

9

# Universidad Autónoma de Guadalajara.

Facultad de Ciencias Químicas.

Fertilizante a partir de Roca  
Fosforítica por el método de  
Desflouración por Calcinación.

**T E S I S**

que presenta el

**Sr. Javier Castellanos Ramírez**

para obtener el título de

**Ingeniero Químico.**

**Guadalajara, Jal., enero de 1952.**



QUIMICA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

9

1 diagr. d. d. t.  
1 esquemas

# Universidad Autónoma de Guadalajara.

Facultad de Ciencias Químicas.

Fertilizante a partir de Roca  
Fosforítica por el método de  
Desflouración por Calcinación.

**T E S I S**

que presenta el

**Sr. Javier Castellanos Ramírez**

para obtener el título de

**Ingeniero Químico.**



QUIMICA

Guadalajara, Jal., enero de 1952.

*A mis queridos padres:*

*Sr. Pablo Castellanos Aceves  
Sra. Ma. del Refugio R. de Castellanos*

*A mis hermanos:*

*Pablo, Glafira, Teresa,  
Manuel, Ma. de la O, y Ma.  
del Refugio.*

*A mis maestros y compañeros.*

# FERTILIZANTE A PARTIR DE LA ROCA FOSFORITICA POR EL METODO DE LA DESFLUORACION POR CALCINACION.

## I.— INTRODUCCION.

## II.— GENERALIDADES.

- 1) Importancia y aplicación del abono fosfatado.
- 2) Análisis de suelos y necesidad de fertilizantes.
- 3) Procesos químicos usados en la actualidad.

## III.— MATERIA PRIMA.

- 1) Generalidades.
- 2) Materia prima Nacional.
  - a) Características.
  - b) Localización.

## IV.— ANTEPROYECTO PARA UNA PLANTA DE 10,000 TONELADAS ANUALES EN LA CIUDAD DE MONTERREY, SEGUN EL METODO DE LA DESFLUORACION DE LA ROCA POR CALCINACION EN HORNO ROTATORIO.

- 1) Esquema de trabajo.
- 2) Selección de equipo.
- 3) Balance económico.

## V.— CONCLUSIONES.

## VI.— BIBLIOGRAFIA.

## CAPITULO I.

### INTRODUCCION.

Consultando los datos estadísticos sobre producción y demanda de abonos químicos en el país se verá la producción actual no satisface las necesidades del mercado.

Las posibilidades que tiene la instalación de una planta de ésta naturaleza en nuestro medio me indujeron a estudiar lo relacionado con la industria de los fertilizantes.

Así encontré que de los métodos existentes para la elaboración de fertilizantes fosfatados, el método de la desfluoración de la roca fosforítica era el más indicado ya que por este proceso químico el fluor contenido en la roca fosforítica es completamente eliminado, obteniéndose por consiguiente un producto que está en condiciones de servir como un complemento mineral en el alimento de toda clase de animales además de su aplicación como un buen fertilizante.

Por otra parte, experimentalmente se ha comprobado que este proceso tiene un costo de producción por tonelada más bajo que los demás procesos existentes.

## CAPITULO II.

### GENERALIDADES.

#### 1) IMPORTANCIA Y APLICACION DE LA ROCA FOSFORITICA DESFLUORADA.

El primer intento de llevar a cabo la desfluoración de la roca fosforítica se hizo en el año de 1934 por cuenta del Departamento de Agricultura de Los Estado Unidos, habiéndose descubierto que el fluor contenido en la roca fosforítica puede ser quitado volatilizándolo y su contenido en fosforo aprovecharse completamente, esto se realizó calentando la roca fosforítica en presencia de vapor de agua y sílice.

La reacción química que se efectúa en éste proceso se presume estar representada por la siguiente ecuación:



En ésta reacción el 95% del fluor en exceso fué volatilizado en forma de ácido fluorhídrico. El producto desfluorado se compone casi en su totalidad de fosfato tricálcido.

La apatita o roca fosforítica defluorinada es de gran importancia debido a que se puede aprovechar ya sea como un

buen fertilizante o como un complemento mineral en el alimento de los animales domésticos.

En su aplicación como fertilizante no es necesario que el fluor sea completamente eliminado de la roca natural, sino más bien que la mayor parte del fósforo contenido sea soluble.

Sin embargo en su uso como complemento mineral para alimentar ganado y aves de corral, el fluor debe ser casi completamente eliminado pues es bien sabido que el fluor tiene propiedades tóxicas. En la actualidad existen especificaciones que definen que la roca fosforítica defluorada para usarse como alimento de animales requiere que la relación de fluor a fósforo no sea mayor de 1 a 40.

Experimentos llevados a cabo sobre el crecimiento de las plantas con diferentes fertilizantes demostraron que la roca fosforítica defluorada tiene el mismo valor alimenticio que el superfosfato de calcio por unidad de pentóxido de fósforo.

## 2) ANALISIS DE SUELOS Y NECESIDAD DE FERTILIZANTES.

Los suelos de México necesitan cantidades variables de fertilizantes según su situación y origen. Entre los elementos que generalmente se consideran necesarios se encuentra el fósforo. Un resumen de análisis de suelos típicos de las cuatro clases principales que se encuentran en las áreas agrícolas mexicanas, hecho por la Secretaría de recursos Hidráulicos se encuentra representado en el cuadro que a continuación se expone.

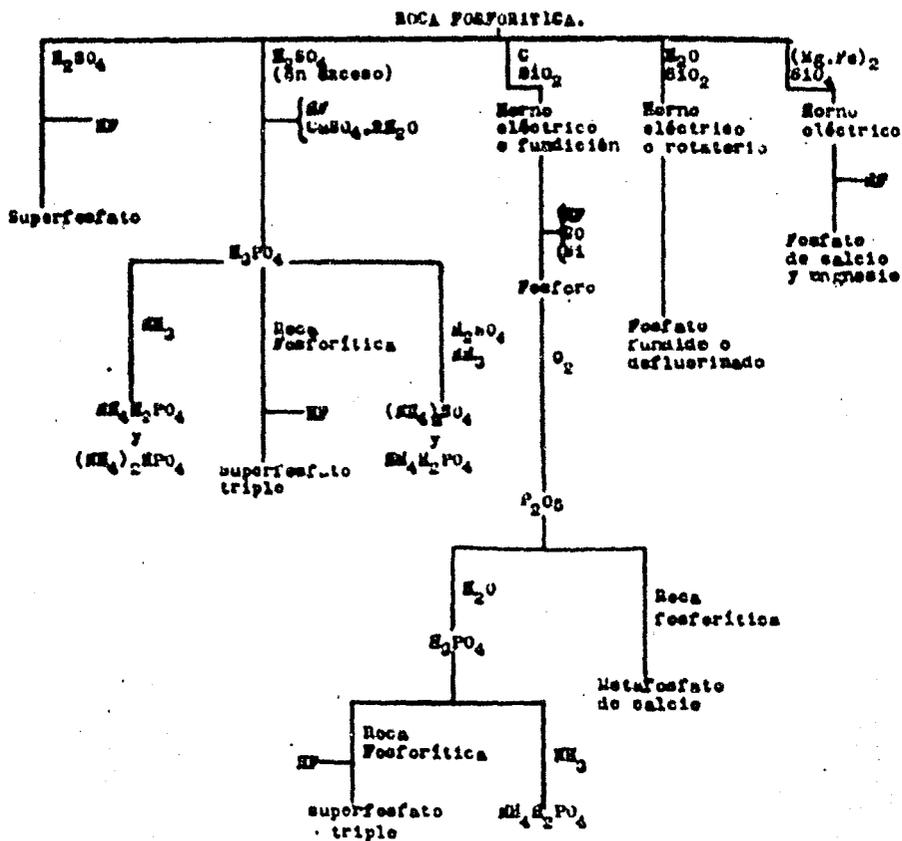
En él aparece una deficiencia casi general de fósforo.

