudiendo ser del orden de \$11.50/Ton. alimentada al horno. La producción de una máquina sencilla disponible está limitada, por lo que es necesaria una multiplicidad de unidades para plantas grandes modernas.

c.- Proceso de Nodulización.

Este proceso utiliza un horno rotatorio pequeño para alcanzar elevadas temperaturas de calcinación y aglomeración simultáneamente del mineral fosfatado, cuando pa-

sa a través del horno la roca se calienta a su temperatura de fusión incipiente 1,205-1,425 °C, temperatura cercana a su estado de fundición, la acción rotatoria del horno produce partículas pequeñas que permanecen unidas entre sí, - formando aglomerados fundidos semejantes a cenizas, llamados "nódulos". El producto nodular mide entre 6 mallas y 5 cm. obtenido por: tamizado, molido de partículas más - - grandes y recirculación de todos los tamaños de partículas mayores hacia la alimentación del horno. Como el proceso es difícil de controlar, se requiere el uso de una "barra-barrenadora" enfriada por agua, para remover la masa fundida formada en el anillo del revestimiento del horno rotatorio pequeño. No se requiere equipo de pre-aglomeración.

El nódulo obtenido es un producto extremadamente desmenuzable que genera una cantidad excesiva de finos, un producto nodulizado grande no se obtiene a un tamaño uniforme, excepto cuando se lleva una recirculación económicamente prohibitiva. La incrustación relacionada con el proceso, implica un co-mesclado del mineral con coque y un calentamiento subsecuente sobre un transportador enrejado, la combustión del coque induce elevadas temperaturas que -- causan la fusión del mineral y así vemos que este proceso viene a ser obviamente "anti-económico", por los costos de coque y del equipo asociado.

d.- Proceso de Compactación (Hojueleado).

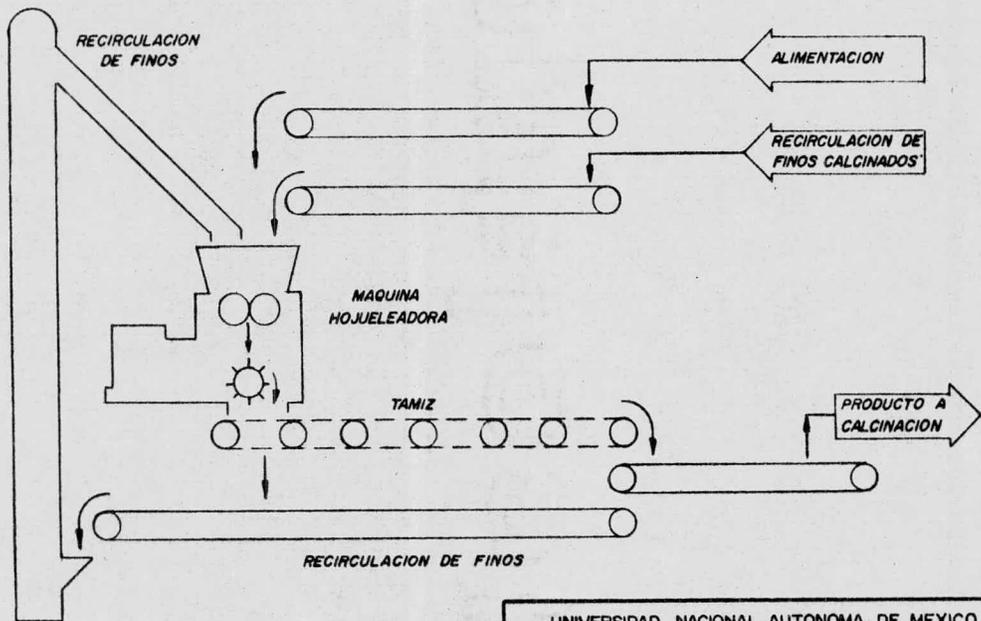
La adaptabilidad del mineral fosfatado para com

compactación depende de su origen, porque el mineral puede estar demasiado húmedo, seco, fino, grueso o demasiado limpio, es decir que no tenga suficientes agentes ligantes naturales tales como el barro.

La compactación es esencialmente un proceso de densificación o reducción de huecos. La materia prima mineral y la recirculación se combinan en un sitio de mezcla, donde se ajusta el contenido de humedad a 1% y también se pueden agregar agentes ligantes si son necesarios. Los cilindros compactores producen una placa continua de material comprimido que pasa a una quebrantadora de hojuelas, que tiene cuchillas helicoidales fijas, con espaciamientos de 2.5 cm., 3.2 cm. y 5 cm. El material comprimido se parte en formas irregulares al fijar un rotor diferente en la quebrantadora, las modificaciones adecuadas para ésta, se hacen conforme las dicten los resultados de operación. El producto compactado normalmente tiene un espesor de hojuela uniforme de 1.6 ó 1.9 cm., el material de menor tamaño se remueve por tamizado y se recircula directamente al molino compactador.

3.- Selección del Proceso de Aglomeración.

El proceso de compactación de hojuelas, es el que se puede elegir por las ventajas que ofrece para preparar la alimentación del horno electrotérmico para producir fósforo elemental. Es muy importante tomar en cuenta el origen del mineral y su composición, los principales elemen--



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE FLUJO DE HOJUELEADO DE
MINERAL

TESIS PROFESIONAL : JOSE ANTONIO JAUREGUI ZARAGOZA

tos para el sistema de compactación en un circuito cerrado, son similares a los usados para briqueteado, excepto que la superficie de los cilindros es lisa para la compactación, por este motivo el reemplazamiento y desgaste de cilindros es menor que para briqueteado. El contenido de silice en el mineral, es un factor en el costo de producción de hojuelas, porque el desgaste del cilindro compactador -- ocasionado por la abrasión, aumentará con la cantidad de -- sílice. El tamaño máximo de partícula mineral, deberá ser menor que el espesor deseado de hojuela compactada, también las fracciones de tamaño grueso deben balancearse con suficiente cantidad de finos para completar los huecos y -- producir hojuelas concentradas, permitiendo un control -- apropiado de temperatura en la operación.

4.- Tratamiento Térmico.

El proceso se lleva a cabo dentro de un sistema "horno-enrejado", que combina ventajas de transferencia -- de calor, de gases a sólidos dentro de un transportador -- enrejado, con transferencia de calor radiado y un mezclado uniforme en un horno rotatorio. El sistema se ha aplicado en otros procesos industriales, que usan alimentación compactada, el sistema comprende 4 etapas:

a).- Pre-Aglomeración.

El fosfato mineral fino, se compacta en una pla-

ca continua por la acción del molino compactor, después se parte en una quebrantadora de hojuelas y se tamiza para -- producir el aglomerado medido, las partículas de menor tamaño se recirculan al molino compactor.

b).- Pre-calentado y Secado.

Se realiza secuencialmente en zonas separadas -- con baffles, en el transportador enrejado, donde los gases calientes recuperados del enfriador y el enrejado mismo, -- viajan a contracorriente del flujo de materiales, logrando una transferencia de calor óptima.

c).- Endurecimiento y Calcinación.

Se lleva a cabo dentro de un horno rotatorio pequeño, donde el transportador enrejado conduce el material al horno, que se calcina en cualquier punto de la zona de elevada temperatura, entre 1,800 y 2,400 °C.

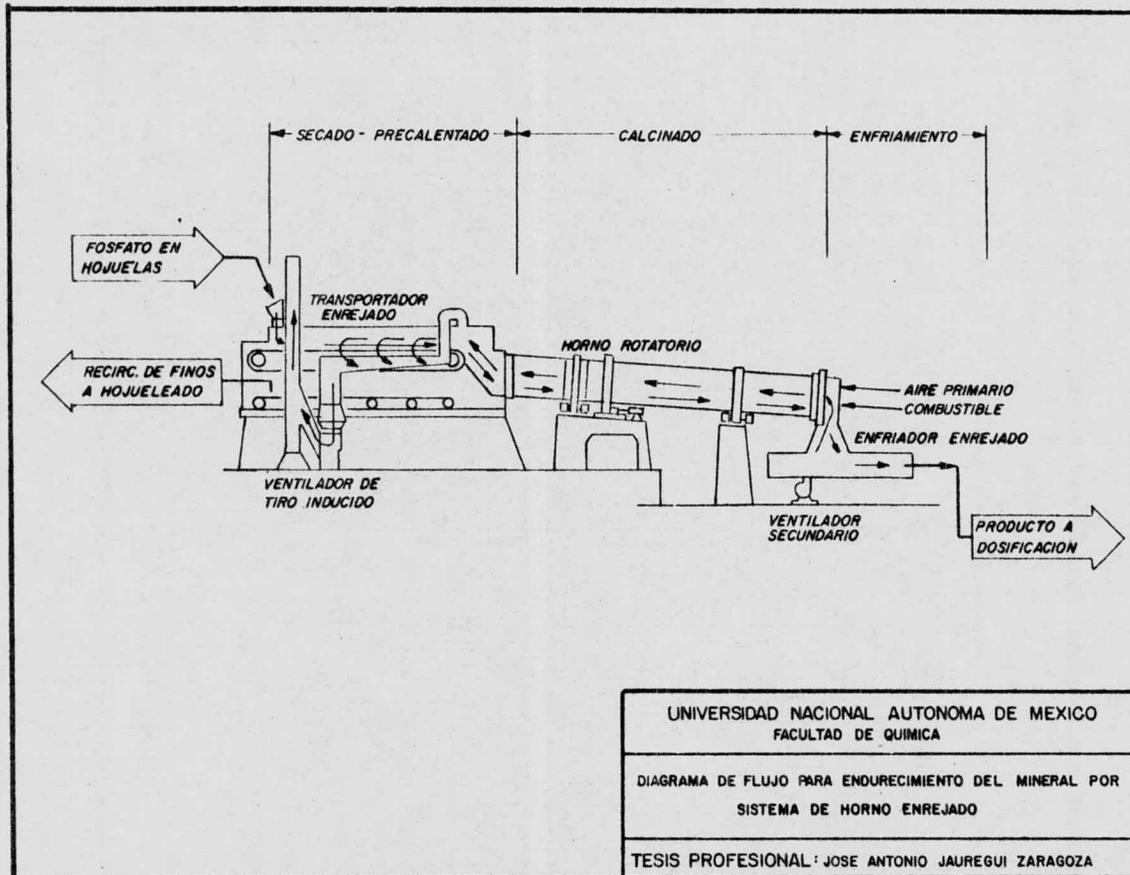
d).- Enfriamiento.

Una vez calcinado el mineral fosfatado dentro -- del horno, se descarga al sistema de enfriamiento, donde --

se enfría el mineral con aire forzado y el calor removido del mineral hojuelado en el enfriador, se recircula al proceso para obtener una máxima eficiencia térmica. En este proceso la recuperación de calor es más eficiente que en el proceso de nodulización, además se requiere alimentar menor cantidad de calor/Ton. de producto calcinado, también la alimentación de aglomerados para el horno se puede preparar, teniendo una mínima variación de tamaño y calidad. Una importante observación consiste en que el proceso no requiere equipo especial de operación, como barras barrenadoras o batidoras para remover incrustaciones. El tratamiento térmico se puede apreciar en el diagrama de flujo para endurecimiento del mineral fosfatado por "sistema de horno enrejado", que se presenta a continuación.

5.- Control de la Composición de la Carga.

La composición y características físicas de la carga total del horno, probablemente son las variables más importantes de controlar en la operación del horno eléctrico para fósforo, la selección del grado y tipo de mezclado es un factor principal en el diseño de una planta. El control de la composición de la carga se inicia en la operación de minería y el sistema completo tiene la finalidad de obtener propiedades adecuadas del mineral fosfatado en relación con la sílice y la reducción de carbón en la zona de fusión del horno, las operaciones específicas dependen-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA ENDURECIMIENTO DEL MINERAL POR
SISTEMA DE HORNO ENREJADO

TESIS PROFESIONAL: JOSE ANTONIO JAUREGUI ZARAGOZA

extensamente del productor particular y del origen de la materia prima.

Todos los productores usan alguna forma de control para obtener una composición de alimentación uniforme, las posibles técnicas escogidas para la explotación de minas, permiten el mezclado de minerales de alto y bajo grado, nivelando la salida del contenido de fósforo. Se emplean computadoras para planificar los programas de minería para el futuro, para llevar al máximo la recuperación de fósforo y asegurar alimentaciones uniformes.

De todas estas técnicas, se requiere alguna forma de mezclado que es difícil y costosa, porque se manejan grandes cantidades de mineral, actualmente los métodos de mezclado en uso cubren un rango amplio, desde sencillo hasta elaborado: El mineral se puede mezclar sobre el piso, con grúas o rasadoras, otro proceso utiliza cucharones grandes que son similares a las dragas de minería, que se mueven a través de las cantidades apiladas para realizar el mezclado.

El sistema más elaborado y efectivo de mezclado que se conoce, usa grandes cantidades apiladas, que extienden uniformemente todo el mineral que va llegando a la planta, formando una sola pila grande y luego se divide --

a 90°, con un dispositivo especialmente diseñado para este servicio, se puede concluir con la transferencia de porciones, de dos o más incrementos almacenados usando sistemas de transportadores, porque el mezclado o rasado con grúas es demasiado riguroso y produce rompimiento de aglomerados, generando finos excesivos.

B).- OTRAS MATERIAS PRIMAS.

1.- Carbón de Coke.

El costo de coke por tonelada de fósforo es tan significativo como el costo base del mineral fosfatado, sus características físicas tienen tanto o más efecto en la operación del horno, como las propiedades del fosfato. Sin embargo la mayor parte de los fabricantes de fósforo, tienen un control mínimo de coke utilizado y tienen una lucha constante entre el precio y la calidad.

La mayor parte de coke usado en la industria, -- tiene especificaciones tales como: Un control de humedad -- cercano al 1 %, es seleccionado por tener un posible contenido de carbón reactivo más elevado y una alta resistencia eléctrica. El tamaño promedio de partícula es de casi 1 -- cm., posee un mínimo de finos (aproximadamente 5%, menor -- de 8 mallas), un contenido de volátiles bajo y por lo me--

nos un 85% de carbón fijo, ésto no reduce el efecto total de los finos de coke en la carga, pero reduce la posibilidad de una segregación seria en los depósitos de coke. El promedio de carbón usado es el 104% del requerimiento teórico y puede ser una mezcla de 50-50% de coke y carbón bituminoso.

