

DICNE  
\$4,000.00

8 JUN. 1987

### FECHA DE DEVOLUCION

El último sello marca la fecha tope para ser devuelto este libro.

El lector pagará \$20.00 pesos por cada día que pase.

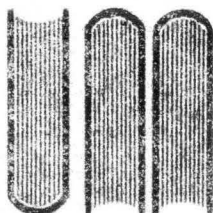
~~11 NOV. 1987~~

~~18 NOV. 1987~~ JA

15 FEB. 1989

# UNIVERSIDAD DE MONTERREY

DIVISION DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



UNIVERSIDAD  
DE MONTERREY

*Clasif.*

040.668

S237a

1987

C. 1

*Título*

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA  
PRODUCTORA DE SUPERFOSFATO SIMPLE

REPORTE DEL PROGRAMA DE EVALUACION FINAL

PRESENTADO POR:

EDUARDO ALBERTO DE LOS SANTOS PEÑA

EN OPCION AL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO ADMINISTRADOR

*Folio*  
900801

MONTERREY, N. L.

MAYO DE 1987

BIBLIOTECA  
UNIVERSIDAD DE MONTERREY

"SOMOS, LOS UNOS PARA LOS  
OTROS, COMO PEREGRINOS QUE  
A LO LARGO DE CAMINOS DI-  
VERSOS, MARCHAMOS HACIA UN  
ENCUENTRO COMÚN."

A. DE SAINT-EXUPÉRY

A MIS PADRES:

SR. HOMERO DE LOS SANTOS GARCIA  
SRA. LILIA PEÑA DE DE LOS SANTOS

A QUIENES DEDICO ESPECIALMENTE ESTE TRABAJO Y LES  
AGRADEZCO SU CONFIANZA Y LOS SACRIFICIOS QUE YO  
LES HAYA OCASIONADO.

A MIS HERMANOS:

MARTHA LAURA DE LOS SANTOS PEÑA  
ING. HOMERO DE LOS SANTOS PEÑA  
ING. SERGIO ARTURO DE LOS SANTOS PEÑA  
LIC. CARLOS JAVIER DE LOS SANTOS PEÑA  
LILIA NORA DE LOS SANTOS PEÑA  
ALEJANDRO ENRIQUE DE LOS SANTOS PEÑA  
ROBERTO ADRIAN DE LOS SANTOS PEÑA

POR SU COOPERACIÓN Y APOYO EN LA REALIZACIÓN DE  
ESTE TRABAJO.

EDUARDO.

eptg



A MIS INVALUABLES AMIGOS:

FRANCISCO. F. CASTAÑEDA R.

BERNARDO J. SALAZAR S.

CARLOS A. MANRIQUE R.

JAIME VARGAS C.

ING. FAUSTO TOMMASI G.

JAVIER VILLARREAL R.

ING. J. ARMANDO RAMOS C.

ERNESTO VILCHIS C.

JORGE M. ARREOLA A.

JUAN M. GONZÁLEZ

JORGE L. JASSO C.

DANIEL VILLARREAL P.

Y JUNTO CON ELLOS A TODOS LOS AMIGOS  
QUE HE HECHO A LARGO DE MI VIDA Y DE  
MI CARRERA.

## AGRADECIMIENTO

A MI ASESOR DE P.E.F. Y DE CARRERA  
ING. RAMIRO GARZA CAVAZOS.

POR SU AYUDA Y DISPOSICIÓN EN EL  
DESARROLLO DE ESTE TRABAJO Y A  
LO LARGO DE MI CARRERA.

A EL ING. EDUARDO AUCES L.  
COORDINADOR DE CARRERA.

POR SU VALIOSA COOPERACIÓN Y  
APOYO EN TODA MI CARRERA.

A TODOS MIS MAESTROS.

POR LOS CONSEJOS Y CONOCI-  
MIENTOS QUE ME DIERON.

"LO IMPORTANTE NO ESTÁ  
EN NO HABER CAIDO NUNCA,  
SINO EN LEVANTARNOS CADA  
VEZ QUE CAEMOS."

JOHANN WOLFGANG VON GOETHE

INDICE

	PÁG.
OBJETIVO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	6
GENERALIDADES.....	9
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	17
BASE DE PRODUCCIÓN.....	24
BALANCE DE MATERIA.....	26
BALANCE DE ENERGÍA.....	43
REQUERIMIENTO DE EQUIPO.....	52
LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	58
DISTRIBUCIÓN DE PLANTA.....	67
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	74
CONCLUSIONES.....	85
APÉNDICE.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	97

## OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es el de desarrollar el anteproyecto para una planta productora de Superfosfato Simple para su uso como fertilizante.