Tipo	Desértico			Rendzinas		
	1	2	3	4	5	6
Análisis No.						
Lugar	Mexicali	Ciudad Obregón	Ciudad Juárez	Región de la Laguna	Mata moros	Xicotencatl
Nitrógeno	P	P	P	P	P	R
Fósforo	P	R	R	P	P	P
Potasio	R	R	R	P	G	P
Calcio	R	R	R	R	R	R
Magnesio	R	G	R	G	R	R
Mangnesio	P	P	G	P	P	P
Ph	A	A	A	A	A	A

Tipo	Chostrnut		Chernozem	
	7	8	9	
Lugar	Nuevo Laredo	San Mateo	Irapuato	Promedio
Nitrógeno	P	P	P	P
Fosforo	P	R	P	P
Potasio	P	P	R	G
Calcio	R	R	R	R
Magnesio	G	R	R	R
Manganeso	P	P	P	P
Ph	A	N	A	A

Clave: P: tierra pobre en el elemento indicado. G: tierra buena. R: tierra rica. N: reacción neutra. A: reacción alcalina.

**3) DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS DIFERENTES PROCESOS QUIMICOS USADOS PARA LA OBTENCION DE FERTILIZANTES PARTIENDO DE LA ROCA FOSFORITICA.**



## CAPITULO III.

### MATERIA PRIMA.

La roca fosforítica es en la actualidad la materia prima de mayor uso para la fabricación de fertilizantes de fósforo.

Su aspecto varía desde una masa dura hasta el de un material plástico suave asemejándose al Kaolin. El color puede variar desde el negro narciso fijo parecido al de piedra hasta el blanco granular. El mineral varía bastante en su composición pero generalmente contiene de 70 a 78% de fosfato de calcio. La fluorapatita mineral puro tiene la siguiente composición representada por la fórmula  $[\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3]$  cuyo contenido en fluor alcanza 3.77%.

El contenido en fluor de la roca fosforítica natural varía desde menos de 1% hasta más de 4%. La roca fosforítica natural como la existente en Florida es similar a la apatita, pero existiendo dentro de la estructura misma cuerpos tales como carbonato de calcio, óxido de hierro y aluminio, cuarzo azufre, etc.

Prácticamente no existe ninguna diferencia entre la apatita cristalina y la roca fosforítica.

La roca fosforítica utilizada en el presente estudio tiene la siguiente composición analítica promedia:

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	31.9;	SiO <sub>2</sub> :	6.8;	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	2.0;	Indeterminados:	7
CaO:	46.4;	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	1.4;	F:	3.6.		

En los Estados Unidos de Norteamérica se encuentran los yacimientos más grandes de roca fosforítica calculándose las reservas de éste mineral en alrededor de 14 billones de toneladas. Esta cantidad viene a ser mayor que las reservas del resto del mundo y casi el doble de las reservas de Rusia.

Las reservas mundiales de roca fosforítica se estiman en 28,870,256,000 toneladas cortas de mineral del cual 14,885,763,000 toneladas están localizadas en los Estados Unidos. Rusia calcula tener 7.5 billones de toneladas de fosfatos naturales.



Las reservas en México de éste mineral se han calculado en 214,500,000 toneladas.

El siguiente cuadro dará idea de las reservas de los países donde se han localizado yacimientos de roca fosfórica.

TUNEZ .....	1,500,000,000	tons.
ARGEL .....	1,016,500,000	"
EGIPTO .....	179,000,000	"
MARRUECOS .....	1,000,000,000	"
EUROPA (Excepto U.R.S.S.) .....	435,000,000	"
U. R. S. S. ....	7,568,000,000	"
PALESTINA .....	4,000,000	"
CANADA .....	181,000	"
MEXICO .....	214,500,000	"
BRASIL .....	573,000,000	"
OCEANIA .....	282,245,000	"
ISLA MAKATEA .....	10,000,000	"
ISLAS CHRISTMAS .....	50,000,000	"
JAPON .....	28,984,000	"
CHINA .....	2,400,000	"
INDOCHINA .....	55,000	"
INDIA .....	10,128,000	"
INDONESIA .....	1,000,000	"
U. S. ....	13,503,514,000	"

(Informes proporcionados por la Secretaría de Agricultura de los U. S. A.)

## 2.— MATERIA PRIMA NACIONAL.

En nuestro país los yacimientos de fosfato de calcio industrialmente explotables se presentan bajo la forma de concreciones o de masas compactas o terrosas en terrenos sedimentarios de edad jurásica o cretásica. Se han descubierto yacimientos de esta clase en las calizas margosas y margas apizarradas del jurásico superior de Masapil y Concepción del Oro en el estado de Zacatecas; en las calizas cretásicas de Topo cerca de la ciudad de Monterrey, estado de

Nuevo León y en la sierra de Minas Viejas municipalidad de Lampazos y en Rincón de Arizmendi municipalidad de Sabinas Hidalgo del mismo estado.

Los yacimientos de Zacatecas se hayan situados en los flancos de las Sierras de la Caja, Canutillo y Zuloaga situada ésta última sierra cerca de los límites del estado de Coahuila. Los análisis hechos en muestras de roca tomadas de este yacimiento han dado contenidos en fosfato de calcio que varían de 15 a 58% llegando a alcanzar una muestra hasta el 70% de fosfato de calcio.

Los yacimientos de Topo Chico se encuentran situados a 6 Kms. al noroeste de la ciudad de Monterrey. Analisis practicados en muestras procedentes de éste depósito dieron una cantidad de  $P_2O_5$  variable entre 27 y 43.46%.

El yacimiento de Minas Viejas está situado en la margen derecha del Cañón de las Encinas en la sierra del mismo nombre de la municipalidad de Lampazos y dista unos 12 Kms. al suroeste de la estación de Colondrinas. Los análisis practicados con muestras tomadas de estos depósitos dieron una cantidad de fosfato tricálcio variable entre 22.86 y 37.88%.

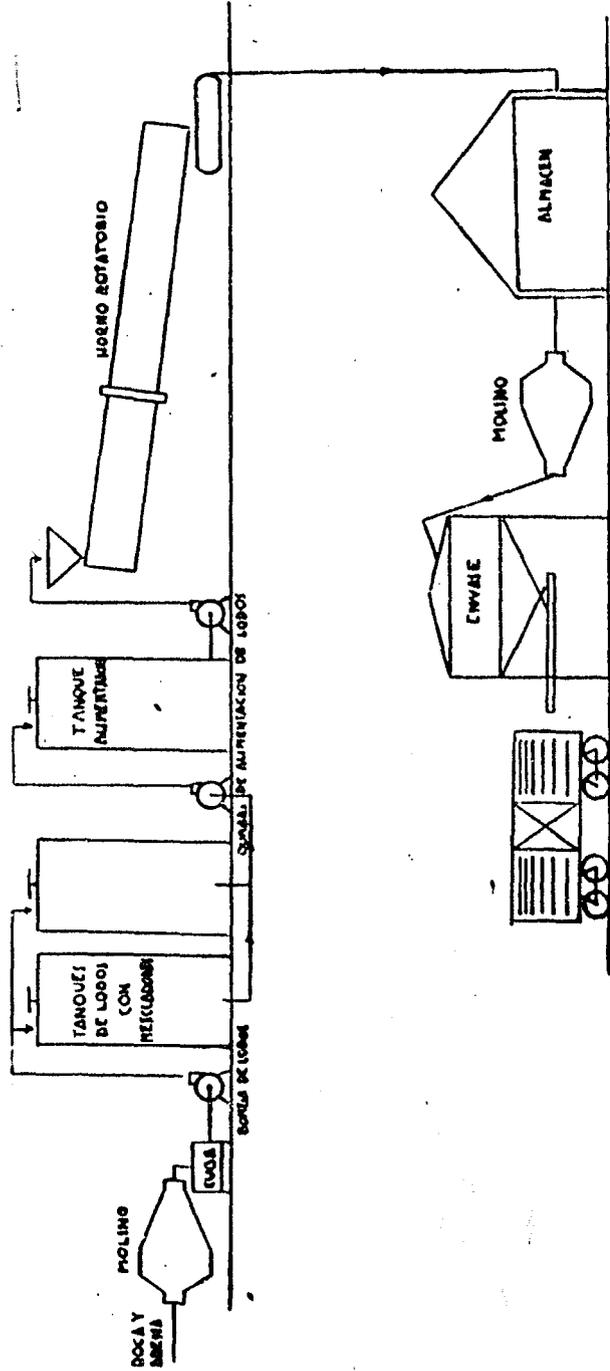
El yacimiento de Rincón de Arizmendi se haya situado a unos 40 Kms. al NE de la estación de Villa Aldama del FC Nacional y a un kilómetro de la carretera que va de Villa Aldama a la mina de la Paloma.

Los análisis de cuatro muestras procedentes de éste yacimiento dieron cantidades variables de  $P_2O_5$  entre 7.13 y 33.92%.