2.- Sílice como SiO_2 .

En Tennessee y Florida, se usa el gránulo de sílice que abunda en lechos de arroyos y ríos al Sureste de los Estados Unidos de Norte América y además no es costoso. Las posibles tendencias futuras podrían enfocarse al uso de:

- a).- Mineral auto-fluido, ejemplo: un mineral -- conteniendo aproximadamente las propiedades deseadas de SiO_2/CaO .
- b).- El uso de otras fuentes de sílice, por ejemplo: colas o restos de arenas de las operaciones de beneficio en flotación.

La cantidad de Al_2O_3 presente, afecta a la temperatura de fusión de la escoria y a la cantidad de SiO_2 que debe agregarse para obtener escoria, con una temperatura -

mínima de fusión. En los hornos rotatorios (para obtener fósforo elemental), la escoria contiene de 7-9% de Al_2O_3 y una relación de peso de SiO_2/CaO igual a 0.85-1.0, esta relación es para obtener la fluidez deseada, por lo general su tamaño de partícula es de 2.5 cm. el contenido dentro de la sílice granulada como SiO_2 es 98% aproximadamente.

C).- SISTEMA DE DOSIFICACION HACIA EL DEPOSITO DE M.P.

Para descargar el mineral fosfatado que previamente ya se ha aglomerado, hasta el depósito de materias primas con las proporciones correctas de sílice y coke, se instala un sistema capaz de proporcionar las materias antes que se alimenten al horno donde se usan varios depósitos de almacenamiento para contener las materias primas, se emplea algún dosificador que asiente las materias sobre una banda en movimiento, donde propiamente se mezclan. De los depósitos de almacenamiento se analizan las materias antes de alimentarlas al horno y la proporción dosificada de cada una, se basa en su análisis correspondiente, probablemente es más económico y efectivo para el depósito de materias primas, usar un método de obtención de muestras representativas en cada depósito y un sistema de muestreo continuo de la alimentación.

Los dosificadores de pesado continuo, suminis- -

tran las materias primas desde los depósitos de almacenamiento, fácilmente se ajustan y pesan exactamente la cantidad de materia requerida. Se usan dosificadores de pesado continuo y básculas para hornadas o tandas, aquéllos son menos costosos y ocupan menor espacio, éstas probablemente son más exactas ya que proporcionan mejores registros de materias primas consumidas y también se ajustan fácilmente.

Después de que el mineral compactado, el carbón y la sílice se han mezclado, se conducen sobre una serie de transportadores hasta un depósito circular de materias primas, localizado a 8 metros sobre la cubierta superior del horno, este depósito tiene una capacidad para 295 ton. de carga, con 12 compartimientos alrededor de su perímetro y cada uno de éstos, tiene un canal que alimenta la carga por gravedad hacia el horno eléctrico. El depósito tiene un sello circunferencial, que minimiza la fuga de aire y la pérdida del gas inerte (en este caso Nitrógeno), que se utiliza para nivelar el depósito continuamente a razón de: $2.83 \text{ m}^3/\text{min}$.

D).- HORNO ELECTRICO ROTATORIO.

Es de arco indirecto trifásico de 25,000 KW., el diámetro interior del crisol del horno es de 8 metros y tiene 4.9 metros desde la cubierta al hogar, el horno opera a una presión ligeramente arriba de la atmosférica. El crisol (conteniendo 182 ton. de mezcla fundida, escoria, -

etc.), se monta sobre una placa circular de acero, accionada con un motor de 1/2 HP. y reductores de velocidad variable, una rueda dentada y una cadena que lo hacen girar a una velocidad de 1 revolución /150 a 300 hrs. El sello de agua alrededor del crisol, es un espacio que hay entre la cubierta superior fija y el crisol rotatorio, está herméticamente sellado y se enfría con agua retenida en el depósito anular adjunto a la cubierta exterior.

La cubierta y los 3 electrodos de carbón grafitado que la atraviezan son estacionarios, en el hogar hay una capa de bloques de carbón de 1.30 metros, acomodados en 3 hileras sobre una placa de acero enfriada con agua, la cubierta estacionaria y las paredes laterales están hechas de "grog monolítico", selladas con un revestimiento de acero de 1.6 cm. de espesor, enfriado con agua y herméticamente sellado. El fondo del crisol también se enfría con agua, la cual fluye hacia arriba por medio de una tubería de abastecimiento, que viaja radialmente hacia los canales recolectores que rodean al horno. Un doble fondo, con una profundidad de 3.8 cm. mantiene un movimiento rápido del agua en contacto con la placa de acero del fondo del crisol.

1).- Sellos de Agua Telescópicos.

La operación óptima de un horno para fósforo, implica el mantenimiento de una presión estable, ligeramente

arriba de la atmosférica dentro del crisol del horno y puede variar entre vacío y carga, pueden ocurrir fugas en cualquier dirección sin los sellos adecuados, entre los electrodos y la cubierta superior fija. Si el aire se induce hacia el interior del crisol, reaccionará con el vapor de fósforo produciendo ácidos corrosivos y formando lodos pesados, si los vapores se expulsan al exterior del horno, se quemarán arriba de la cubierta superior representando un riesgo para el personal y el equipo. Se han usado varios materiales de empaque para proporcionar un sello de fricción entre el movimiento del electrodo y la cubierta superior, pero se encontró que los sellos de agua telescópicos cumplían con los requisitos establecidos.

Cada sello está compuesto por 2 secciones móviles extendidas y un recipiente para agua, que juntos mantienen un sello de 152 mm. de agua, son de acero inoxidable 316-L, el empaque asegura una junta hermética entre el cuello superior y el electrodo, el movimiento máximo de éste; con los sellos telescópicos, lo proporcionan las 2 secciones móviles en un rango de 1.22 m. que es suficiente para una operación satisfactoria, el agua que los enfría está a 82°C y su sello positivo es tan bueno que se le prevee de una válvula de venteo de emergencia para descargar presiones elevadas anormales.

Los sellos están compuestos por una sección de apoyo, fijada y empotrada en el techo del horno, con esta sección se ajustan dos secciones telescópicas, diseñadas -

para viajar hacia arriba y hacia abajo con el electrodo.-- La sección superior está hermeticamente sellada con un empaque, entre la superficie del electrodo y el cuello de la cubierta superior; se fija con un perno, el cual es accionado por el portaelectrodo cuando viaja hacia arriba o hacia abajo, según se mueva el electrodo. El agua de sellado que entra a la sección superior, se derrama a la sección central y finalmente se descarga por la sección del fondo.

a).- Problemas con los Sellos Telescópicos.

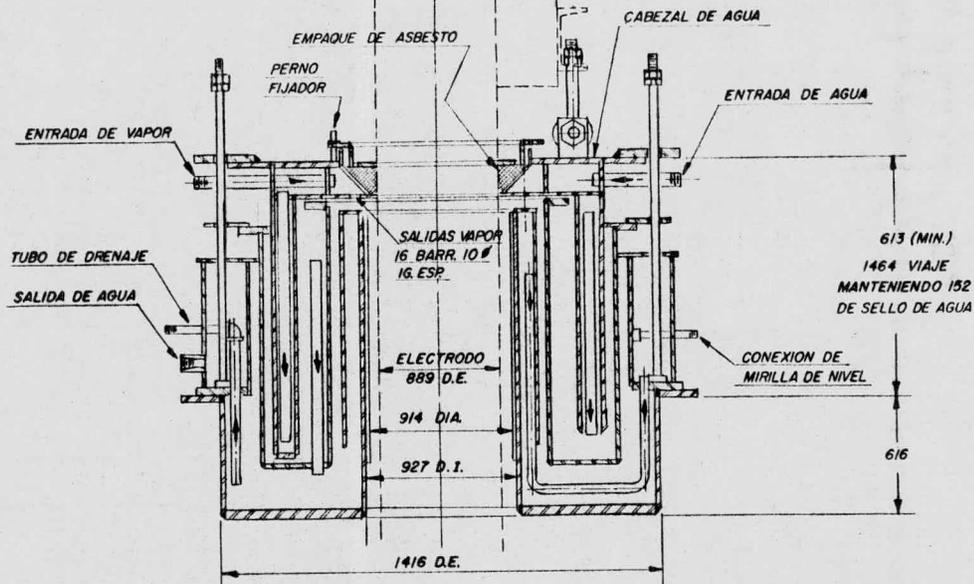
Las dificultades con estos sellos, aparecen entre la unión de la primera y segunda sección (superior y central) y llegan a ser tan agudas que el movimiento del electrodo se interrumpe y se limita el recorrido total, -- los electrodos 1 y 2 son los más afectados. Es previsto un depósito exterior de material que se forma sobre las superficies en movimiento, y se acumula en el fondo de la cámara de agua en una extensión que completa el movimiento del electrodo hacia abajo, los espacios estrechos libres -- de casi 0.5 cm. hacen difícil remover la materia depositada (incrustación), la adición de NaOH por la cubierta o por el enchaquetado de agua; parece desincrustarla, un poco de ésta se puede lavar afuera y otro tanto se puede desprender y remover con instrumentos afilados, aunque permanece bastante residuo que afecta adversamente el movimiento del electrodo. El agua suministrada a los sellos se --

calienta aproximadamente a 42°C para evitar la condensación del fósforo, después se eleva la temperatura del agua de entrada, con objeto de combatir la descamación y deposición del fósforo, ésto resulta efectivo si se mantiene el agua de entrada a 82°C, el depósito nocivo es grandemente minimizado, pero no eliminado. El diagrama que aparece en seguida, muestra una elevación seccional del sello de agua telescópico.

2).- Electrodo.

Los electrodos están espaciados en un arreglo triangular, de 89 cm. de diámetro, con un peso máximo de 10.5 ton., hechos hasta de 3 secciones de 2.7 m. cuelgan verticalmente de unas abrazaderas que se enfrían con agua de los sellos telescópicos, su altura se ajusta automáticamente conforme se va quemando el carbón, pero manteniendo constante la carga de corriente. Una parte nueva y significativa del diseño, sin duda son los sellos de agua telescópicos que reemplazan a los sellos o empaques anteriormente usados alrededor de los electrodos.

Los requerimientos de energía y voltaje determinan el tamaño del electrodo, porque la capacidad de corriente conducida, es una función del tipo y diámetro del mismo. El tamaño del electrodo, el voltaje y la resistencia de la carga pronosticada, determinan el espaciado de -



ACOTACIONES EN MILIMETROS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

ELEVACION SECCIONAL DEL SELLO TELESCOPICO

TESIS PROFESIONAL : JOSE ANTONIO JAUREGUI ZARAGOZA

éste, finalmente con el espaciado y el tamaño del electrodo, se determina el diámetro del crisol.

a).- Dimensiones y Tipos de Electrodo.

Electrodos Soderberg.

Producidos "in situ" (en el lugar de origen), de una pasta especialmente preparada, que se puede comprar en forma de bloques o briquetas, pero este tipo por lo general casi no se usan porque el control del proceso es más crítico, un rompimiento del electrodo puede resultar en el inventario de pasta cuando el electrodo entra al horno, -- causando una suspensión obligatoria del proceso, es necesario controlar el movimiento continuo del electrodo para obtener una vulcanización adecuada, evitando así la ruptura de un electrodo endurecido inapropiadamente.

Las velocidades de consumo son más rápidas, por lo que se requieren velocidades aceleradas de alimentación dentro del horno. La relocalización de los contactos eléctricos, ocurre con mayor frecuencia que en los electrodos Prebaked, se han producido dispositivos para deslizamiento de la "sobre carga", que permiten la relocalización de los contactos eléctricos sin interrumpir la entrada de energía. El diámetro máximo del electrodo Soderberg es de 1.52 a 1.57 m., requieren una densidad de corriente de --

5.4 ampers/cm², para el horneado "in situ" (en el lugar de origen), fuera del electrodo.

Así que, la capacidad de corriente conducida por los Soderberg, potencialmente es mucho más alta que la conducida por el tipo Prebaked, el obstáculo común para instalar los Soderberg en los hornos para fósforo, se debe a — que son un sistema muy complejo que implica un control preciso del perfil de temperaturas, a lo largo del eje longitudinal del electrodo, que es difícil de llevar a cabo a — una relación: ampers/volts específicos, es por lo que casi no se utilizan, ya que no se ha desarrollado el suficiente conocimiento para obtener un buen resultado deseable.

Electrodos Prebaked.

Este tipo de electrodos son muy usados en la — industria de fósforo, se construyen normalmente de "semi—grafito", porque hay uso limitado de carbón amorfo y de — electrodos de grafito para la producción de fósforo. La — velocidad de consumo es una tercera parte comparada con — los Soderberg y la relocalización de los contactos eléctricos, se hace con menor frecuencia en este tipo de electrodos. Tienen un diámetro máximo de 1.40 m., éste es el tamaño más grande y satisfactorio hasta ahora, el uso de — electrodos más grandes, será sin duda una futura tendencia, conforme aumenta el diámetro, la densidad de corriente má—

xima disponible disminuye, ésto se puede atribuir principalmente a la resistencia que existe en el contacto con las juntas del electrodo. Las densidades de corriente permisible van desde 4.2 a 4.3 amper/cm² para electrodos Prebaked semigrafitados, con un diámetro de 0.89 metros, y hasta 3.5 amper/cm² para electrodos de diámetro 1.4 m.

3).- Problemas con el Sello Alrededor del Crisol.

Esta experiencia ocurre en el horno rotatorio -- No. 7, resulta un violento soplo dentro del horno y desaloja cercanamente toda el agua y varios millares de gramos de fósforo, desde el sello de agua que se encuentra alrededor del crisol,. Aunque mucho fósforo soplado se desvía hacia abajo, al interior del canal que circunda al horno y que se enfría con agua, bastante fósforo se extiende alrededor de la vecindad inmediata, provocando un violento incendio, requiriendo una evacuación general temporal del personal del área de operación.