De éstos cuatro yacimientos de roca fosforítica los de más factible explotación en escala comercial aprovechable son los de Topo Chico del estado de Nuevo León.

En la actualidad la Empresa "Guanos y Fertilizantes de México, S. A." que fabrica superfosfato de calcio en pequeña escala en Gómez Palacio Durango está explotando fosforitas de Nuevo León.

# ESQUEMA DE TRABAJO DE LA PLANTA DE FLUORINADORA



JCD

## CAPITULO IV.

### ESQUEMA DE TRABAJO.

El mineral de fosforo es conducido desde el almacén de materia prima junto con la arena cuarzosa a un molino de bolas cónico, para llevar a cabo una molienda fina. Agua es añadida al entrar el alimento al molino para formar un lodo que contenga de 35 a 40% de humedad.

El material molido debe ser un producto que el 85% pase a través de un tamíz de 200 mallas.

La alimentación al molino se efectúa a través de muñones huecos, siendo la descarga por el extremo opuesto a la alimentación, pasando antes por el tamíz que tiene por objeto también regresar las bolas que se introducen en el extremo de descarga del molino.

La alimentación se regula por un gusano transportador colocado dentro del muñón hueco en el extremo de carga. El interior del molino debe llevar una cubierta que lo proteja sobre todo tratándose de un material abrasivo como es el que vamos a manejar.

El lodo descargado por el molino va a parar a una cuba de madera recubierta interiormente con lámina de fierro, de donde será bombeado por medio de una bomba centrífuga a los tanques mezcladores. Hay tres de éstos tanques, uno para almacenar los lodos de roca, otro para almacenar los lodos de arena y el tercero para mezclar la roca y la arena en una proporción tal que el producto de mezcla contenga de 40 a 42% de sílice sobre base seca y alrededor de 40% de agua.

Los tanques están equipados con peletas de agitación y tubería de aire a presión para obtener una agitación continua.

El lodo es bombeado desde el tanque mezclador a la tolva

alimentadora la cual descarga el material en el horno, por medio de un alimentador regulable (poidiómetro).

El horno es de tipo rotario teniendo una tolva alimentadora y un alimentador regulable para controlar una alimentación constante. Los aditamentos propios del horno son la tolva alimentadora, el horno en sí con su forro de ladrillo refractario, el quemador que incluye el depósito o línea de admisión para alimentar el combustible a presión, la cámara de polvo por donde salen los gases de combustión acondicionada con dos mamparas en su interior que detienen el polvo que es arrastrado por el tiro de la chimenea, y el motor eléctrico para mover el horno a distintas velocidades, el descargador de material o producto del horno, y finalmente el tablero de control donde se registrarán las temperaturas del horno de la zona de fuego y de la zona fría, también se registran las temperaturas de la cámara de polvo, registrándose además en el tablero el contenido de  $\text{CO}_2$  en los gases de combustión, el consumo de aire y de combustible. Llevando el horno como partes accesorias una trompa de agua en el extremo de la salida del producto, que tiene la finalidad de enfriar el producto antes de salir del horno, produciéndose vapor de agua en exceso que es necesario para que se efectúe una mejor desfluoración.

Para completar el equipo necesario para la planta se necesita un transportador de banda que conduzca el material a los almacenes y de allí a la envasadora.

## SELECCION DE EQUIPO.

### HORNO ROTATORIO

Lo primero por calcular es el volumen de la producción que se quiera lograr.

Tomando en cuenta lo anterior y también para simplificar este trabajo, se podrá considerar un horno que tenga una capacidad normal de treinta toneladas cortas (60,000 libras) por cada 24 horas. Si la demanda llegara a ser mayor puede duplicarse o triplicarse el número de unidades de equipo.

Para calcular la producción de un horno rotatorio que

usa roca fosforítica como materia prima, se ha encontrado experimentalmente que la siguiente fórmula proporciona cifras que se acercan a la realidad con un ligero margen de error que se puede decir es causado por los diferentes métodos de operación.

Capacidad =  $(1/3 L + 40) \times A \times 0.032$  en donde L es la longitud del horno expresada en pies y A es el área transversal del interior del horno (dentro del refractario) expresada en pies cuadrados.

Utilizando ésta ecuación se pueden obtener las dimensiones de un horno capás de producir las treinta toneladas diarias. Para aplicarla se puede hacer una consideración basada en datos de los fabricantes de éste tipo de equipo y es que la relación del área transversal a la longitud del horno es de: 1 pie / 4.5 pies aproximadamente. (Existe por lo tanto también una relación del diámetro a la longitud de 1 a 8 aproximadamente.

Teniendo que la capacidad requerida es de 30 toneladas diarias y que  $L = 4.5A$  se puede proceder a resolver la ecuación:

$$30 = (1/3 \times 4.5 A + 40) A \times 0.032$$

$$30 + 0.048A^2 + 1.28A$$

$$\text{Por lo tanto } A = 8.5 \text{ ft}^2$$

$$L = 4.5 \times 8.5 = 38.25 \text{ ft.}$$

$$\text{Radio} = 2.4 \text{ ft. por lo tanto el diámetro} = 4.8 \text{ ft.}$$

Las dimensiones que resultan de éstos cálculos serán las de un horno de unos cinco pies de diámetro interior por unos cuarenta pies de largo.

Los fabricantes de éstos hornos los tienen contruídos de diversas capacidades para llenar los requisitos de producción que se les pidan.

Estos hornos pueden usar como combustible chapopote, el cual se quema en un quemador de chapopote.

Las pérdidas principales de calor en un horno son por:

- 1) Calor perdido en los gases de combustión.
- 2) Calor perdido en el producto final.
- 3) Calor perdido por radiación.

**DIFERENTES ZONAS DEL HORNO.**— Dentro de la longitud total del horno se pueden considerar tres zonas principales clasificadas de la manera siguiente partiendo del extremo de la alimentación.

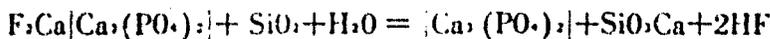
Primera zona: o zona de deshidratación ya que en ella se le quita la mayor parte de humedad a la carga. Tiene aproximadamente diez pies de longitud y una temperatura de 1200 grados F.

Segunda zona: de calcinación: o desfluoración siendo donde se lleva a cabo la separación del F:Ca de la roca, y el desprendimiento consiguiente del Fluor en forma de ácido fluorhídrico. Es la zona de mayor longitud ya que ella mide aproximadamente 15 pies de longitud y tiene una temperatura de 2,700 grados F.

Tercera zona llamada también zona de enfriamiento donde se efectúa el apagado del material por medio de inyectores de agua produciéndose vapor de agua necesario para que la desfluoración sea más efectiva. Esta es la zona más caliente ya que la temperatura alcanza los 2,800 grados F.

#### e) CALCULOS ESTEQUIOMETRICOS EN EL HORNO DE CALCINACION.

Reacción general:

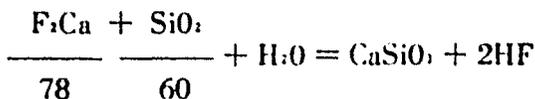


En esta reacción se utilizará un exceso de 35% de arena y 10% de agua del valor teórico.

Base: 2 toneladas de roca de 2,000 lbs.

#### CALCULO DE REACTANTES:

1.— Calculo de la arena de 90% de pureza.

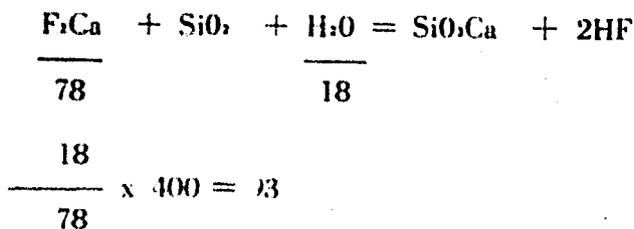


60

$$\frac{\text{---}}{78} \times 400 = 308 \text{ lbs de arnea de } 100\% \text{ de pureza} \\ = 342 \text{ lbs de } 90\%.$$

Con un exceso de 35%: 460 lbs de arena.

2.— Calculo del agua necesaria.