La presencia de un volumen tan grande de fósforo en el sello, no se conoce hasta que ocurre el soplido. Durante las primeras horas los operadores calientan el sello con vapor, así que el fósforo residual se considera que es una pequeña cantidad y puede drenarse al pozo colector. Para evitar este problema, las líneas del agua de entrada colocadas atrás del sello de la placa (junto al horno), --

se trasladan al exterior, impidiendo que el fósforo se enfríe a medida que entra al sello y así también evitar la entrada de agua al horno por medio del sello. La operación del horno, se reanuda después de un retraso de 39 horas empleadas para aseo general y una reparación de los daños que causa el incendio por el fósforo.

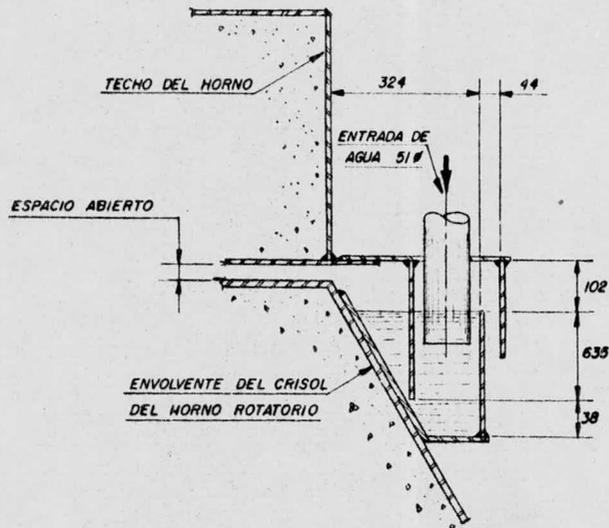
Antes de que ocurra el soplo violento dentro del horno, puede notarse el aumento de la frecuencia e intensidad de las fluctuaciones de presión, que va originando el agua en el interior del horno, por supuesto el chequeo que se hace al agua de entrada y salida de los sellos telescópicos del electrodo y a los monos de sangrado "tapping monkeys" enfriados por agua, no indica fuga de ésta ni se espera que la halla, sin embargo el sello de agua al rededor del techo en la cubierta superior del horno, es el que causa que el agua se derrame al interior del horno.

E).- TRANSFORMADOR DE ENERGIA.

Un transformador General Electric suministra la energía al horno, es una unidad de 3 fases, 60 ciclos y 30,000 KVA, reduce el voltaje de 12,000 a 750 volts, las conexiones en estrella transmiten de 245 a 430 volts y las conexiones en delta transmiten de 425 a 750 volts.

La energía del transformador se conduce por me





ACOTACIONES EN MILIMETROS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

SELLO DE AGUA ENTRE EL CRISOL Y EL TECHO DEL HORNO

TESIS PROFESIONAL : JOSE ANTONIO JAUREGUI ZARAGOZA

dio de colectores hacia las abrazaderas flexibles y soportadas, ambos se enfrían con agua, la energía de cada fase se conduce por doce tubos de cobre de 3.8 cm. de alta resistencia, también enfriados con agua y están soldados a los colectores secundarios del transformador terminando en los electrodos dentro de las abrazaderas de cobre soportadas, cuatro cables flexibles de 1,000 mcm. que se enfrían con agua, conectan al colector con el porta-electrodo del horno. Los tres electrodos están conectados en delta, -- las fases individuales compuestas por tubería de cobre de alta resistencia, se arreglan en 2 hileras verticales de 6 tubos, cada una está soportada de un dispositivo de asbesto-ébanco con lamicoïd en la interfase y aisladores laminados entre cada hilera, éstas se conectan al colector secundario del transformador, por lo que todos los devanados iniciales de la bobina secundaria se conectan a una hilera y los devanados finales se conectan a la otra hilera, que están separadas por los aisladores laminados en la interfase.

La economía de una unidad trifásica potente, -- puede servir adecuadamente a una planta conteniendo 3 ó -- más hornos eléctricos, existe un balance entre el costo de mantenimiento adecuado de refacciones y el costo probable de tiempo reducido ocasionado por algún daño del transformador, que es un artículo de costo principal, actualmente -- posee tal vez el tiempo de entrega más largo del equipo -- componente de una planta de fósforo.

Generalmente la mayor parte de los transformadores, deben desenergizarse antes de las conexiones en derivación, ya que el voltaje de fase se fija en el horno y — puede también cambiarse, esta restricción elimina oportunidades de ajuste automático de la energía de entrada al horno, mejorando así la eficiencia de la utilización de la — energía, además el circuito "arranque-paro", acelera el — desgaste del switch, causando tensiones adicionales en la bobina y el transformador podría fallar. La derivación — de la "sobrecarga" cambiada del transformador, puede instalarse en cualquier otro equipo como una dependencia del transformador o como parte de un auto-transformador separado, éste dispositivo proporciona un colector de voltaje variable a la bobina primaria del transformador del horno, el auto-transformador ofrece más flexibilidad de operación, pero implica una inversión inicial mayor.

F).- OPERACION DEL HORNO.

El secado y arqueado del horno, requiere una — planificación considerable aunque se hallan desarrollados procedimientos muy satisfactorios. El coque se coloca abajo de los electrodos en una banda circular aproximadamente a 45,7 cm. de profundidad y alrededor de 1.5 m. de diámetro, con lo que se evita mucho exceso de coque, pero proporciona la cantidad suficiente donde es necesaria, para producir los efectos deseados se usa coque de tamaño grande — (+2.5 cm. + 0.63 cm.), en lugar de coque regular, ya que es

menos probable a ser soplado por la fuerza del arco de los electrodos.

1.- Secado.

Antes de iniciar el fuego con leña, se colocan - 2,510 Kg. de coque grande y subsecuentemente se agrega una cantidad adicional de 4,562 Kg. de coque durante el encendido y en el proceso de arqueado, para asegurar lo que se va consumiendo y asegurar el propio contenido de coque abajo - de los electrodos, mientras se van arqueando.

Antes del arranque, se lleva casi un mes en secar la camisa y la cubierta del horno con fuego de leña - y con la energía de los electrodos, el fuego con leña se - inicia lentamente sobre el lecho de coque del fondo, la intensidad del fuego con leña, lentamente se va aumentando - en período de 8 días, hasta que el termopar de la cubierta del horno indica 650°C, esta temperatura agrieta extensamente la parte superior del horno, fisuras que no presentan un problema serio, después de aplicar un lechado en las partes afectadas, durante el primer año de operación. La temperatura más alta en un punto seleccionado en la junta de cemento, entre la parte media y la superficie de las - capas de carbón del fondo del horno es de 171°C.

2.- Arqueado.

El arqueado se inicia con una carga eléctrica de 750 KW., con 245 volts en conexión estrella, por espacio de 10 min. cada hora, al iniciar el arqueado se gira el horno a una velocidad máxima, para asegurar la mejor distribución de calor, después de cada período de arqueado se reconstruye el lecho de coque abajo de los electrodos. Después de casi 20 horas, se aumenta la variación del arqueado, por 10 min. encendido y 20 min. apagado, cada media hora y con una carga eléctrica de 750 a 1,000 KW. El programa de arqueado se mantiene casi por 3 días, luego se suspende por 12 horas para que las cuadrillas de construcción reajusten: el soporte del electrodo, los cables elevados y el límite de switches, y también se reparan todas las grietas del techo.

El arqueado final, que se prepara para cargar el horno, se inicia con 10 min. encendido y 20 min. apagado cada media hora, con una entrada variable de energía de 1,000 a 1,500 KW, este procedimiento se sigue por 11 horas, luego se aumenta la variación de arqueado por 15 min. encendido y 15 min. apagado, cada media hora y con una entrada de energía de 1,500 a 2,00 KW. continuando por espacio de 6 horas. Posteriormente se establece la carga a 5,000 KW. balanceada sobre cada fase y desconectando la energía sin más movimiento de los electrodos. Esta operación asegura que la carga no se pierda cuando se alimenta el horno con las materias primas, a esta carga eléctrica; los electrodos son enterrados profundamente en el lecho de

coke y cercanamente tocando al carbón del hogar del horno, no queda espacio por el que penetre la menor carga conductiva, abajo de los electrodos que se aíslan del carbón del fondo.

3.- Distribución de Escoria y Ferrofósforo.

Se emplean 3 pares de orificios para la extracción, igualmente espaciados a 120° , para remover escoria y ferrofósforo. En realidad son 6 orificios, 3 para escoria y 3 para el ferrofósforo, están separados 60° uno con respecto al otro.

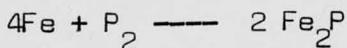
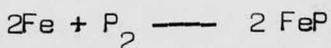
Los orificios para extracción de escoria son de cobre fundido, enfriados con agua y localizados a 47 cm. arriba del nivel del hogar del horno. El principal componente de la escoria, se forma con la adición de sílice en la carga del horno, que reacciona con el contenido de calcio para formar silicato de calcio, aproximadamente 750 Kg. de fósforo se pierden diariamente como P_2O_5 en la escoria de silicato de calcio, que también contiene la mayor parte de flúor. La escoria se extrae del horno cada 45 minutos y se vende como material de expansión para concreto, para construcción de caminos o al extenderla produce aglomerados de bajo peso, de color gris y sirve como materia prima para producir cemento, es aproximadamente como 1,040 Kg/m³.

Los orificios para extraer el ferrofósforo están

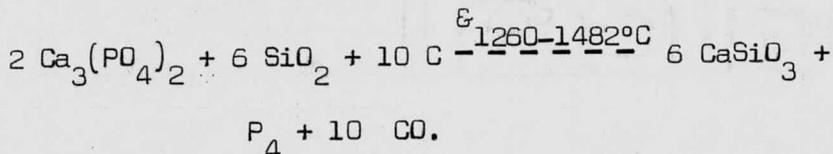
hechos de manguitos grafitados, se localizan cerca del nivel de hogar del horno. El óxido de hierro que se halla presente por lo general en la arcilla, se reduce a su forma elemental formando un compuesto de hierro-fósforo, llamado ferrofósforo que se extrae cada 12 horas y se vende a la industria del acero. La alúmina también es un componente de la arcilla, este óxido puede ser útil abatiendo las temperaturas en la escoria, cuando se presenta en pequeños porcentajes.

4.- Principales Reacciones Efectuadas en el Horno.

a).- Reducción del Oxido de Hierro.



b).- Formación de Silicato de Calcio y Fósforo Elemental.



& Punto de Fusión Incipiente.

G).- SEPARACION Y RECUPERACION DE FOSFORO

1.- Precipitador Electrostático.

La corriente del gas del horno sale a una temperatura aproximada de 350 °C, a través de un conducto de acero 1 metro de diámetro, que conduce los gases cargados de fósforo hasta el primer paso de un Precipitador Electrostático de Doble Paso, con el fin de remover el polvo del conducto. Es una unidad que puede manejar 226.5 m³ / min. el precipitador es construido e instalado por Koppers Co. se equipa con sello de cuarzo seco en lugar del sello de aceite convencional. El sello de cuarzo fué desarrollado por la Electric Reduction Co. de Canadá, se temía que este sello no fuera adecuado para el servicio del precipitador, sin embargo condujo a la instalación de los sellos de aceite, el sello de cuarzo va montado sobre la superficie del sello de aceite, este se podrá usar en caso de que el sello de cuarzo no funcionara, hasta ahora el sello de aceite no se ha utilizado, siendo un suceso sobresaliente. Los gases cargados de fósforo están contenidos a la entrada y el cuarzo mantiene un flujo de vapor sobrecalentado constante en la cámara del fondo del sello de cuarzo, el vapor fluye abajo de éste punto y purga continuamente la caja cilíndrica que rodea al conductor de alta tensión "polo caliente", así que los gases de fósforo no pueden llegar a ponerse en contacto con el cuarzo. Un flujo de vapor de 90 a 113 Kg/hr. se mantiene a una temperatura de 427 °C, el vapor se calienta cuando se pasa por un serpentín de acero inoxidable, colocado sobre una estufa encendida con subproducto CO gas.

El uso del sello de cuarzo en lugar del sello de aceite, ofrece 2 ventajas: Una de las cuales es segura, libre de deterioro y de peligro de inflamación de aceite, y la otra es la economía considerable en el costo de aceite. El precipitador es equipado con rectificadores de silicón, que suministran corriente rectificada para la precipitación.

El canal recolector interno del precipitador se lava periódicamente con agua a presión, desde las tolvas de acumulación, los chorros del agua de salida van colocados en el canal a los lados de la tolva, entonces se conduce la mezcla de polvo y agua a un tanque cercano de mezclado con agitación continua, posteriormente una bomba centrífuga envía la suspensión a un tanque de sedimentación y el polvo se recircula hacia el molino compactor de hojuelas o también se puede vender el polvo seco (metafosfato), como un subproducto para fertilizantes.

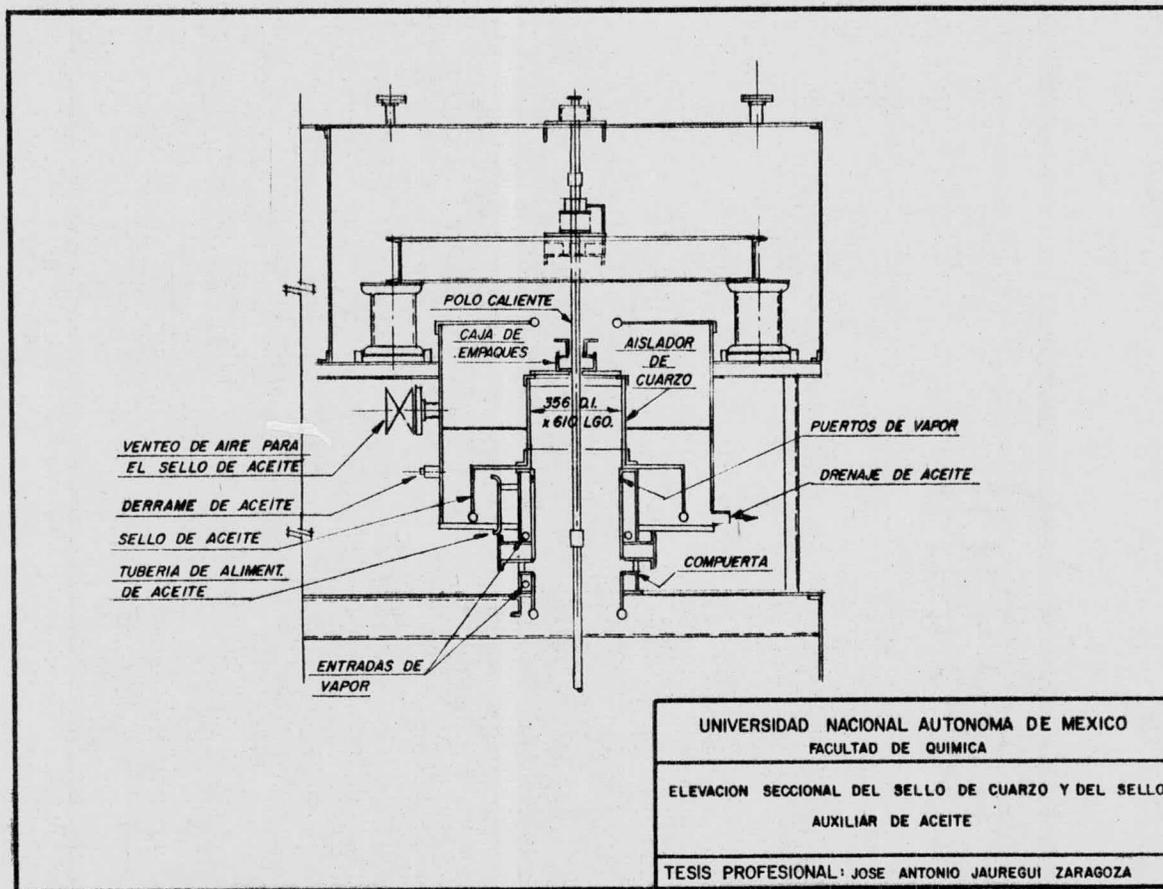
El método de acumulación por suspensión del polvo removido del precipitador, es ventajoso principalmente porque elimina polvos y problemas de contaminación atmosférica, que van asociados con esta operación. El precipitador "estandar" para fósforo es del "tipo tubo", tiene 2 zonas de tratamiento en serie con flujo gaseoso hacia arriba a través de cada zona, la unidad está provista con dispositivos para sacudir frecuentemente los alambres de cada sección y también con otro mecanismo para golpear los

tubos periódicamente. En el diagrama que está a continuación aparece la elevación seccional del sello de cuarzo y del sello auxiliar de aceite.

a).- Problemas en el Precipitador.

El buen aseado del gas y la recuperación satisfactoria del fósforo se registran, cuando el segundo paso del precipitador hace tierra completamente afuera y el voltaje del primer paso desciende muy bajo, que hasta el aseado del gas resulta ineficaz. La producción del lodo aumenta y el fósforo cambia de color amarillo oscuro a un castaño subido, esto ocasiona un retraso de 38 horas para purgar y lavar el precipitador. Cuando se abre, contrariamente a lo esperado se encuentra sorprendentemente en buenas condiciones, aunque los tubos colectores, el armazón de sostenimiento de los alambres y éstos mismos se encuentran cargados de polvo, los depósitos de acumulación se lavan fácilmente con chorros de agua, este procedimiento restaura inmediatamente las condiciones de operación requeridas.

Aunque se han usado constantemente el tubo y el alambre con su mecanismo para golpearlos, resultan ineficaces ya que ninguno parece ser suficientemente poderoso para desalojar las masas de polvo precipitado, también se --



puede observar que los sellos de cuarzo se encuentran en excelentes condiciones, ya que se temía que el cuarzo se pudiese consumir y causara la precipitación del molido afuera. Las elevadas temperaturas del gas ocasionan que en los canales de alimentación, que manejan la carga por gravedad, comiencen a dar muestras de obstrucción frecuente, el stock parece disminuir más lentamente hacia el horno, requiriendo un rodamiento considerable para mantener el flujo de carga nivelado hacia el horno y así manejar bajo control la temperatura del gas de salida. Las elevadas temperaturas retuercen los armazones de sostenimiento de la parte superior del precipitador, por lo que los alambres están fuera de alineación y tocan en varias partes al conjunto de electrodos. Se requiere purgar de nuevo al sistema y se expulsan los polvos, se arreglan los alambres y el armazón retorcido, colocando hierros angulares de refuerzo extra y además tirantes para proporcionar un soporte adicional.

Las fluctuaciones de presión en el sistema, aumentan en frecuencia e intensidad, especialmente dentro del horno, frecuentemente grandes cantidades de agua son sopladas desde los sellos telescópicos de agua de los electrodos y del sello de agua alrededor del crisol, por lo que la válvula de alivio de presión de emergencia, se abre más frecuentemente de lo usual, venteando a la atmósfera el exceso de presión desarrollada. Por lo general la operación subsecuente del precipitador es buena, aunque sea necesario reforzar el armazón de sostenimiento y reempla--

zar el acero dúctil de la parte superior y de las vigas — acanaladas, con acero inoxidable 316-L a causa de la rápida corrosión en el área adyacente al sello de cuarzo.

2.- Sistema de Condensación.

Los gases calientes cargados de fósforo, pasan a un sistema de condensación en caliente (dos torres: de espreas y tubular), arregladas en serie, el condensador — de espreas es una columna cilíndrica de acero dúctil, de — aproximadamente 1.50 m. de diámetro y unos 10 m. de altura, enfría la corriente de gas fosfórico con agua espreada hasta cerca de 60-70°C. El sistema de condensación se localiza directamente arriba de un foso colector grande, que sirve para recolectar el fósforo, este foso colector es de concreto y esta forrado con ladrillos, tiene una capacidad para 111 ton. de fósforo elemental y se divide en 5 secciones.

El gas cargado de fósforo, se destila alrededor de 280°C, después pasa hacia la parte inferior de un condensador de espreas, recirculando 950 LPM de licor espreado a contracorriente, el licor es una solución diluida de amoníaco. El vapor de fósforo se condensa durante la — evaporación adiabática del licor, depositándose en el foso colector, la recuperación final de residuos de fósforo — —

en el gas, se lleva a cabo en el condensador tubular enfriado con agua.

Siendo más denso que el licor esreado, la mayor parte del fósforo condensado, sedimenta dentro de la primera de las 5 secciones del foso colector, el resto se incluye en el sedimento (emulsión de agua, P_4 , polvo y partículas volátiles del horno), que fluye a la segunda sección del foso.

El fósforo elemental se envía al almacén por medio de bombas centrífugas, con la tubería sumergida en agua caliente. El sedimento, conteniendo aproximadamente un 50% de P_4 , se separa por asentamiento o centrifugado, después se envía al almacén.

3.- Clasificación de Sistemas de Condensación.

a).- El Tipo Húmedo.

Es aquel que utiliza los calores latente y sensible en el contacto directo del agua esreada, remueve el calor latente de condensación del fósforo y el calor --

sensible enfría al gas. Este tipo de condensación es mucho más común y produce velocidades altas de condensación por unidad de volumen del equipo, lo que reduce el capital de costo y también produce una recuperación mayor de fósforo.

b).- El Tipo Seco.

Remueve el calor latente y sensible por medio de las paredes del condensador enfriado con aire, produce menos polvos en el fósforo condensado; reduciendo así, la formación de sedimento y de polvo re-procesado, facilita la filtración del fósforo producido y se producen cantidades reducidas de agua contaminada con fósforo.

Ambos tipos de condensadores: Húmedo y Seco,-- por lo general son recipientes cilíndricos, verticales, -- con fondos cónicos. La eficiencia de la recuperación del fósforo durante la condensación es una función de: la temperatura de salida, las velocidades de enfriamiento y del tiempo de residencia total de los gases en el condensador. En el tipo húmedo, se controla el agua de salida a una temperatura cercana tanto como sea posible al punto de congelación del fósforo (44°C), un valor práctico de operación es alrededor de 54°C y la relación de longitud/diámetro de

un condensador es igual a 8-9, produciendo una relación -- de superficie/volumen y un modelo de enfriamiento adecuado para una buena recuperación de fósforo condensado.

4.- Fósforo Recuperado del Sedimento.

Comúnmente se encuentra la formación de un sedimento durante la condensación, el análisis típico de un sedimento aproximadamente es: 65% de fósforo, 25% de agua y de 5-10% de polvos, su composición física se puede describir como una suspensión de polvos con fósforo y que se emulsifica con agua, la densidad del material es intermedia entre el fósforo puro y el agua, éste generalmente se encuentra en el foso colector del sistema de condensación, como una capa intermedia entre el fósforo obtenido y el agua del foso colector.

5.- Métodos para Recuperar Fósforo.

a).- Recirculación al Horno.

Algunas plantas han dispuesto bombear el sedimento, recirculándolo al interior del horno, pero este método "no se considera aceptable", por los transtornos de -

las condiciones y los riesgos de seguridad que origina la introducción de agua en el horno.

b).- Secado en un Recipiente del Horno.

Un arreglo posible sería colocar un recipiente adentro del horno, pero cualquier "incrustación" causada por la presencia de agua en los gases del horno, no se podría eliminar y también causaría serias dificultades, por lo tanto, este método es muy difícil que se utilice en la industria.

c).- Secado en una Unidad Separada.

Tal vez éste sea el medio más simple y efectivo, el material se calienta dentro de un cilindro, girándolo lentamente hasta un nivel de temperatura excesiva al punto de ebullición del fósforo, una capa con vapor o gas inerte se mantiene dentro de un cilindro y el fósforo se recupera del efluente del vapor, utilizando una combinación de un condensador de espumas con agua y un foso colector para fósforo, donde éste es separado por asentamiento o centrifugado y luego se almacena.

H).- CONSIDERACIONES PARA CONTROLAR LA CONTAMINACION.

El Análisis Técnico del Proceso, no sería completo sin mencionar la contaminación y otros problemas de control del medio ambiente. En la industria del Fósforo - como en muchas otras, los objetivos más estrictos sobre la contaminación son una tendencia actual y se espera que continúen, la disminución del ruido por lo general no es un problema en las plantas de fósforo.

1.- Agua Conteniendo Fósforo.

Esta corriente de agua a menudo llamada "agua-fosi", originalmente es agua en contacto directo con vapor de fósforo condensado, el contenido de fósforo puede fluctuar en diversos porcentajes en peso, después de la decantación de fósforo asentado, (mucho de esto es fósforo emulsificado), porque la solubilidad del fósforo en el agua es de 3 ppm. a 20°C. El contenido de fósforo se ha reducido - sucesivamente hasta casi 7 ppm. con centrifugación continua, el efluente del "agua-fosi" por lo general se envía - a algún tanque de sedimentación grande, previamente dispuesto. El desecho que contiene fósforo, puede brotar a - la superficie del tanque e incendiarse al contacto con el aire.

La mejor solución dispuesta para el "agua-fosfo", parece ser el reuso máximo del agua; en efecto, se debe evitar la remoción del agua completamente, los requerimientos de la composición se reducirán para igualar la evaporación y otras pérdidas, el reuso máximo del agua implicaría el enfriamiento de ésta en el condensador, antes de recircularla.

2.- Calcinación de Efluentes.

El flúor y el polvo, son los componentes y reguladores principales, una propuesta común es purificando con agua o álcali diluido. Los purificadores en uso continuo incluyen: Pulverizadora horizontal y vertical, torrefractor vertical empacada y tipos venturi.

3.- Humos del Horno.

Grandes cantidades de humo se producen durante la extracción, creando un riesgo para el personal que -- normalmente se limita hasta el área o construcción inmediata del horno, se utiliza un sistema de campana para recolectar dichos humos, que se pueden ventear directamente --

o primero purificarlos. La purificación de los humos, -- principalmente de P_2O_5 , es difícil y costosa porque la absorción eficaz del P_2O_5 , requiere un sistema de purificación con caídas de presión elevadas.

CAPITULO IV ANALISIS ECONOMICO

A).- ESTUDIO DE MERCADO

La comisión de Fomento Minero, actualmente está estudiando la posibilidad de explotar, tratar y comercializar Roca Fosfórica que se encontró recientemente en el Ejido de San Hilario, Municipio de La Paz, Estado de Baja California Sur, se estima que los yacimientos poseen reservas que pueden considerarse como cuantiosas. Por otra parte; el futuro desarrollo de este proyecto, significará económicamente para el país la substitución de importaciones con el consiguiente ahorro de divisas así como generarlas vía exportación, gracias al pleno aprovechamiento de un recurso minero no-metálico básico.

Realizando un breve análisis de los principales renglones de nuestras importaciones, encontramos que dentro del sector de productos químicos inorgánicos, cuyo monto asciende a \$1,613 millones de pesos, la importación de 17 productos, representa el 73 % de la importación total, sobresaliendo dentro de este grupo el Fósforo Blanco o Elemental con 177 millones de pesos en 1974-1975 reportado por la Dirección General de Estadística de la Secretaría de Industria y por el I. M. C. E.

1.- Importaciones en los últimos años.

El consumo de Fósforo Elemental se abastece por medio de la importación, porque en la República Mexicana no existen industrias productoras de éste, además el nivel de importación aumenta rápidamente, tratando de cubrir la fuerte demanda que se tiene cada año.

La Tabla IV.-1, muestra claramente la variación de importación del Fósforo Blanco desde 1969 hasta 1974, -- también se observa el fuerte aumento de la demanda.

Tabla IV.-1 Importación de Fósforo Blanco o Elemental.

Año X.	Importación Y (ton/año).	Valor (pesos/año).
1969	13,828.8 Ton/año	\$ 75,194,594.00
1970	16,750.9 "	\$ 91,912,599.00
1971	17,926.0 "	\$ 98,311,449.00
1972	18,719.7 "	\$ 101,539,312.00
1973	19,101.7 "	\$ 113,388,497.00
1974	21,691.4 "	\$ 177,280,526.00

La demanda del Mercado Nacional para Fósforo Elemental o Blanco, es cubierta en su totalidad por la importación, principalmente proviene de: Estados Unidos de Norte América, Canadá, Marruecos y Japón. El producto se importa como Fósforo Blanco y le corresponde la Fracción - Arancelaria No. 28.04.A.004.