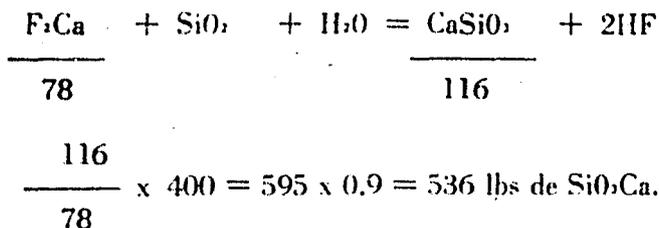


Con un exceso de 10%: 102 lbs de agua.

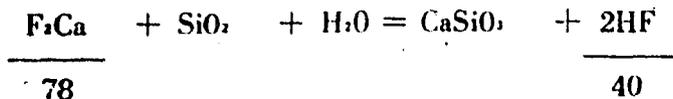
### CALCULO DE PRODUCTOS.

Rendimiento teórico de reacción: 90%.

1.— Calculo del CaSiO<sub>2</sub> formado:



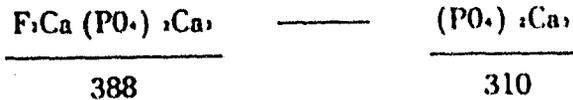
2.— Calculo de HF formado:



$$\frac{40}{78} \times 400 = 205$$

$$205 \times 0.9 = 185 \text{ lbs de HF}$$

3.— Calculo del fosfato tricálcico formado:

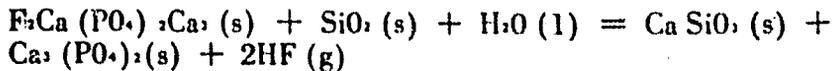


$$\frac{310}{388} \times 400 = 3196$$

$$3196 \times 0.9 = 2880 \text{ lbs.}$$

### CALCULO DEL CALOR ESTANDAR DE REACCION PARA LA CARGA COMPLETA DEL HORNO.

Reacción:



Calores de formación:

Del $\text{F}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_2(\text{s})$ .....	Qf = 1275000 cal/gr. mol.
$\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2(\text{s})$ .....	" = 982000 "
$\text{CaSiO}_3(\text{s})$ .....	" = 375000 "
$\text{SiO}_2(\text{s})$ .....	Qf = 201,000 cal/gr. mol.
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .....	" = 68,310 "
$\text{HF}(\text{g})$ .....	" = 64,000 "

Sustituyendo en la ecuación química:

$$-1,275,000 - 201,000 - 68,310 = - 982,000$$

$$- 375,000 - 2 \times 64,000 + Q_{11}$$

Resolviendo la ecuación para  $Q_{11}$ :

$$Q_{11} = 59,310 \text{ cal/gr. mol} = 106,758 \text{ Btu/lb mol.}$$

### CALCULO DEL COMBUSTIBLE NECESARIO PARA TRABAJAR EL HORNO.

Se usará chapopote de Petroleos Mexicanos como combustible quemándose atomizado por aire a alta presión.

Un análisis físico del combustible chapopote de Petroleos Mexicanos, es el siguiente:

Peso específico 20/4 grados C . . . . .	0.937
Grados A. P. I. 60/60—grados F . . . . .	18.9
Temperatura de inflamación P. M. C. . . . .	118 grados C
Temperatura de ignición . . . . .	139 grados C
Viscosidad S. U. a 37.8 grados C . . . . .	855 segundos
Viscosidad S. F. . . . .	47.5 "
Color N. P. A. . . . .	negro
Agua y sedimento, % en volumen . . . . .	0.1 %
Poder calorífico . . . . .	10,556 cal/gr.
Poder calorífico . . . . .	19,006 Btu/lb-mol.

De datos proporcionados por la práctica para una carga de dos toneladas de mineral es útil un horno de 12 mts. de largo y 1.80 mts de diámetro. Teniendo una cubierta en la parte externa de hierro fundido de 2" de gruesa y forrada en su parte interior con ladrillo refractario de 9 x 5 x 4 pulgadas.

**CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA INTERFASE ENTRE EL LADRILLO REFRACTORIO Y LA CUBIERTA DE HIERRO.**

Conductibilidad térmica del refractario: .....	0.8
Conductibilidad térmica del Fe fundido .....	27.6
Calor específico del hierro fundido .....	0.11

Calculo de las correspondientes resistencias térmicas considerando un pie cuadrado de pared.

$$\text{Resistencia térmica del refractario: } R_1 = \frac{L}{k A} = \frac{4/12}{0.08} =$$

4.166

$$\text{Resistencia térmica del hierro } R_2 = \frac{L}{K A} = \frac{2/12}{27.6} = 0.006$$

$$\text{Resistencia total } R_t = R_1 + R_2 = 4.172$$

Temperatura interna del horno: 2,700 grados F.

" externa media: 210 grados F.

Superficie externa del  
horno:  $3.14 \times 12 \times 1.80 = 67.5 \text{ mts}^2$ .

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T} = \frac{R_1}{R_t} \quad \Delta T_1 = \Delta T \frac{R_1}{R_t} = (2,700 - 210) \frac{4.166}{4.172}$$

$$T_1 = 2,480 \text{ grados F.}$$

Temperatura en la interfase:  $2,700 - 2,480 = 220 \text{ grados F.}$

## CALCULO DEL CALOR TOTAL NECESITADO POR EL HORNO PARA LA OPERACION INICIAL.

1.— Calor necesario para calentar la cubierta y el refractario.

Kilos de ladrillo refractario = 7,960 = 17,500 lbs.

Kilos de hierro de fundición = 6,290 = 13,880 lbs.

Temperatura inicial = 75 grados F.

$$17,500 \times 0.3 (2,700 - 75) + 13,880 \times 0.11 (220 - 75) = 13961500 \text{ Btu.}$$

2.— Calor necesario para calentar la roca fosforica.

(Calor específico = 0.37 Btu/ lb grado F.)

$$4,000 \times 0.37 (2,700 - 75) = 3,880,000 \text{ Btu.}$$

3.— Calor necesario para calentar la silice:

Calor específico: 0.33 Btu /lb grado F.

$$460 \times 0.33 (2,700 - 75) = 398,480 \text{ Btu.}$$

4. — Calor necesario para calentar el agua de la reacción:

$$\text{Calor sensible} = 102 (212 - 75) = 14,000 \text{ Btu.}$$

$$\text{Calor latente de evaporación} = 102 \times 970.2 = 98,980 \text{ Btu.}$$

$$\text{Calor específico del vapor} = 0.56 (2,700 - 212) \times 102 = 142,215 \text{ Btu.}$$

5.— Calor perdido por conducción a través de la superficie

externa del horno en tres horas que dura el proceso de calcinación.

$$Q_c = \frac{2,700 \times 750 \times 2}{4.172} = 1,341,000 \text{ Btu.}$$

6.— Calor perdido por radiación a través de la superficie del horno durante dos horas.

$$Q_r = 0.173 \times 750 \times 0.8 \left( \frac{460 + 210}{100} \right)^2 - \left( \frac{460 + 110}{100} \right)^2 =$$

298,620 Btu.

7.— Calor perdido por convección. Por la práctica se ha visto que se le puede considerar como la diferencia entre los calores perdidos por conducción y radiación.

$$Q_c = 1,042,380$$

8.— Calor necesario para la reacción:

$$\frac{4000}{388} \times 106,758 = 1,099,607$$

Calor total = 22,276,790 Btu.

$$\text{Petroleo necesario} = \frac{22,276,790}{19,006} = 1,175 \text{ lbs.}$$

Con un margen de seguridad de 45% = 1,710 lbs.

## CALCULO DEL CALOR TOTAL QUE NECESITA EL HORNO PARA LAS OPERACIONES SIGUIENTES.

Aquí se resta el calor necesario para calentar la cubierta y el forro refractario y se añade además el calor necesario para calentar el aire húmedo necesitado por la combustión con un exceso de 30%.

1.—Calor necesario para calentar el aire seco para la combustión.

(Calor específico del aire seco: 0.24 Btu/lb grado F)

$$30,050 \times 0.24 (2,700 - 75) = 19,750,000 \text{ Btu.}$$

2.— Calor necesario para calentar el agua que acompaña al aire de combustión.

Punto de rocío = 49 grados F.

Calor latente = 1,068 Btu lb.

Calor latente total = 1,068 x 243.5 = 259, 600 Btu.

Calor sensible del vapor de agua: (calor específico = 0.56 Btu/lb grado F).

$$243.5 \times 0.56 (2,700 - 75) = 356,580 \text{ Btu.}$$

Calor total necesitado por el horno para operar normalmente = 28,681,470 Btu.