2.- Industrias Consumidoras, Localización y -- Usos.

La localización de las Industrias Potenciales -- que consumen Fósforo Blanco o Elemental, se hallan en el -- siguiente orden:

a).- Industrias Resistol, S. A. Utiliza el Fósforo Blanco para fabricar Fosfatos de Sodio para producir Detergentes, en Lechería, Edo. de Méx. y en Coatzacoalcos, - Ver.

b).- Química Hooker, S. A. de C. V. Unicamente -- lo usan para la producción del Acido Fosfórico, en la planta que se ubica en Lechería, Edo. de México.

c).- Guanos y Fertilizantes de México, S. A. Co-

mienza a utilizar el Fósforo Blanco en la producción de un Insecticida Agrícola llamado "paratión metílico", que sirve para erradicar al gusano rosado que ataca al algodón, - pero realmente su producción es incipiente y por lo mismo consume poco Fósforo Blanco.

3.- Situación Legal.

Actualmente el proceso no está regido por ninguna patente, tomando en cuenta que la vigencia de patentes tiene una duración de 15 a 25 años dependiendo de cada - - país. En el aspecto legal, no existe ningún impedimento - para usar o explotar la Patente del Proceso de Obtención - de Fósforo Blanco o Elemental, la cual se investigó en la Dirección General de la Propiedad Industrial de la S.I.C.- (Dirección de Patentes).

B).- PRONOSTICO DE LA DEMANDA.

La estimación de la demanda es de suma importancia ya que en base a ésta, se determinará la capacidad de la planta para los próximos años. La demanda sigue un Modelo de Ajuste de la Recta de Mínimos Cuadrados, también se probaron otros métodos pero fueron rechazados al obtener resultados muy bajos que no se ajustaban al Coeficiente de Correlación.

Tabla IV.-2 Pronóstico de la Demanda.

X	X ²	Y	X·Y	N
1	1	13,828.8	13,828.8	1
2	4	16,750.9	35,501.8	1
3	9	17,926.0	53,778.0	1
4	16	18,719.7	74,878.8	1
5	25	19,101.7	95,508.5	1
<u>6</u>	<u>36</u>	<u>21,691.4</u>	<u>130,148.4</u>	<u>1</u>
X=21	ΣX ² =91	ΣY =108,018.5	ΣXY=401,644.3	N=6

1.- Método de Mínimos Cuadrados.

Al aplicar el método de mínimos cuadrados a los datos de consumo, nos encontramos que éstos se comportan linealmente, la recta de aproximación por mínimos cuadrados del conjunto de datos, tiene la siguiente ecuación:

$$Y = a_0 + a_1 X.$$

Donde: a_0 y a_1 son constantes, que se determinan mediante el sistema de ecuaciones:

$$\Sigma Y = a_0 N + a_1 \Sigma X.$$

$$\Sigma XY = a_0 \Sigma X + a_1 \Sigma X^2$$

Este sistema se conoce como Ecuaciones Normales para la Recta de Mínimos Cuadrados, de aquí se pueden calcular las constantes a_0 y a_1 , obteniéndose:

$$a_0 = \frac{(\Sigma Y) (\Sigma X^2) - (\Sigma X) (\Sigma XY)}{(N) (\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$a_1 = \frac{(N) (\Sigma XY) - (\Sigma X) (\Sigma Y)}{(N) (\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

Substituyendo los valores de las constantes a_0 y a_1 en la Ecuación de la Línea Recta tenemos:

$$Y_{\text{est.}} = a_0 + a_1 X.$$

$$a_0 = 13,287.1$$

$$a_1 = 1,347.4$$

X.- Es el tiempo en años: (1,2,.....14).

$$Y_{\text{est.}} = 13,287.1 + (1,347.4) (1) = 14,634.5$$

Tabla IV.-3 Demanda de Fósforo Blanco.

Años	X	Y _{est.}	(ton/año)±
1969	1	14,634.5	ton/año.
1970	2	15,981.9	"
1971	3	17,329.3	"
1972	4	18,676.7	"
1973	5	20,024.1	"
1974	6	21,371.5	"

2.- Coeficiente de Correlación.

Para que pueda ser aceptable este coeficiente de correlación, se tendrá que obtener un resultado lo más ceru

cano que sea posible a la unidad.

$(Y_{\text{est.}} - \bar{Y})$	$(Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2$
$14,634.5 - 18,003.08 = (-3,368.58)$	$= 11,347,331.21$
$15,981.9 - 18,003.08 = (-2,021.18)$	$= 4,085,168.59$
$17,329.3 - 18,003.08 = (-673.78)$	$= 453,979.48$
$18,676.7 - 18,003.08 = (673.62)$	$= 453,763.90$
$20,024.1 - 18,003.08 = (2,021.02)$	$= 4,084,521.84$
$21,371.5 - 18,003.08 = (3,368.42)$	$= \underline{11,346,253.29}$

$$\sum (Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2 = 31,771,018.31$$

$(Y - \bar{Y})$	$(Y - \bar{Y})^2$
$13,828.8 - 18,003.08 = (-4,174.28)$	$= 17,424,613.51$
$16,750.9 - 18,003.08 = (-1,252.18)$	$= 1,567,954.75$
$17,926.0 - 18,003.08 = (-77.08)$	$= 5,941.32$
$18,719.7 - 18,003.08 = (716.62)$	$= 513,544.22$

$$19,101.7 - 18,003.08 = (-1,098.62)^2 = 1,206,965.90$$

$$21,691.4 - 18,003.08 = (3,688.32)^2 = \underline{13,603,704.42}$$

$$\sum (Y - \bar{Y})^2 = 34,322,724.12$$

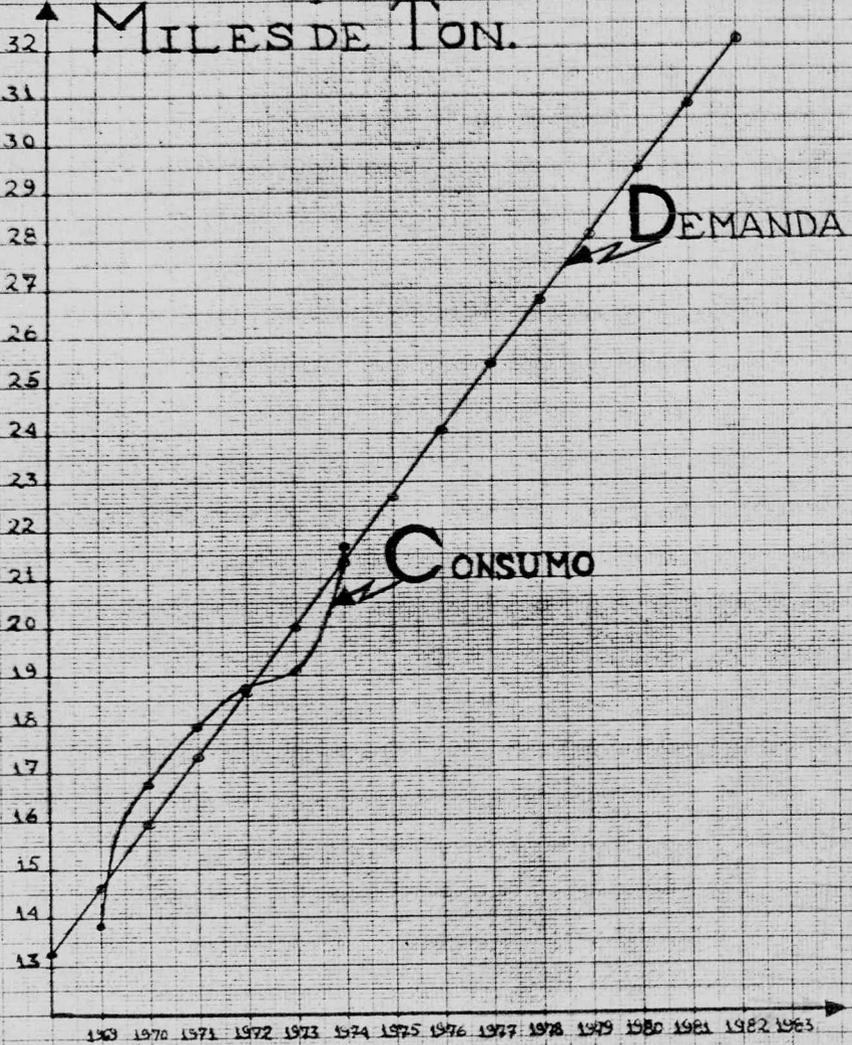
$$r = \frac{+ \sqrt{\frac{(Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}}}{-} = \frac{\sqrt{31,771,018.31}}{\sqrt{34,322,724.12}} = \sqrt{0.9256} = 0.9621$$

El coeficiente de correlación obtenido es aceptable, por lo tanto se determinará la demanda futura para los siguientes años:

Tabla IV.-4 Demanda Futura de Fósforo Blanco.

Años.	Demanda	(Ton/año).
1975	22,718.9	Ton/año.
1976	24,066.3	"

CONSUMO y DEMANDA de P₄ MILES DE TON.



TIEMPO (AÑOS)

1977	25,413.7	Ton/año
1978	26,761.1	"
1979	28,108.5	"
1980	29,455.9	"
1981	30,803.3	"
1982	32,150.7	"

C).- BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

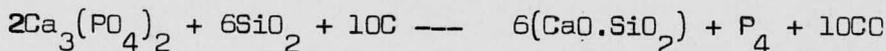
Se calcula para determinar las cantidades — de materiales requeridos en el proceso de obtención de Fósforo Blanco o Elemental, o sea la cantidad y calidad de la materia prima usada y la energía eléctrica necesaria para producirlo. El método utilizado para efectuar el balance de materiales, debido a la particularidad de este tipo de plantas, se basa en los datos de operación obtenidos de la literatura disponible y comprobados los esenciales con el balance estequiométrico.

Durante el proceso de preparación de la Roca Fosfórica, se pueden considerar pérdidas mínimas de mate—

rial, porque en esta primera parte el proceso es puramente físico, sin cambios en la cantidad y constitución del material. Las pérdidas posibles en esta fase, así como las que hay en el horno por materia no reaccionada que se pierde en la escoria y en la aleación de hierro-fósforo, se incluyen en el balance al tomar en consideración la Eficiencia Práctica de la planta, cuyo rendimiento es del orden de 86 %.

Como base de cálculo para el balance de Materia y Energía, se considera una tonelada de Fósforo Blanco o Elemental.

La reacción que se efectúa en el proceso de obtención del Fósforo Elemental a partir de Roca Fosfórica, Coke y Sílice, es la siguiente:



1.- Las materias primas y servicios que intervienen en el proceso son:

a).- Roca Fosfórica.

b).- Carbón de Coke.

- c).- Sílice como SiO_2 .
- d).- Electrodo Semigrafitados.
- e).- Agua de Enfriamiento y Condensación.
- f).- Requerimientos de Energía.

1.- Materias Primas y Servicios.

- a).- Roca Fosfórica (Estequeometría).

Sabemos estequeométricamente que con 620 ton.- de Roca Fosfórica obtendremos 124 ton. de Fósforo Elemental, si la Roca Fosfórica contiene un 100% de fosfato tricálcico (100% B.P.L.) y si la planta productora trabaja -- con un 100% de eficiencia. Para calcular la cantidad de Roca Fosfórica que se requiere para producir 1 ton. de Fósforo Elemental haremos lo siguiente:

$$\begin{array}{rcl}
 620 \text{ Ton. Roca Fosfórica} & \text{----} & 124 \text{ Ton. P}_4 \\
 \\
 X \text{ Ton. " " " " } & \text{----} & 1 \text{ Ton. P}_4
 \end{array}$$

X=5 Ton. Roca Fosfórica.

Entonces con 5 Ton. de Roca Fosfórica, que con tenga un 100% de Fosfato Tricálcico (100% B.P.L.), obten--
dremos Estequiométricamente 1 Ton. de P_4 . Pero réalmente lo que sucede, es que de la Roca Fosfórica que se dispone, solamente contiene un 65 % de Fosfato Tricálcico (65 % B.P.L.), por lo que de 5 ton. de Roca Fosfórica solo obtendremos un 65% de 1 Ton. de P_4 , ahora bien; si queremos saber la--
cantidad de Roca Fosfórica necesaria para producir el 100% de una Ton. de P_4 , tendremos que:

5 Ton. de Roca Fosfórica ---- 65% de 1 Ton. P_4

Y Ton. de " " ---- 100% de 1 Ton. P_4 .

Y = 7.69 Ton. Roca Fosfórica.

En tal caso, 7.69 Ton. de Roca Fosfórica que--
contiene un 65 % de Fosfato Tricálcico (65% B.P.L.), nos -
producirán un 100 % de 1 Ton. P_4 si la planta productora -
trabajara a un 100 % de Eficiencia, pero por la literatura
disponible sabemos que nuestra planta productora de Fósfo-
ro Blanco o Elemental trabaja con un 86 % de Eficiencia, lo-
cual quiere decir que 7.69 Ton. de Roca Fosfórica solo nos
producirán un 86 % de una tonelada de P_4 y para saber exac
tamente la cantidad de Roca Fosfórica que vamos a requerir
para producir un 100 % de una tonelada de P_4 tenemos:

7.69 Ton. Roca Fosfórica ---- 86% de 1 Ton. P_4

Z Ton. " " ---- 100% de 1 Ton. P_4

Z = 8.9 Ton. Roca Fosfórica por Ton. de Fósforo.

Finalmente vemos que con 8.9 Ton. de Roca Fosfórica que contiene un 65% de Fosfato Tricálcico (65% B.P.L.), y trabajando con un 86% de Eficiencia, obtenemos 1 -- ton. de Fósforo Blanco o Elemental.

Peso Molecular de $2Ca_3(PO_4)_2 = 310 \times 2 = 620$.