Combustible necesario = 1,510 lbs.

## CALCULO DEL AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTION.

Base: 100 lbs de combustible.

Conforme al análisis del combustible tenemos:

Componente	lbs.	lbs. atomo	o mols.	Lbs de O <sub>2</sub> necesarias.
C	83.6	83.6/12 =	6.96 at.	6.96
H	10.7	10.7/2 =	5.35 mols.	2.675
N	1.0	1.0/28 =	0.005 mols.	-----
S	4.4	4.4/32 =	0.138 at.	0.138
Indeterminados	0.3	0.3/18 =	0.017 mols.	-----
Total lbs mol de O <sub>2</sub> =				9.78

Para 1,710 lbs de combustible necesitamos:

$$\frac{1.710}{100} \times 9.78 = 167.1 \text{ lbs mol de O}_2$$

$$\text{O sean } \frac{167.1}{0.21} = 796.3 \text{ lbs mol de aire.}$$

Usando un 30% en exceso = 1,035 lbs mol de aire seco teniendo el aire una temperatura ambiente de 75 grados F y 40% de humedad.

Por la carta de humedad: humedad molar = 0.013 lbs mol de agua por lb mol de aire.

Humedad total = 1,035 x 0.013 = 13.5 lbs de agua. Siendo por lo tanto: 1,048.5 lbs mol de aire humedo.

### CALCULO DE LOS GASES QUE SALEN DEL HORNO Y SU COMPOSICION.

Se supone que el 95% del carbón se quema a CO<sub>2</sub> y un 5%

a CO usando 30% de aire en exceso. Se considerará también que todo el hidrógeno es convertido a agua.

$$O_2 \text{ necesario para la combustión} = 9.78 \text{ lbs mol.}$$

$$\text{Actual exceso de } O_2 = 0.3 \times 9.78 = 2.934 \text{ lbs mol.}$$

$$O_2 \text{ sin quemar a } CO_2 = 0.05 \times 6.96/2 = 0.174 \text{ lbs mol.}$$

$$O_2 \text{ total} = 3.108 \text{ lbs mol.}$$

$$\text{Con } 30\% \text{ en exceso de aire el } O_2 \text{ usado será} = 9.78 \text{ lbs mol} \times 1.3 = 12.714 \text{ lbs mol.}$$

$$N_2 \text{ correspondiente} = 12.714 \times \frac{79}{21} = 47.8 \text{ lbs mol.}$$

Gas	mols	mols totales
CO <sub>2</sub> del combustible: = 6.96 x 0.95 = 6.618		113.5
CO = 6.96 x 0.05 = 0.349		5.96
O <sub>2</sub> sin reaccionar = 3.108		53.3
SO <sub>2</sub> = 0.138		2.36
N <sub>2</sub> del combustible = 0.005		0.085
N <sub>2</sub> del aire = 47.8		817.1
Total de gases combustibles secos =		992.305

Gas	mols.	mols totales
Agua de la reacción		5.7
Agua en el aire		13.5
Agua de la combustión	5.35	91.5
Total gases =		1,103.005

COMPOSICION DE LOS GASES DE TIRO

% en volumen

CO <sub>2</sub>	$113.5/992.3 \times 100 =$	11.44
CO	$5.96/992.3 \times 100 =$	0.6
O <sub>2</sub>	$53.3/992.3 \times 100 =$	5.38
SO <sub>2</sub>	$2.36/992.3 \times 100 =$	0.23
N <sub>2</sub>	$817.18/992.3 \times 100 =$	82.35

CALCULO DE LA ALTURA Y DIAMETRO DE LA CHIMENEA QUE REQUIERE EL HORNO.

La fórmula para encontrar la altura teórica de la chimenea es la siguiente, despreciándose la resistencia de los gases.

$$H_t = \frac{h}{\frac{W_o}{T_o} - \frac{W_1}{T_1}}$$

H<sub>t</sub> = altura teórica de la chimenea sobre el nivel del suelo.

h = presión en pulgadas de agua en la base.

W<sub>o</sub> = peso de un pie cúbico de aire a la presión y temp. locales.

T<sub>o</sub> = temperatura absoluta de los gases fuera de la chimenea:

75 + 460 = 535 grados R.

W<sub>1</sub> = peso de un pie cúbico de los gases a la temperatura T<sub>1</sub> y a la presión local.

T<sub>1</sub> = temperatura absoluta de los gases dentro de la chimenea.

$$700 + 460 = 1160 \text{ grados R.}$$

Presión barométrica local = 25" de Hg.

El peso de un pie cúbico de aire a 535 grados R y 25" de Hg = 0.0629 lbs por pie cúbico.

El peso de un pie cúbico de la mezcla de gases a 1160 grados R y 25" de Hg es el siguiente:

Base: 1 lb-mol de la mezcla.

$$\text{CO}_2 = 0.1144 \quad \text{lbs mol} \times 44 = 5.05 \text{ lbs.}$$

$$\text{CO} = 0.006 \quad \text{lbs mol} \times 28 = 0.168 \text{ lbs.}$$

$$\text{O}_2 = 0.00538 \quad \text{lbs mol} \times 32 = 1.721 \text{ lbs.}$$

$$\text{SO}_2 = 0.0023 \quad \text{lbs mol} \times 64 = 0.147 \text{ lbs.}$$

$$\text{N}_2 = 0.8235 \quad \text{lbs mol} \times 28 = 23.062 \text{ lbs.}$$

$$\text{Peso de una lb-mol} = 30.148 \text{ lbs.}$$

Volúmen a 25" y 1,160 grados R

$$= 359 \frac{29.92 \times 1,160}{25 \times 492} = 1,010 \text{ ft}^3$$

Peso de un pie cúbico de la mezcla

$$= \frac{30.148}{1,010} = 0.0298 \text{ lbs/pie}^3$$

La diferencia entre el peso específico del aire y el peso específico de los gases a la presión y temperatura especificada corresponderá la intensidad del tiro.

$$\text{Por lo tanto: tiro} = 0.0628 - 0.0298 = 0.0330 \text{ lb/pie}^3$$

Para convertir a pulgadas de agua se multiplica el tiro por el siguiente factor:  $0.033 \times 0.192 = 0.00623$ " de agua por pie; que viene a ser igual a un tiro de: 0.623" de agua.

Sustituyendo en la fórmula tenemos:

$$H_t = \frac{0.623}{\frac{0.0628}{535} + \frac{0.0328}{1160}} = 80 \text{ pies}$$

**CALCULO DE LA ALTURA Y DIAMETRO DE LA CHIMENEA TOMANDO EN CUENTA LA FRICCIÓN DE LOS GASES.**

$$H_e = H_t \frac{h_1 - h_2}{h_1}$$

$h_1$  = caída de presión en la base de la chimenea en pulgadas de agua = 0.623"

$h_2$  = pérdidas por fricción de los gases a una velocidad dada.

Calculo de  $h_2$  mediante la siguiente ecuación:

$h_2 = 0.00036 \times V^2$  donde  $V$  = a velocidad de los gases en ft/seg.

= 25 piés por segundo.

$$h_2 = 0.00036 (25)^2 = 0.225$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$H_e = 100 \text{ piés.}$$

**CALCULO DEL DIAMETRO DE LA CHIMENEA.**

$$\text{De la fórmula: } D = 0.288 \sqrt{\frac{W T_c}{Bo W_c V}}$$

D = diámetro interno mínimo en piés.

W = cantidad de gases que pasan por segundo:

$$\frac{1,103 \times 30.148}{3 \times 60 \times 60} = 3.1 \text{ lbs/seg.}$$

Tc = temperatura absoluta de los gases = 1,160 grados R.

Wc = peso de un pie cúbico de los gases de chimenea a 0 grados y a 30" de Hg = 0.09 lbs/pie<sup>3</sup>.

Bo = presión barométrica local = 25" de Hg.

V = velocidad de los gases en piés por segundo = 25

$$D = 0.288 \sqrt{\frac{3.1 \times 1,160}{25 \times 0.09 \times 28}} = 2.5 \text{ piés.}$$

### BALANCE DE CALOR.

Calor que entra al horno. (Temperatura de referencia 70 grados F)

1.— Poder calorífico del combustible:

$$1,510 \times 19,006 = 28,751,900 \text{ Btu.}$$

2.— Contenido de calor del combustible. (Calor específico del combustible = 0.157 Btu/lb grado F.)

$$1,510 \times 0.157 (75 - 70) = 5,730 \text{ Btu.}$$

3.— Contenido de calor del aire seco.

$$1,035 \times 6.96 (75 - 70) = 36,000 \text{ Btu.}$$

4.— Contenido de calor del vapor de agua que acompaña al aire de la combustión.

(Punto de rocío = 51 grados F; calor latente de vaporización a esta temperatura = 1,062 Btu/lb grado F = 19,120 Btu/lb mol).

$$13.5 \left| \begin{array}{l} \times 9.36 (75 - 51) + 19,120 - 18 \\ (70 - 51)^{\dagger} \end{array} \right. = 258,000 \text{ Btu.}$$

Calor total que entra al horno = 28,812,370 Btu.

#### CALOR QUE SALE DEL HORNO.

1.— Calor contenido en el  $\text{CaSiO}_3$ .

(Calor específico = 0.28 Btu/lb grado F).

$$536 \times 0.28 (2,700 - 70) = 3,941,500 \text{ Btu.}$$

2.— Calor contenido en el  $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$ .

(Calor específico = 0.361 Btu/lb grado F).

$$2,880 \times 0.361 (2,700 - 70) = 3,739,196 \text{ Btu.}$$

3.— Calor contenido en el HF.

(Calor específico = 0.36 Btu/lb grado F).

$$185 \times 0.36 (2,700 - 70) = 175,000 \text{ Btu.}$$

4.— Poder calorífico de los gases de tiro.

Poder calorífico del CO = 67,620 calorías/gramo mol.

$$67,620 \times 1.8 \times 5.96 = 726,110 \text{ Btu.}$$

5.— Calor contenido en los gases de tiro secos.

Temperatura de los gases de salida = 700 grados F.

Las capacidades caloríficas medias siguientes son tomadas entre las temperaturas de 70 y 700 grados F.

Calor contenido en el  $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$ :

(Calor específico = 9.7 Btu/lb mol grado F).

$$(113.5 + 2.36) \times 9.7 (700 - 70) = 707,950 \text{ Btu.}$$

Calor contenido en el  $\text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}$

(Calor específico = 7.03 Btu/lb mol grado F).

$$(817.18 + 5.96 + 53.3) \times 7.03 (700 - 70) = 6,880,000 \text{ Btu.}$$

6.— Calor contenido en el vapor de agua de los gases.

$$\text{Humedad molal} = \frac{110.7}{1103} = 0.1 \text{ lb mol de agua.}$$

Punto de rocío = 120 grados F; calor latente de vaporización a esta temperatura: 18,450 Btu/lb-mol.

a) Calor del líquido:  $110.7 (120 - 70) \times 18 = 99,800 \text{ Btu.}$

b) Calor latente de vaporización:

$$110.7 \times 18,450 = 2,042,000 \text{ Btu.}$$

c) Sobrecalentamiento =  $110.7 (700 - 120) \times 18$   
 = 2,160,000 Btu.

7.— Calor necesario para mantener la temperatura de la reacción = 1,999,600 Btu.

Pérdidas por radiación etc. = 6,341,210 Btu.  
 Total = 28,812,370 Btu.

### BALANCE DE MATERIALES.

Base: 2 horas; tiempo de duración del proceso.

Entrada		Salida
Roca	4,000 lbs	Ca SiO <sub>3</sub> : 536 lbs
SiO <sub>2</sub>	460 "	HF: 185 "
H <sub>2</sub> O	102 "	(PO <sub>4</sub> ):Ca: 2880 "
Petroleo	1,510 "	Gases de tiro: 29914 "
Aire de combustión	30,090 "	Impurezas 2547 "
	36,162 lbs.	36,162 lbs.

## CARACTERISTICAS DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA PLANTA.

### a) CONSIDERACIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE HORNOS ROTATORIOS.

El horno rotatorio trabaja bajo ciertas condiciones particulares que conviene mencionar y así quizá a ayudar a comprender los factores básicos y fundamentales, consideraciones que pueden traer como consecuencia un aumento en la capacidad, mayor eficiencia y aún una mejoría en la calidad del producto.

En el horno rotatorio la transmisión de calor se efectúa principalmente por radiación de la flama y de las paredes calientes a la carga. En los hornos rotatorios se pueden considerar dos corriente de gases, la superior es la más caliente y la inferior la más fría. Al principio, o sea inmediatamente después de la flama, el flujo de los gases es turbulento pero después se estratifica; la corriente fría se desliza sobre la superficie de la carga y la superior caliente fluye a mayor velocidad. Esto se comprueba efectuando análisis en el extremo de alimentación del horno donde se puede ver que la región interior contiene más CO<sub>2</sub> que ha sido acarreado desde la zona de fuego.

Como se ha dicho, el horno rotatorio tiende a estratificar los gases y esto sucede después de los primeros diez pies de la entrada del combustible y aún en la zona de fuego; la turbulencia tan necesaria para transmitir calor por convección en grandes cantidades es tan pequeña que es dudoso si la transmisión por éste medio sea mayor de  $5 \text{ Btu/Ft}^2 \times \text{hr.} \times \text{Grado F.}$  Como ya se indicó, la mayor parte del calor se transmite por radiación de la flama a la carga, o de la flama al ladrillo refractario y de ahí a la carga. Por lo tanto es evidente que debe tratarse de obtener una flama con la

máxima luminosidad y junto con esto la máxima temperatura. Una llama luminosa, larga y caliente, con poco humo es preferible. Más de la mitad del calor se transmite como luz y por lo tanto la luminosidad es tan importante. El calor radiado a las paredes del horno no es tan grande por unidad de superficie como el que se radia a la carga, debido a que las paredes están a temperaturas más altas; pero ya que hay mayor superficie de pared que de carga, la proporción que recibe la primera es considerable.

Una parte del calor recibido por las paredes será conducido por el ladrillo y la cubierta de acero, y se perderá. Otra parte será radiada a la carga pero este flujo es obtenido por la flama y los gases y una pequeña parte se pasará a la carga por conducción al rodar por la superficie caliente del horno.

### BALANCE Y FLUJO DE MATERIAL.

El flujo de la carga a través del horno rotatorio es proporcional a su inclinación. Si la pendiente se duplica el tiempo de translación o pasaje será la mitad, cuando las demás condiciones sean constantes; aunque el flujo del material no depende propiamente de la pendiente del horno sino de la pendiente de la superficie de la carga.

El tiempo de translación es inversamente proporcional a la velocidad de rotación, así que un flujo inmoderado debido a una fuerte pendiente se puede controlar disminuyendo la velocidad. También se puede controlar el flujo poniendo un retén y así disminuir la pendiente de la carga. También el tiempo de translación es proporcional al diámetro del horno. Para un horno de 9 pies el tiempo sería 50% menor que para un de 6 pies, para una pendiente y velocidad de rotación dadas. Además es proporcional a la longitud del horno si la velocidad y la pendiente son las mismas.

La proporción de alimentación no tiene efecto en el tiempo de translación si el horno está lleno, pero sí lo tiene sobre la carga y descarga que es proporcional a la alimentación.

Para facilitar la determinación de la producción óptima de un horno rotatorio el U. S. Bureau of Mines, por medio de relaciones empíricas, ha proporcionado datos sobre la velocidad de translación de material a través de tubos rotatorios inclinados.

En este trabajo la relación para un flujo sin obstrucciones

$$\text{en el tubo es de } t = \frac{1.77 \times L \times \sqrt{\theta}}{p \times d \times n}$$

en donde "t" es tiempo de translación en minutos; "L" es la longitud del horno en pies; " $\theta$ " es el ángulo de reposo del material de carga en grados; "p" es el ángulo de inclinación del horno en grados; "d" es el diámetro interior del horno en pies y "n" es el número de revoluciones por minuto del horno.

En nuestro caso se tienen los siguientes datos:

$$L = 40 \text{ ft.}$$

$$d = 5 \text{ ft.}$$

$$\theta = 55 \text{ grados.}$$

$$n = 0.7$$

$$P = 1.5 \text{ grados.}$$

$$t = \frac{1.77 \times 40 \times \sqrt{55}}{1.5 \times 5 \times 0.7} = 100 \text{ minutos}$$

$$t = 1 \text{ hora } 40 \text{ minutos.}$$

Por observaciones prácticas se había calculado que el tiempo de pasaje era de cerca de dos horas, que como se ve es un dato muy cercano al valor obtenido por medio de la fórmula.