Peso Molecular de Fósforo (P_4) = $31 \times 4 = 124$.

$$\left(\frac{620}{124}\right)\left(\frac{100}{65} \times \frac{100}{86}\right) = \frac{620 \times 1.78}{124} = 8.9 \text{ Ton. de Roca Fosfórica por ton. de Fósforo.}$$

El factor 1.78 incluye la Eficiencia del 86 % del proceso y una Roca Fosfórica con un 65 % de Fosfato Tricálcico, debido a que por precio y concentración es -- aceptable. La roca más común para este proceso es de un -- 65 % de Fosfato Tricálcico (65% B.P.L.), aunque se puede --

usar de concentraciones superiores o inferiores.

b).- Carbón de Coke.

Con 120 Ton. de Coke obtendremos Estequeométricamente hablando 124 ton. de Fósforo, si el Coke contiene un 100 % de Carbón Activo y si la planta trabaja a un 100% de Eficiencia. Para saber la cantidad de Coke que se necesita para producir 1 ton. de Fósforo, tenemos que:

$$\begin{array}{rcl} 120 \text{ ton. Carbón de Coke} & \text{---} & 124 \text{ ton. } P_4 \\ X \text{ ton. " " " } & \text{---} & 1 \text{ ton. } P_4 \end{array}$$

$$X = 0.967 \text{ ton. Carbón de Coke.}$$

Necesitamos 0.967 ton. de Coke que contengan un 100 % de Carbón Activo, para producir Estequeométricamente 1 ton. de Fósforo. Pero del Carbón de Coke que requerimos es de un 75 % de Carbón Activo, por lo tanto: de 0.967 ton. de Coke solo se obtendrá un 75 % de 1 ton. de P_4 y para conocer realmente la cantidad de Coke necesaria para producir el 100 % de 1 ton. de P_4 haremos:

0.967 ton. de Carbón de Coke ----- 75% de 1 ton. P_4

Y ton. " " " " ----- 100% de 1 ton. P_4

$Y = 1.28$ ton. Carbón de Coke.

Entonces 1.28 ton. de Carbón de Coke contienen un 75 % de Carbón Activo, producirán un 100 % de 1 ton. de P_4 , si la planta trabaja a un 100 % de Eficiencia. Como nuestra planta productora trabaja con un 86% de Eficiencia, nos indica que 1.28 ton. de Carbón de Coke solamente nos producirán un 86 % de 1 ton. de P_4 y para calcular exactamente la cantidad de Carbón de Coke que vamos a emplear para producir un 100% de 1 ton. de P_4 , tendremos:

1.28 ton. Carbón de Coke ----- 86% de 1 ton. P_4

Z ton. " " " ----- 100% de 1 ton. P_4

$Z = 1.5$ ton. Carbón de Coke.

Peso Molecular de Carbón ($10C$) = $12 \times 10 = 120$

Peso Molecular de Fósforo (P_4) = $31 \times 4 = 124$

$$\left(\frac{120}{124}\right) \left(\frac{100}{75} \times \frac{100}{86}\right) = \frac{120 \times 1.55}{124} = 1.5 \text{ ton. de Carbón de Coke por -- ton. de Fósforo.}$$

El factor 1.55 incluye la Eficiencia de la planta y el porcentaje de Carbón Activo de un 75%.

c).- Sílice como SiO_2 .

Sabemos Estequiométricamente que con 360 ton.- de Sílice obtendremos 124 ton. de fósforo, si la Sílice -- contiene un 100 % de SiO_2 y si la planta trabaja a un 100% de Eficiencia. Para saber la cantidad de Sílice que necesitamos para producir 1 ton. de P_4 haremos lo siguiente:

$$\begin{array}{rcl} 360 \text{ ton. Sílice } \text{SiO}_2 & \text{---} & 124 \text{ ton. } \text{P}_4 \\ X \text{ ton. } & \text{" " ---} & 1 \text{ ton. } \text{P}_4 \end{array}$$

$$X = 2.9 \text{ ton. Sílice } \text{SiO}_2$$

Vemos que con 2.9 ton. de Sílice conteniendo --

un 100 % de SiO_2 , nos producirán Estequiométricamente 1 ton. de P_4 . Pero realmente lo que sucede, es que de la Sílice que se dispone contiene un 99 % de SiO_2 , por lo que de 2.9 ton. de Sílice solamente se obtendrá un 99% de 1 ton. de P_4 . Si queremos saber la cantidad de Sílice que vamos a necesitar para producir el 100 % de 1 ton. de P_4 , lo haremos de la siguiente forma:

2.9 ton. Sílice SiO_2 --- 99% de 1 ton. P_4

Y ton. " " --- 100% de 1 ton. P_4

$$Y = 2.92 \text{ ton. Sílice } \text{SiO}_2$$

Entonces con 2.92 ton. de Sílice que contengan un 99% de SiO_2 obtendremos un 100 % de 1 ton. de P_4 , si la planta trabaja con un 100 % de Eficiencia, pero sabemos que nuestra planta funciona con un 86% de Eficiencia, lo cual quiere decir que 2.92 ton. de Sílice solamente nos producirán un 86 % de 1 ton. de P_4 y para saber exactamente la cantidad de Sílice que vamos a requerir para obtener un 100 % de 1 ton. de P_4 , tendremos que:

2.92 ton. Sílice SiO_2 ---- 86% de 1 ton. P_4

Z ton. " " ---- 100% de 1 ton. P_4

$Z = 3.4$ ton. Sílice SiO_2 por ton. de Fósforo

Finalmente vemos que con 3.4 ton. de Sílice -- que contienen un 99% de SiO_2 y trabajando nuestra planta -- productora a un 86% de Eficiencia, obtendremos 1 ton. de -- Fósforo Blanco o Elemental.

Peso Molecular de Sílice 6 (SiO_2) = $6 \times 60 = 360$

Peso molecular de Fósforo $\text{P}_4 = 4 \times 31 = 124$.

$$\left(\frac{360}{124}\right) \left(\frac{100}{99}\right) \times \frac{100}{86} \left(\frac{360 \times 1.17}{124}\right) = 3.4 \text{ ton. Sílice } \text{SiO}_2 \text{ -- --}$$

por ton. de Fósforo.

El factor 1.17 incluye la Eficiencia 86% de la planta y el 99% de SiO_2 que contiene la Sílice.

d).- Electrodo Semigrafitados.



En la operación práctica del horno, se ha determinado que se consumen 0.025 ton. de Electrodo Semigrafitado por cada tonelada de Fósforo.

e).- Agua de Enfriamiento y Condensación.

Se ha determinado practicamente, que se requieren 30,742 litros de agua de enfriamiento por ton. de Fósforo producido, así como 29,144 litros de licor para condensar una ton. de Fósforo, considerando al licor como una solución al 10 % de Amoniaco, la cantidad de agua de condensación por ton. de Fósforo es de 26,230 litros. Tomaremos un 10 % más, como margen en donde se incluye el agua de arrastre de polvos del precipitador electrostático, así como el consumo adicional de la planta, por este concepto se tiene un gasto de 5,697 litros por ton. de Fósforo.

El gasto de agua de enfriamiento y condensación, no son las cantidades absolutas mencionadas anteriormente, pues dicha agua se enfría y se recircula al proceso; por la literatura disponible sabemos que se pierde un 20 % del agua, por evaporación y por eficiencia de la torre de enfriamiento y además un 15 % de agua también se pierde en el licor de condensación:

Agua de Enfriamiento	30,742 litros por tonelada de Fósforo.
Agua de Condensación	26,230 litros por tonelada de Fósforo.
Requerimientos Adicionales.	5,697 litros por tonelada de Fósforo.

Requerimientos por pérdidas en Agua de Enfriamiento (Es un 20% del Agua de Enfriamiento).....6,148 litros/ton. P_4 .

Requerimientos por pérdidas en Agua de Condensación (Es un 15 % del Agua de Condensación).....3,935 litros/por ton. P_4 .

Requerimientos Adicionales (Es un 10% del consumo de: Agua de Enfriamiento y de Condensación)..... 5,697 litros/ton. P_4 .

Total de Agua Requerida por Ton. de P_4 = 15,780 litros= --
15.780 m^3

f).- Requerimientos de Energía.

La energía eléctrica consumida por el horno, --

es el costo más importante en la operación de la planta, - por la gran cantidad de energía que se consume en este tipo de procesos.

Prácticamente se ha determinado la Energía - - Eléctrica necesaria para la operación satisfactoria del -- horno, durante su funcionamiento. El suministro de Ener-- gía Eléctrica hacia el horno, será proporcionado por medio de un Transformador de 3.fases, 60 ciclos y 30,000 KVA. -- conectado en delta para transmitir de 425 a 750 volts.

Potencia del Horno 12,980 KWH/Ton. P₄

Carga Promedio del Horno 29,950 KWH/Ton. P₄

Considerando que esta cantidad de energía es - el 99.84% de la requerida por la planta; el 0.16% restante es consumido por bombas, compresoras e iluminación. De acuerdo con la literatura disponible, el proceso no incluye otro tipo de energía, porque el calor de combustión del CO que se obtiene como subproducto, se emplea para secar - y compactar la Roca Fosfórica.

Energía Eléctrica Necesaria.....13,000 KWH/Ton. P₄.

2.- Productos Resultantes.

Las cantidades de los productos resultantes en el proceso por tonelada de Fósforo, se han determinado experimentalmente en la planta y se encuentran reportados en la literatura disponible.

a).- Escoria.

(CaO 0.16 ton. P_2O_5 0.85 % SiO_2 Flúor) = 8.072 ton.

b).- Ferrofósforo.

Ferrofósforo = 0.356 ton.

c).- Polvo.

Polvo del Precipitador Electrostático = 0.127 ton.

d).- Gas como CO.

Según datos reportados en la literatura, como lo mencionamos anteriormente, nos muestran el análisis del Gas producto de reacción como: 94% en peso de CO, 6% en peso de otros gases tales como H_2 , CO_2 , CH_4 , C_2H_4 , etc.

Peso Molecular del Gas 10 (CO) = $28 \times 10 = 280$.

Peso molecular del Fósforo (P_4) = $31 \times 4 = 124$.

$$\left(\frac{280}{124}\right) \left(\frac{100}{94} \times \frac{100}{86}\right) = \frac{280 \times 1.23}{124} = 2.77 \text{ ton. CO por ton. } P_4$$

El factor 1.23 incluye la Eficiencia 86% de la planta y el porcentaje en peso del gas.

3.- Balance Total.

A continuación se muestra el balance total de la entrada y salida del proceso, tomando como base una tonelada de Fósforo:

E N T R A D A .

Roca Fosfórica.	8.900 ton.
Carbón de Coke	1.500 ton.
Sílice como SiO_2 .	3,400 ton.
Electrodos Semigrafit.	0.025 ton.
Agua de Enfr. y Cond.	15,780 litros
Energía Eléctrica.	13,000 KWH.

S A L I D A .

Escoria.	8.072 ton.
Ferrofósforo	0.356 ton.
Polvo.	0.127 ton.
Gas como CO	2,777 ton.

Con el Balance Total de Materia y Energía de la planta, es suficiente para el análisis, pues realmente existen cambios en el horno, ya que en el proceso de preparación de la Roca Fosfórica y en la condensación del Fósforo, el cambio es puramente físico.

D).- LOCALIZACION DE LA PLANTA

La localización más adecuada para nuestra unidad productora se debe orientar al objetivo de obtener una máxima ganancia. Dicha localización se basa en analizar — las diferentes variables llamadas fuerzas locacionales, se dividen en tres grupos:

- 1.- Costo de Transporte de Insumos y Productos.
- 2.- Disponibilidad y Costos Relativos de los Servicios.

3.- Posición con Respecto a Condiciones Legales.

1.- Dentro del primer grupo se debe analizar -- qué factor resultará más económico, si ubicar la planta -- cerca de la materia prima o cerca del mercado consumidor, -- para responder a esta pregunta es necesario tener en cuenta las siguientes observaciones:

Hasta ahora el Fósforo consumido se ha importado en su totalidad, siendo entregado en las plantas procesadoras del Estado de México, la totalidad del consumo del producto actualmente es en Lechería, Estado de México, existiendo mercados potenciales en el Istmo, el Bajío y en el Norte del país.

Las propiedades físicas y químicas de las materias primas y del producto terminado, fijarán el transporte más económico y con menos riesgos, existiendo además el factor peso del envío, el cual en algunas ocasiones resulta decisivo.

El Fósforo Elemental aunque entraña mayor riesgo su transporte que el de la Roca Fosfórica, Sílice y Coke, resulta más económico transportar al Fosfóro que a las materias primas, aún considerando los "auto-tanques" especial

les necesarios, porque se requieren aproximadamente 15 toneladas de materias primas para obtener 1 tonelada de Fósforo.

a).- Roca Fosfórica.

A causa de las propiedades físicas del mineral fosfatado, se pierden cantidades considerables en su transportación, por lo que se considera un factor muy importante en la decisión final, tratando de que el origen de esta materia prima requerida en el proceso, sea suministrada — del yacimiento más cercano a la ubicación de la planta.

b).- Carbón de Coke.

Por la dificultad que presenta la obtención de Coke de yacimientos nacionales ubicados al Norte del país — en Coahuila, su producción la destinan principalmente a la elaboración de arrabio y sinter, también en menor escala — se usa para fundiciones de metales no-ferrosos, al existir una escasez tremenda de este mineral en México, se tendrá — que importar.

c).- Sílice como SiO_2 .

La Sílice puede ser provista de yacimientos na

cionales, donde existe en abundancia y de buenas características para este proceso. Existen yacimientos de Sílice y Cuarzo en el Sur de Baja California, el Bajío, Jáltipan, Veracruz.

2.- En lo que se refiere a disponibilidad y costos relativos de los recursos, los más importantes son los siguientes:

a).- Mano de Obra.

Principalmente se debe considerar el costo y la disponibilidad de la mano de obra calificada.

b).- Agua Requerida.

Es un insumo indispensable en la totalidad de las actividades productivas, su influencia como factor locacional depende de la cantidad y calidad de la misma.

c).- Energía Eléctrica.

Esta también suele ser un factor decisivo en la localización de una planta, en países poco desarrollados. También se debe tomar en cuenta el precio de la mis-

ma de \$0.699 KWH, entrando en la Tarifa No. 12, que se -- aplica al servicio general para 5,000 KWH o más de demanda contratada a tensiones de 66 KV o superiores. Este es el factor locacional más importante para nuestro proceso debido al considerable consumo de electricidad. (Información-- proporcionada por Tarifas Generales de la Cía. de Luz y -- Fza. del Centro, S. A. En liquidación).