Sin embargo, la fórmula anterior no es suficiente para proporcionar datos sobre la producción. Por lo tanto para obtener resultados en términos de peso por hora, hay que introducir los factores de cantidad de material.

En el balance de material que ya quedó cubierto en el capítulo anterior se calcula ahí la relación, de roca a producto calcinado, igualmente se calcula la cantidad de combustible y aire necesario. A partir de éstos datos se puede proseguir a calcular los requisitos para el resto del equipo.

**QUEMADOR.** Se escoge del tipo de combustible atomizado por aire a alta presión. El aire entra al quemador a una presión

de 30 a 40 libras por pulgada cuadrada, variándose la presión según se quiera alargar o cortar la longitud de la llama, para situarla en una u otra de las zonas del horno. El aire se introduce por medio de un compresor. El petróleo se almacena en un tanque apropiado, construido de preferencia de concreto y de ahí se manda al quemador por medio de una bomba con una capacidad necesaria para manejar: 1,510 libras por dos horas = 755 libras por hora

$$\text{ra} = 339.7 \text{ kilos por hora} = \frac{339.7}{0.937} = 360 \text{ litros por hora de petróleo.}$$

**COMPRESOR.** Se escoge del tipo rotatorio con una capacidad de.

$$1048.5 \times 359 \times \frac{14.7}{40} \times \frac{535}{492} = 150,185 \text{ pies cúbicos}$$

por dos horas, o sean 1,250 pies cúbicos por minuto con una presión de 40 libras por pulgada cuadrada.

**TOLVA ALIMENTADORA.** Otra de las unidades de equipo necesario para el buen funcionamiento del horno es una tolva alimentadora. Esta estará situada en el extremo de alimentación del horno y a una altura adecuada, lo suficiente para colocar el alimentador regulable. La tolva será de fondo cónico y la única condición que la gobierna es que debe ser lo suficientemente grande para poder almacenar una cantidad de roca y arena con que se pueda alimentar el horno por lo menos durante ocho horas. La razón de ésto es de que en el caso de una descompostura en el sistema de transporte de materia prima, no haya necesidad de detener la marcha del horno. Como se van a introducir unas 27 toneladas diarias, en 8 horas se introducirán 9 toneladas de material.

El lodo de roca y arena tiene una densidad aproximada de 90 libras por pie cúbico, y por lo tanto el volumen de la tolva deberá ser de:

$$\frac{9 \times 2000}{90} = 200 \text{ pies cúbicos.}$$

Una tolva de las siguientes dimensiones: sección cilíndrica: diámetro seis pies; altura 6 pies.

Sección cónica: diámetro mayor seis pies; diámetro menor dos pies y altura 4 pies, tiene un volumen de 220 pies cúbicos y que llena los requisitos para la tolva que se necesita.

**MOLINOS.** El mineral que va a ser tratado por día igual a 54,000 libras =  $54,000/12 = 4,500$  libras por dos horas. El mineral va a ser reducido de media a una pulgada de diámetro a polvo fino de 200 mallas.

Esta molienda se lleva a cabo en un molino de bolas cónico. Los molinos que se encontraron ser los más apropiados fueron los molinos de bolas cónicos Hardinge que tienen las siguientes características:

Tamaño del molino en pulgadas . . . . .	4.5 ft x 24 pulg.
Peso aproximado del molino en libras	8,100
Peso aproximado del forro en libras	5,400
Peso aproximado de las bolas en lbs.	4,500
Velocidad en rpm	28

HP requeridos . . . . .	25
Capacidad en toneladas con un alimento de 3/4" de diámetro y con un producto de 200 mallas . . . . .	36

Luego el molino deberá trabajar:  
 $24 \times 27/36 = 18$  horas

**TANQUE MEZCLADOR.** Según el balance de materiales entran cada 24 horas 27 toneladas de una densidad promedia de 90 libras por pie cúbico o sean:

$27 \times 2000/90 = 600$  pies cúbicos.  
 Como se va a operar tres veces al día los pies cúbicos por operación serán la tercera parte, y entonces la capacidad del tanque será  $600/3 = 200$  ft<sup>3</sup>

El tanque será un cilindro que tendrá las siguientes dimensiones: 6 pies de diámetro y 10 pies de altura.

Los HP necesarios para mover un agitador de paletas se obtienen por la siguiente fórmula:

$$HP = 0.0001291 V^{0.72} \times N^{0.14} \times N^{2.86} \times D^{1.1} \times W^{0.3} \times H^{0.6} \times P^{0.86}$$

**Donde:** L = longitud de las paletas en pies = 4  
 V = viscosidad del líquido en libras/pie<sup>2</sup> x seg = 0.018  
 P = densidad en libras por pie<sup>3</sup> = 90  
 N = revoluciones por segundo = 1  
 D = diámetro del tanque en pies = 6  
 W = anchura de las paletas en pies = 3 x 0.5 = 1.5  
 H = altura del líquido en pies = 7

De donde HP = 4.5 potencia necesaria para mover el agitador. Tomaremos 5 HP considerando las pérdidas en las transmisiones etc.

**BOMBAS PARA ALIMENTACION DE LODOS.** Suponiendo que la altura a que debemos elevar el lodo para llenar los tanques sea de 3 metros y que la tubería tenga dos codos de 90 grados; que el gasto de la bomba sea de 200 libras por minuto y empleando una tubería de dos pulgadas que en este caso será la más conveniente, el cálculo de la bomba será:

Densidad de los lodos = 90 libras por pie cúbico.

Gasto en masa = 200/60 = 3.33 libras por segundo.

Gasto en volumen = 3.33/90 = 0.037 pies cúbicos por segundo.

Velocidad del lodo a la salida:

$0.037 \times 144/3.355 = 1.68$  pies por segundo.

Diámetro dos pulgadas = 2.068/12 = 0.172 pies.

P = viscosidad del lodo = 0.018 libras/pie por segundo.

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \times d \times P}{U} = \frac{1.68 \times 0.172 \times 90}{0.018} = 1450$$

Factor de Fanning = 0.015

Para tubos de dos pulgadas se tiene la siguiente relación:

$Ne/D = 30$  en la que  $Ne$  es el equivalente ficticio de tubo recto y  $D$  es el diámetro del tubo  $Ne = 30 \times 0.172$  Como son dos codos de 90 grados, la longitud equivalente es de:

$$2 \times 30 \times 0.172 = 10.32$$

La longitud equivalente total es de:

$$3.28 \times 3 + 10.32 = 20.16 \text{ ft.}$$

La pérdida de presión será

$$\frac{2 \times f \times v^3}{K \times D} \text{ por ft.}$$

$$\frac{2 \times 0.015 \times 2.84}{32.2 \times 0.172} \times 20.16 = 0.26 \text{ ft por libra/lb.}$$

Si la diferencia de niveles es de 10 ft.

$$10 + 0.26 = 10.26 \text{ ft.}$$

Potencia de la bomba:  $\frac{10.26 \times 3.33 = 0.125}{550 \times 0.5}$

Características de la bomba:

Tipo	centrífuga - succión sencilla.
Acoplamiento	directo con el motor
Número de rpm	1425 a 1725
Potencia del motor	1/4 de HP
Número de ciclos	50-60

Material de construcción Acero Lukens (aleación de Fe, y C y Mn, resistente a la abrasión)

### 3) BALANCE ECONOMICO.

Los gastos de sostenimiento de la planta se calculan a partir del costo del equipo y del costo de su instalación.

#### COSTO DEL EQUIPO.

1 HORNO ROTATORIO CONTINUO. diámetro 6 pies; largo 40 pies, completo con motor eléctrico de 25 HP, quemador, chimenea y accesorios .....	\$180,000.00
1 CUBA para lodos de descarga del molino de una capacidad de 500 lts .....	400.00
2 MOLINO DE BOLAS CONICO "HARDINGE MILLS" de 4.5 pies x 24 pulgadas, con motor eléctrico de 25 HP completo con accesorios.....	80,000.00
3 TANQUE MEZCLADOR DE LODOS con una capacidad de 200 pies cúbicos; diámetro 6 pies, altura 10 pies .....	6,000.00
3 MOTOR DE 5 HP para agitador del tanque mezclador .....	4,500.00
3 BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL conectada directamente con su motor eléctrico de 1/4 HP....	1,650.00
1 TOLVA ALIMENTADORA con una capacidad de 220 pies cúbicos; diámetro sección cilíndrica 6 pies; altura 6 pies; diámetro mayor sección conica 6 pies; diámetro menor 2 pies; altura 4 pies .....	3,000.00
1 COMPRESOR ROTATORIO con una capacidad de 1,250 pies cúbicos por minuto .....	8,000.00
1 TANQUE DE CONCRETO para almacenar combustible con capacidad de 20,000 lts .....	3,000.00
Pasa a la vuelta	<hr/> \$286,550.00

De la vuelta	\$286,550.00
Un tanque para almacenar agua con una capacidad de 10,000 lts, construido de lámina de hierro sobre estructura de hierro de 10 mts de altura	12,000.00
1 BASCULA TOLEDO con una capacidad para 1,000 kgr.	2,000.00
TUBERIA Y CODOS	2,000.00
<b>SUMA</b>	<u>\$302,550.00</u>

**GASTOS DE INSTALACION.**

Se considera el 10% del costo de adquisición	30,2550..
<b>COSTO TOTAL INICIAL</b>	<u>\$337,805.00</u>

**COSTO DEL EDIFICIO.**

TERRENO 2,000 mts. cuadrados a \$5.00 metro cuadrado	10,000.00
CONSTRUCCION 400 mts. cuadrados a \$50.00 metro cuadrado	20,000.00
OFICINAS 100 mts. cuadrados a \$85.00 metro cuadrado	8,500.00
<b>1) COSTO DEL EQUIPO, EDIFICIO Y TERRENO</b>	<b>373,305.00</b>
<b>2) COSTOS DE LA MATERIA PRIMA Y ENERGIA (por día).</b>	
24 toneladas de roca a \$8.00 tonelada puesta en la fábrica	192.00
2,260 kgrs. de arena a \$0.08 kgr.	180.70
<b>Pasa a la vuelta</b>	<u>\$372.80</u>

De la vuelta .....	\$372.80
8,850 lts de petroleo combustible a \$0.055 lt .....	485.00
630 lts de agua a \$0.25 metro cúbico .....	0.15
72 KWH a \$0.10 KWII .....	7.20
1,000 sacos de papel grueso para empaque a \$0.17 cada uno .....	170.00
	<hr/>
	\$1,935.15

### 3) REPARACIONES.

Un 5% sobre los costos de adquisición (diario .....	40.00
4) MANO DE OBRA (por día).	
1 Ingeniero Químico .....	40.00
3 Jefe de operación (uno por turno) .....	75.00
15 operarios a \$12.00 .....	180.00
24 obreros a \$6.00 .....	144.00
1 contador .....	25.00
2 oficinistas a \$10.00 cada uno .....	20.00
	<hr/>
	\$484.00

### 5) CAPITAL DE RESERVA PARA UN MES.

Materias primas .....	31,050.00
Mano de obra .....	14,520.00
	<hr/>
	\$45,570.00

Con lo que el capital total invertido viene a ser:

Equipo e instalación .....	337,805.00
Terreno y edificio .....	38,500.00
Capital para operar un mes .....	45,570.00
	<hr/>
CAPITAL TOTAL INVERTIDO	\$421,875.00

6) GASTOS FIJOS.

a) Amortización del capital: —

Se calcula mediante:

$$a = \frac{(C_i - C_f) i}{(1 - i)^n - 1}$$

a = amortización.

C<sub>i</sub> = costo inicial del equipo.

C<sub>f</sub> = costo final del equipo.

i = interés (6% anual).

n = número de años de duración del equipo. (10 años).

El valor de C<sub>f</sub> lo obtenemos mediante:

$$C_f = \left( \frac{100 - d}{100} \right)^n C_i$$

d = % depreciación anual (10%)

$$C_f = \left( \frac{100 - 10}{100} \right)^{10} \times 337,805.00 = \$117,332.00$$

$$a = \frac{(337,805 - 117,332) \times 0.06}{(1 - 0.06)^{10} - 1} = \$28,512.00$$

Considerando 365 días de trabajo:

28,512/365 = (diarios) ..... 78.00

b) Intereses:

Se considera el 6% anual sobre capital invertido  
(diario) ..... 69.50

c) Seguros: (incendio, accidentes) 0.5% anual (diarios) .....	5.80
d) Seguro Social:	
1) 1.5% sobre costo de labor (diarios) .....	7.26
Haciendo un resumen para tener los gastos diarios totales:	
1) Como gastos de operación a:	
Materia prima y energía .....	\$1,035.15
Reparaciones .....	40.00
Mano de obra .....	484.00
2) Como gastos fijos:	
Amortización .....	78.00
Intereses .....	69.50
Seguros .....	5.80
Seguro social .....	7.26
<b>GASTOS DIARIOS TOTALES</b> .....	<b>\$1,719.56</b>

Precio de producción del producto:

$$\frac{\$1,719.56}{27} = \$63.60 \text{ la tonelada.}$$

Considerando un precio de venta de \$100.00 ton.

Utilidad diaria:  $27 \times 35.4 = \$955.80$

Utilidad anual:  $\$955.80 \times 365 = \$348,867.00$

o sea:

$$\frac{348,867}{421,875} \times 100 = 82.7\% \text{ sobre el capital invertido.}$$

## CAPITULO V.

### CONCLUSIONES.

El contenido de fósforo de la roca fosforítica puede aprovecharse para la nutrición de las plantas y animales, después de quitarle el fluor que lo impurifica.

La producción del fertilizante por desfluoración, tiene varias ventajas sobre otros procesos. Ya que el producto es insoluble en el agua, y por tanto no higroscópico, puede ser almacenado a la intemperie y embarcado a granel en carros abiertos. Puede envasarse en bolsas de papel baratas para facilitar su manejo. El producto es más concentrado que el superfosfato ordinario, y en México se puede producir a más bajo costo que en Estados Unidos por ser la mano de obra más barata.

No hay razón por tanto para importar este producto ya que tenemos yacimientos de la materia prima en el país. Uno de estos yacimientos está muy próximo a la ciudad de Monterrey por lo que no habría problema en lo que se refiere a la extracción y transporte de la roca, así como para la distribución del producto elaborado.

## CAPITULO VI.

### BIBLIOGRAFIA.

BADGER, W.L. and McCabe.  
"Elements of Chemical Engineering".  
McGraw-Hill Book Co.  
1936 2nd Edition.

HOUGEN, O.A. and K.M. WATSON.  
"Industrial Chemical Calculations".  
John Wiley and Sons, Inc.  
1936. 2nd Edition.

PERRY, J. H.  
"Chemical Engineering Handbook".  
McGraw-Hill Book Co., Inc.  
1941. 2nd Edition.

SHREVE, R.N.  
"The Chemical Process Industries".  
McGraw-Hill Co., Inc.  
1945. 1st Edition.

STEINER, L.E.  
"Introduction To Chemical Thermodynamics"  
McGraw-Hill Book Co., Inc.  
1941. 1st Edition.

VILBRANDT, F.C.  
"Chemical Engineering Plant Design".  
McGraw-Hill Co., Inc.  
1942. 2nd Edition.

McADAMS.  
"Heat Transmission".  
McGraw-Hill Book Co., Inc.  
1942 Edition.

STOEVER.  
"Applied Heat Transmission".  
McGraw Hill Book Co., Inc.  
1941 Edition.

TRINKS W.  
"Industrial Furnances".  
John Wiley and Sons.  
Vol. 1. 1934 Edition.

Hand Book of Chemistry and Physics.  
Chemical Rubber Publishing Co.  
1935 Edition.

ADOLFO SISTO VELASCO. LEOPOLDO GUTIERREZ DE  
ZUBIAURRE.  
"Aspecto de la Industria de los Fertilizantes en México".

JENARO GONZALEZ REYNA.  
"RIQUEZA MINERA Y YACIMIENTOS MINERALES DE  
MEXICO".  
Monografías Industriales del Banco de México, S. A.  
Segunda edición 1947.

#### REVISTAS.

CHEMICAL AND METALURGICAL ENGINEERING.  
a. "Process Industries Pictured Flow Sheets".-1945.  
b. "Chart For Estimating Performance and Production Rates in  
Rotay Kilns". Volume 50 No. 8, August. 1943.

INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY.  
a. Vol. 38, No. 12 December 1946.  
b. Vol. 41, No. July 1949.