3.- La posición con respecto a condiciones legales, en ésta podemos incluir lo referente a incentivos:

a).- Diversificación de Zonas,

Actualmente México tiende a diversificar sus zonas industriales, con objeto de descongestionarlas y lograr una localización geográfica mucho más adecuada de las industrias. Con este objeto se han creado los llamados -- "Incentivos Tributarios" o de otro orden, como son las zonas o perímetros libres, inclusive algunas entidades federativas donan o ceden el terreno,

b).- Disponibilidad de Terreno.

Se deben considerar los factores adaptabilidad, abundancia y costo, además como ya se mencionó anteriormente, algunas entidades federativas ceden el terreno--

y exceptúan de ciertos impuestos a las industrias, con el fin de crear fuentes de trabajo y parques o zonas industriales.

c).- Naturaleza del Clima.

Interviene dentro de las condiciones de vida de los empleados las características del clima, así como sus consecuencias en el proceso.

Una vez puestos en juego los principales factores que intervienen en la localización óptima de una planta, es necesario conjugarlos de tal modo que resulte fácil apreciar la zona general que ofrezca mayores ventajas, para que posteriormente se detalle con mayor exactitud el lugar ideal.

Se han seguido diferentes criterios en la interpretación de los factores que intervienen en la localización de industrias, el método más común es el que consiste en proporcionar diferentes calificaciones, de acuerdo a la mayor o menor trascendencia de los factores en las condiciones específicas del país.

Con objeto de facilitar la interpretación de -

los factores que intervienen en la selección de la localización de la planta, se ha hecho una tabulación considerando a 6 zonas posibles, habiéndose asignado el mismo valor máximo a cada una de ellas o sea de diez para condiciones ideales, ocho para condiciones buenas, cinco cuando son regulares y cero si las condiciones son malas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	TOTAL
Baja California Sur.	5	10	8	8	5	8	10	10	10	74
Coahuila.	5	8	8	8	5	10	8	10	5	67
Nuevo León	5	5	10	10	5	8	10	10	5	68
San Luis Potosí	10	5	8	5	5	5	5	10	8	61
Tamaulipas	5	5	8	8	10	5	5	10	8	64
Zacatecas	5	5	8	5	0	0	8	10	8	49

A = Distancia al Mercado.

B = Distancia a la Materia Prima

C = Comunicaciones (Carreteras, Ferrocarril y Barco).

D = Mano de Obra.

E = Agua.

F = Energía Eléctrica.

G = Incentivos.

H = Terreno.

I = Clima

De acuerdo al cómputo total de las calificaciones, Baja California Sur resulta ser la zona con mayor ventaja, Nuevo León la segunda, Coahuila la tercera, Tamaulipas queda en cuarto lugar, en quinto San Luis Potosí y completamente descartada Zacatecas.

Los conceptos analizados anteriormente, indican muy claramente que Baja California Sur reúne las características más adecuadas para la localización de la planta; debiendo estar ésta cercana a un puerto marítimo, debido a que el abastecimiento de Coke puede ser por mar, resultando más económico al considerar la posición geográfica de la entidad y el régimen de ser zona libre, lo cual se considera como un atractivo económico.

Considerando los requerimientos de Energía Eléctrica, podemos observar que existen 6 plantas de combustión interna y 3 de las principales plantas eléctricas quedan cerca del área elegida.

La Sílice puede ser provista de Comondú y Mu--legé, en donde existen yacimientos de buenas características para este proceso.

El área seleccionada es el Ejido de San Hilario, Municipio de La Paz, Baja California Sur, cerca de -- ésta pasa el arroyo de La Soledad, además existen manantiales con elevado potencial acuífero subterráneo, por lo que existen numerosos pozos y también se registra al Sur de la Península una precipitación favorable con una media anual de 450 mm., al Norte de la zona seleccionada pasa el río - Santo Domingo.

El costo del agua es: Cuota de arranque \$3.55/³m, Excedentes \$ 4.50/m³. Estos informes fueron proporcionados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (Dirección de Tarifas y Promoción), ésta proporcionó la tarifa de agua para uso industrial en San Hilario, Mpio. de la Paz, B.C.S.

E).- INVERSION.

1.- Costo de Equipo y Maquinaria.

Según datos obtenidos del libro Industrial Chemical (Faith, Keyes, Clark), 4a. ed. 1975 por John Wiley & -

Sons, Inc. nos indican que el costo completo de la planta incluyendo: preparación de la alimentación, almacenaje y facilidades para sitios fuera de planta (off-site), varía desde 750 Dlls/ton. Metr. Anual, para una capacidad de planta de 45 ton. Metr./día, hasta \$330 Dlls/Ton. Metr. Anual, para una capacidad de planta de 275 Ton.Metr./Día. Para aplicar estos datos a nuestra planta es necesario hacer una interpolación y se obtiene un valor de \$657 Dlls./Ton. Metr. Anual, para una capacidad de planta de 97.5 Ton/Día como se muestra en la siguiente gráfica.

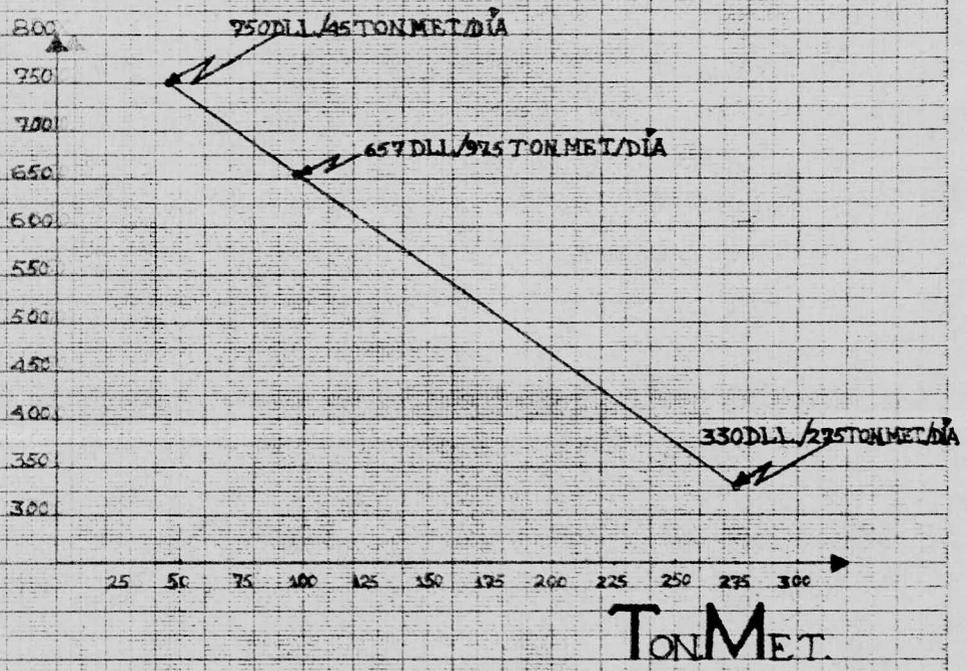
Tomando en cuenta datos del mismo libro, pero de la 3a. ed. 1965 nos indica que el costo completo de una planta productora de fósforo Elemental, varía de 2 a 2.5 veces (promedio 2.25) más que el costo del horno eléctrico cuando mucho, y los costos del horno eléctrico pueden variar de \$ 100 a \$ 150 Dlls./ Ton, Corta Anual de capacidad, dependiendo del tamaño del horno.

Para actualizar los costos de equipo y maquinaria, se utilizan los índices económicos de Marshall & Stevens de 1975 y de 1976, publicados quincenalmente en la revista Chemical Engineering, considerando 4 períodos en el año.

Se consideran 330 días al año, con una capacidad de planta de 32,151 ton. P₄/año, el valor del dolar --

COSTO de PLANTA

DOLLARS



TON MET.

será de \$23.00 M.N.; el valor del índice económico de 1975 será de 182.4 y para 1976 de 192.1, con estos datos calcularemos:

Costo de Planta:

$$\frac{\$657 \text{ Dlls.}}{1 \text{ tonP}_4} \times \frac{\$23.00 \text{ M.N.}}{\$1 \text{ Dll.}} \times 32,151 \text{ ton. P}_4 \times \frac{192.1 \text{ Ind.M\&S } 1976}{182.4 \text{ Ind.M\&S } 1975}$$

$$\text{Costo de Planta} = \$511,582,950.00$$

Costo de Equipo y Maquinaria:

$$\text{Costo de Equipo y Maquinaria} = \frac{\text{Costo de Planta} = \$511,582,950.00}{2.25}$$

$$\text{Costo de Equipo y Maquinaria} = \$227,370,200.00$$

2.- Costo de Terreno.

Para plantas de este tipo, se requieren 50,000 M² de superficie aproximada, por las necesidades que requiere - el almacenamiento de materias primas y por el volumen del - equipo que se utiliza en el proceso.

Costo de terreno en San Hilario Mpio. de la Paz,

Baja California Sur, según datos proporcionados por una -- compañía que explotará la Roca Fosfórica del lugar, indi-- can que es muy probable que el terreno sea donado para fi-- nes de industrialización del estado o que se venda muy ba-- rato a razón de \$1.00/m², por cargo del Gobierno Federal - Estatal. (considerando las mejoras necesarias), tenemos -- que:

$$\text{Terreno: } 50,000 \text{ m}^2 \times \$ \frac{1.00}{\text{m}^2} = \$50,000.$$

Costo de Terreno \$50,000.00

3.- Costo de Edificios y Zona Construida.

Se estima un 35% del terreno para edificios y zona construida; el costo de construcción industrial es a \$2,000.00/m², este dato también fué proporcionado por la misma compañía explotadora de Roca Fosfórica:

$$\text{Edificios y Zona Construida: } 50,000 \text{ m}^2 \times 0,35 = 17,500 \text{ m}^2$$

$$17,500 \text{ m}^2 \times \frac{\$2,000}{\text{m}^2} = \$35,000,000.00$$

Costo de Edificios y Zona Construida = \$35,000.000.00

I N V E R S I O N .

1.- Costo de Equipo y Maquinaria	\$227,370,200.00
2.- Costo de Terreno.	\$ 50,000.00
3.- Costo de Edificios y Zona <u>Cons</u> truida	<u>\$ 35,000,000.00</u>
	\$262,420,200.00

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES.

Tomando en cuenta que en la República Mexicana no existe ninguna planta productora de Fósforo Elemental y como consecuencia no existe la suficiente información tecnológica del proceso de obtención electrotérmica, se tuvo que recurrir a diferentes fuentes calificadas para obtener la información de donde se recopiló el material con el que se expuso el presente tema, logrando la finalidad del mismo, que consiste en analizar el mejor método técnica y económicamente para obtener Fósforo Elemental. A la vez se hizo una estimación económica más o menos concreta de la inversión, ésta constituye únicamente el capital requerido para la instalación de la planta.

En virtud de lo anteriormente expuesto, se llegó a las siguientes conclusiones:

1.- La Planta productora se podría localizar - en San Hilario Mpio. de La Paz, Baja California Sur, basán donos en las diferentes variables anteriormente analizadas en el Capítulo IV. La instalación de la planta en este lugar proporcionaría muy buenos resultados, al crear nuevas fuentes de trabajo y fomentaría grandemente la industria--lización del estado.

2.- La Roca Fosfórica constituye una de las -- materias primas de gran importancia para el proceso y debe tener de 30-32% P_2O_5 , para obtener un buen rendimiento y -- una eficiencia elevada. Existen problemas con los Yaci- -- mientos Nacionales de Roca Fosfórica, porque algunos son -- pequeños y de buena calidad y otros son grandes pero de ma -- la calidad; actualmente se está estudiando la posibilidad -- de explotar, tratar y comercializar los yacimientos de Ro- -- ca Fosfórica recientemente descubiertos en Baja California -- Sur, cuyas reservas se pueden considerar como cuantiosas; -- pero la calidad es de 13-15% P_2O_5 , sin embargo la Comisión -- de Fomento Minero junto con otras empresas privadas, ele- -- varán su calidad hasta 30-32% P_2O_5 aplicando un sistema de -- flotación al mineral, siendo una Roca Fosfórica adecuada -- para obtener resultados atractivos en el proceso elegido.

3.- Como existe una tremenda escasez en Méxi- -- co de Coke se tendrá que importar, al ubicar la planta cer- -- ca de un Puerto Marítimo se podría abastecer por mar, re- -- sultando más económico al considerar la posición geográfi- -- ca y el régimen de ser zona libre, evitando el pago de im- -- puestos arancelarios.

4.- La capacidad de producción de la planta se -- ría de 32,000 ton. de P_4 /año, con lo que se evitaría la -- gran fuga de divisas vía importación, una vez cubierta la -- demanda del Mercado Nacional se podrían generar divisas -- vía exportación, ésto beneficiaría a Baja California Sur y -- al país mismo.

5.- La estimación económica para instalar una planta productora de Fósforo Elemental sería de - - - - - \$262,500,000.00, esta inversión comprende únicamente: Costo de Equipo y Maquinaria, Costo de Terreno y Costo de Edificios y Zona Construída.

6.- Existe la posibilidad de lograr la exención del impuesto estatal por ingresos mercantiles, considerando el régimen de ser zona libre, lo cual se considera como un atractivo económico.

7.- La descentralización de zonas industriales en México, es con el objeto de descongestionarlas y lograr una localización geográfica mucho más adecuada de las industrias, con este objeto se han creado los incentivos tributarios o de otro orden, como son las zonas o perímetros libres, inclusive algunas entidades federativas donan el terreno para crear nuevas fuentes de trabajo y la industrialización en la entidad.

8.- También existe la posibilidad de lograr otra exención de impuestos, acogiéndose a la ley de Industrias Nuevas o Necesarias; con lo que se obtendría una reducción bastante aceptable de impuestos.

9.- Se podría negociar al amparo de la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio (ALALC), la liberación de barreras arancelarias para la exportación de Fósforo Elemental a Sud-América, lo que permitiría competir con los países productores de Europa y Norte América.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA .

- 1.- ANALISIS 75.
La Economía Mexicana.
Gpo. Edit. Expansión 10 años.
Publicaciones Ejecutivas de México, S. A.
- 2.- ANUARIO DE COMERCIO EXTERIOR.
Dirección Geral. de Estadísticas.
Secretaría de Industria y Comercio.
- 3.- BOLETIN No. 9 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Los Yacimientos de Carbón de la región de Santa Clara,
Mpio. de San Javier, Edo. de Sonora" I.F. Wilson y V.-
S. Rocha. 1946.
- 4.- BOLETIN No. 32 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Los depositos de Fosforitas de Sabinas Hgo. y Ayan- -
cual, Edo. de Nuevo León". . J.J. Pérez Martínez y R.-
W. Wiggim. 1953.
- 5.- BOLETIN No. 38 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Geología general y depósitos de Fosfatos del Distrito

de Concepción del Oro, Edo. de Zacatecas". Cleaves L.-Rogers, Zoltan de Cserna, E.Tavera y S. Ulloa. 1957.

- 6.- BOLETIN No. 42 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Posibilidades respecto a Fosforitas en el Sur de México". Zoltan de Cserna. 1958.
- 7.- BOLETIN No. 56 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Reconocimientos geológicos y depósitos de Fosfatos — del Norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí", C. L. Rogers, Zoltan de Cserna, E. Tavera, R. van Vloten y J. Ojeda. 1961.
- 8.- BOLETIN No. 59 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Geología y exploración de los depósitos de Carbón — de la región de San Marcial, Edo. de Sonora". R. Pesquera y M. Carbonell. 1960.
- 9.- BOLETIN No. 73 DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES.
"Los recursos naturales no renovables de México". Guillermo P. Salas. 1970.
- 10.- CARTAS METALOGENETICAS DE LA REPUBLICA MEXICANA.
Instituto de Geología de la U.N.A.M. 1966.
M-6 Yacimientos de Carbón Mineral en México.
M-16 Yacimientos de Cuarzo, Arena de Sílice y Mica en México.

M-26 Yacimientos de Arena de Sílice en México.
M-30 Yacimientos de fosfatos en México.

- 11.-CATALOGO COLECTIVO DE PUBLICACIONES PERIODICAS.
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
Centro de Servicios de Información y Documentación.
- 12.-CHEMICAL ENGINEERING. Febrero 1^a 1965, Vol. 72, Págs.
54-56.
"Horno Eléctrico para Fósforo de la T.V.A."
Mc. Graw Hill.
- 13.-CHEMICAL ENGINEERING COST ESTIMATION.
Aries R. & Newton R.
Mc. Graw Hill Book Co. Inc.
- 14.-CHEMICAL ENGINEERING INTERNATIONAL NEWS.
Mac Graw Hill Publication. dic. 1956, 1964, 1966, 1975,
1976 y Marzo 28, 1977. Indicadores Económicos para ob-
tener los valores de los Indices de MARSHALL & STEVENS.
- 15.-CHEMICAL ENGINEERING NEWS. Marzo 18, 1968. Vol. 46, --
Pág. 22, "Todos los productores de Fósforo Elemental -
de los E.U.A., usan el proceso del Horno Eléctrico."

- 16.- CHEMISTRY & INDUSTRY. Julio 9 1960, Págs. 892-893.
"Producción de Fósforo en Porstishead".

- 17.- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
Veinte Obras Principales en el Lapso de 1970-1976.

- 18.- DICCIONARIO INGLES-ESPAÑOL Y ESPA-ING.
Cassells Edgar. Edición 1970.
Allison Peers.

- 19.- EL CARBON MINERAL 1976.
Comisión Coordinadora de la Industria Siderúrgica.
Ing. Enrique Codorniú Carmona.

- 20.- ENCICLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY.
The Interscience Encyclopedia.
Raymond E. Kirck & Donald F. Othmer.

- 21.- ENCICLOPEDIA DE QUIMICA INDUSTRIAL.
Ullman Fritz.

- 22.- ENGINEERING & MINING JOURNAL. Julio 1967, Vol. 168, -
Págs. 83-86. "Velocidades de Alimentación Aglomerada-
a través de un Horno Eléctrico para Fósforo".

- 23.- ESTUDIOS SOCIO-ECONOMICOS Y MONOGRAFICOS DE: Coahuila, Baja California Sur, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas; en la Campaña Política del Lic. José López Portillo, Nacional Financiera, S. A. y del Banco de Industria y Comercio, S. A.
- 24.-INDUSTRIA ELECTRICA NACIONAL.
Estadística de Explotación 1970-1975.
Comisión Federal de Electricidad.
Gerencia General de Operación 1976.
- 25.- INDUSTRIAL CHEMICALS.
W.L. Faith, D.B. Keyes & R. L. Clark
John Wiley & Sons, Inc. 3a. y 4a. Edición, 1965 y 1975.
- 26.- INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY. Abril 1970, Vol.-62, No. 4, Págs. 8-23. "Diseño de una Planta para fósforo con Nuevas Tendencias".
- 27.- INFORME DE LABORES DEL 1o. Sep. 1975. al 31 de Agosto 1976.
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS 1976.
- 28.-JOURNAL OF METALS. Diciembre 1962, Págs. 902-906.
"Operaciones del Horno Eléctrico para Fósforo de la-T.V.A."

- 29.- JOURNAL OF METALS. Marzo 1965, págs. 306-312.
"Operación de un Horno Eléctrico Rotatorio de 25,000-
KWH para Fósforo".
- 30.- LOS RECURSOS MINERALES DE MEXICO NO METALICOS.
Consejo de Recursos Minerales.
Departamento de Estudios Económicos 1970.
- 31.- MATERIAL & ENERGY BALANCES.
Hougen, Watson & Ragatz.
John Wiley & Sons Inc. 1962.
- 32.- MINERO NOTICIAS. No. 3, Junio 1976.
Roca Fosfórica en Baja California Sur.
Publi-Noticias, S. A.
- 33.- NUEVO DICCIONARIO APPLETON CUYAS.
Inglés-Español y Español-Inglés.
Arturo Cuyás. 5a. Edición.
- 34.- QUIMICA INORGANICA MODERNA.
Mellor. Edición 1960
- 35.-TARIFAS GENERALES APROBADAS.
Comisión Federal de Electricidad.
Cía. de Luz y Fza. del Centro, S. A. (En liquida- ---
ción).

- 36.- TARIFAS DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL.
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
Dirección de Tarifas y Promoción.
- 37.- TESIS "UTILIZACION DE FOSFORITAS MEXICANAS EN LA OB
TENCION ELECTOTERMICA DE FOSFORO ELEMENTAL" ANTEPROY
ECTO.
Gempo Domínguez Padilla, 1960 U.N.A.M. Facultad de -
Química.
- 38.- TESIS " EVALUACION ECONOMICA PARA LA INSTALACION DE
UNA PLANTA DE FOSFORO ELEMENTAL EN LA REPUBLICA ME-
XICANA".
Juan Antonio Galindo Lomelín, 1966 U.N.A.M. Facul---
tad de Química.
- 39.- TESIS " ESTUDIO GEOLOGICO DE LOS YACIMIENTOS DE ROCA
FOSFORICA DE SAN HILARIO, MPIO. DE LA PAZ, BAJA CALI
FORNIA SUR".
Miguel Rangel Medina, 1975 Biblioteca del Consejo --
de Recursos Minerales.
- 40.- TESIS "EXPLORACION GEOLOGICO-MINERA DE LOS YACIMIEN-
TOS DE ROCA FOSFORICA DE SAN HILARIO, MPIO. DE LA --
PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR". Montoya H. 1976 Biblioteca
del Consejo de Recursos Minerales.

- 41.- TESIS "EXPLORACION GEOFISICA RADIATIVA DE LOS YACI--
MIENTOS DE ROCA FOSFORICA DE SAN HILARIO, MPIO. DE LA-
PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR". Tomos I y II. Jorge M. --
Alcántara Díaz. 1976 Biblioteca del Consejo de Recur-
sos Minerales.
- 42.- THE INDUSTRIAL CHEMIST.. Septiembre 1962, Vólumen 38, -
Pág. 490. "Producción Electrotérmica de Fósforo Ele--
mental".

CAPITULO VII

INDICE

Pág.

CAPITULO I

INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	3

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL PROCESO.....	6
1.- Tratamiento de la Roca Fosforica.	7
2.- Proceso Eléctrotérmico.....	9
3.- Separación y recuperación de Fósforo.....	11

DIAGRAMA DE FLUJO PARA OBTENCION DE FOSFORO
ELEMENTAL.

CAPITULO III

ANALISIS TECNICO.....	14
A).- TRATAMIENTO DE LA ROCA FOSFORICA.	14
1.- Preparación de la alimentación...	14

2.- Procesos de Aglomeración.....	15
a.- Proceso de Granulación.....	16
b.- Proceso de Briqueteado.....	17
c.- Proceso de Nodulización.....	18
d.- Proceso de Compactación de Hojuelas..	19

DIAGRAMA DE FLUJO DE HOJUELEADO DEL MINERAL.

3.- Selección del Proceso de Aglomeración.	20
4.- Tratamiento Térmico.....	22
a).- Pre-Aglomeración.....	22
b).- Pre-Calentado y Secado.....	23
c).- Endurecimiento y Calcinación.....	23
d).- Enfriamiento.....	23
5.- Control de la composición de la carga.	24

DIAGRAMA DE FLUJO PARA ENDURECIMIENTO DEL MINERAL POR SISTEMA DE HORNO ENREJADO.

B).- OTRAS MATERIAS PRIMAS.....	27
1.- Carbón de Coke.	27
2.- Silice como SiO_2	28
C).- SISTEMA DE DOSIFICACION HACIA EL DE POSITO DE M.P.....	29
D).- HORNO ELECTRICO ROTATORIO.....	30
1).- Sellos de agua telescópicos.....	31
a).- Problemas con los sellos telescópi cos.....	33
2).- Electrodo.....	34
DIAGRAMA DE ELEVACION SECCIONAL DEL SELLO TELESCOPICO.	
a).- Dimensiones y tipos de electrodo...	36
Electrodo Soderberg.....	36
Electrodo Prebaked.....	37
3).- Problemas con el sello alrededor del crisol.....	38

DIAGRAMA DE SELLO DE AGUA ENTRE EL CRISOL Y
EL TECHO DEL HORNO.

E).- TRANSFORMADOR DE ENERGIA.....	39
F).- OPERACION DEL HORNO.....	42
1.- Secado.....	43
2.- Arqueado.....	44
3.- Distribución de Escoria y Ferrofósforo.....	45
4.- Principales reacciones efectuadas en el Horno.....	46
a).- Reducción de Oxido de Fierro.....	46
b).- Formación de Silicato de Calcio y P_4	46
G).- SEPARACION Y RECUPERACION DE FOSFORO..	47
1.- Precipitador Electrostático.....	47
a).- Problemas en el precipitador.....	49

DIAGRAMA DE ELEVACION SECCIONAL DEL SELLO
DE CUARZO Y DEL SELLO AUXILIAR DE ACEITE.

2.- Sistema de Condensación.....	52
3.- Clasificación de Sistemas de Condensación.....	53
a).- El Tipo Húmedo.....	53
b).- El Tipo Seco.....	54
4.- Fósforo recuperado del sedimento....	55
5.- Métodos para recuperar Fósforo.....	55
a).- Recirculación al Horno.....	55
b).- Secado en un recipiente del Horno.	56
c).- Secado en una unidad separada.....	56
H).- CONSIDERACIONES PARA CONTROLAR LA - CONTAMINACION.....	57
1.- Agua conteniendo Fósforo.....	57
2.- Calcinación de Efluentes.....	58
3.- Humos del Horno.....	58

CAPITULO IV

ANALISIS ECONOMICO.....	60
-------------------------	----

A).- ESTUDIO DE MERCADO.....	60
1.- Importaciones en los últimos años....	61
2.- Industrias consumidoras, localiza- ción y usos.....	62
a).- Industrias Resistol, S. A.....	62
b).- Química Hooker, S. A. de C. V.....	62
c).- Guanos y Fertilizantes de México, S. A.....	62
3.- Situación Legal.....	63
B).- PRONOSTICO DE LA DEMANDA.....	63
1.- Método de Mínimos Cuadrados (Línea - Recta).....	64
2.- Coeficiente de Correlación.....	66
GRAFICA DE CONSUMO Y DEMANDA DE FOSFORO BLANCO.	
C).- BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.....	70
1.- Materias Primas y Servicios.....	72
a).- Roca Fosfórica (Estequeometría)....	72

b).-	Carbón de Coke (Estequeometría)....	75
c).-	Silíce como SiO_2 (Estequeometría)....	77
d).-	Electrodos Semigrafitados.....	79
e).-	Agua de Enfriamiento y Condensa- ción.....	80
f).-	Requerimientos de Energía.....	81
2.-	Productos Resultantes.....	83
a).-	Escoria de Silicato de Calcio.....	83
b).-	Ferrofósforo.....	83
c).-	Polvo.....	83
d).-	Gas como CO.....	83
3.-	Balance Total.....	84
D).-	LOCALIZACION DE LA PLANTA.....	85
1.-	Costo de Transporte de insumos y pro- ductos.....	85
a).-	Roca Fosfórica.....	87
b).-	Carbón de Coke.....	87
c).-	Silíce como SiO_2	87

2.- Disponibilidad y costos relativos de los Servicios.....	88
a).- Mano de Obra.....	88
b).- Agua Requerida.....	88
c).- Energía Eléctrica.....	88
3.- Posición con respecto a condiciones legales.....	89
a).- Diversificación de zonas.....	89
b).- Disponibilidad de Terreno.....	89
c).- Naturaleza del Clima.....	90
E).- INVERSION.....	93
1.- Costo de Equipo y Maquinaria.....	93
GRAFICA DEL COSTO DE LA PLANTA.....	
2.- Costo de Terreno.....	96
3.- Costo de Edificios y Zona Construida.....	97

CAPITULO V

CONCLUSIONES..... 99

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA..... 103

CAPITULO VII

INDICE..... 111