Así como comprobar la factibilidad de una posible inversión en la planta antes mencionada.

## INTRODUCCION



En la actualidad, se están estudiando métodos para incrementar el uso de los fertilizantes en los países en vías de desarrollo, donde el índice de crecimiento de la población es muy alto.

Los expertos en la materia han usado una gran variedad de métodos para estimar la demanda futura para los fertilizantes. Las cantidades estimadas difieren, pero sí hay acuerdo en que el futuro de las <sup>alimentos</sup> necesidades de comida y, por lo tanto, la demanda de fertilizantes continuará creciendo en un futuro previsible.

El crecimiento de la población será la causa principal para el incremento de la demanda en el mundo, pero otra causa importante es la necesidad de mejorar las condiciones de alimentación en el mundo, - especialmente en los países en vías de desarrollo.

La relación comida-fertilizante-población es la razón fundamental que sostiene a la demanda de fertilizantes. Por esta razón, una breve mirada al crecimiento de la población ayudará a entender la gran demanda esperada para los fertilizantes en el futuro.

La materia prima principal para la producción de Superfosfato Simple es la roca fosfórica. Este mineral se encuentra en grandes cantidades en el mundo, incluyendo nuestro país.

Existen varios tipos de fertilizantes; fosfatados, amoniatados, de potasio, etc. El Superfosfato Simple pertenece a los fosfatados, siendo uno de los fertilizantes más sencillos de producir y de los más utilizados.

*Fel. fosl.*

La efectividad de los superfosfatos se mide en base al porcentaje de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) útil o asimilable por las plantas.

(El Superfosfato Simple contiene alrededor de un 20% de pentóxido de fósforo asimilable.)

(El de este porcentaje será el estudiado en el presente anteproyecto.)

Para el desarrollo del anteproyecto de la instalación de una planta productora de Superfosfato Simple se abordarán los siguientes temas:

*Fel. fosl.*

Antecedentes y generalidades de nuestro producto, así como de las materias primas.

Se mostrará una descripción del proceso de producción de Superfosfato Simple, así como es establecimiento de una base de producción.

Se presentarán los cálculos para los balances de materia y de energía.

Se hará el requerimiento de equipo principal.

Se dará a conocer la localización y la distribución de la planta.

Y por último se presentará un análisis económico para establecer la factibilidad de invertir o no en una planta productora de Superfosfato Simple en las condiciones actuales de nuestro país.)

## ANTECEDENTES

El Superfosfato Simple es uno de los fertilizantes más útiles y demandados en la actualidad. Enseguida se presentarán los antecedentes del Superfosfato Simple.

La memoria de Justus von Liebig de 1,840 sobre "La química orgánica en su aplicación a la agricultura y a la fisiología" recomendaba moler los huesos hasta obtener un polvo fino y tratarlo después con ácido sulfúrico o clorhídrico como método práctico para obtener fosfatos en forma fácilmente asimilable por las plantas.

El agricultor inglés Fleming fue el primero en seguir las indicaciones de Liebig. Trató huesos con ácido sulfúrico y vendió el producto - resultante con el nombre de "abono alemán".

En 1,843, sir Joseph Bennet Lawes y sir Joseph Henry Gilbert aparecen como los primeros en tratar el fosfato mineral "coprolita" con ácido sulfúrico. Por esta razón se considera generalmente a Lawes y Gilbert como los fundadores de la industria del superfosfato. La coprolita es el excremento de animales fosilizado que se encuentra en abundancia en Suffolk y Cambridgeshire.

La demanda de fosfatos solubles para la agricultura fue pronto tan grande que la cantidad de huesos disponibles era insuficiente para satisfacerla. La búsqueda de fosfatos reveló grandes cantidades de minerales fosfatados en diversas partes del mundo.

Desde 1,900 hasta la fecha se han descubierto varios yacimientos importantes, algunos de ellos recientemente. Es razonable suponer que se encontrarán más.

La roca fosfórica que se utiliza para la producción de Superfosfato Simple contiene impurezas tales como óxido de magnesio ( $MgO$ ), óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ), dióxido de silicio ( $SiO_2$ ), y algunas trazas de cloro y dióxido de carbono.

El mineral se conoce como apatito, que proviene del griego "apatao" engaño. Antiguamente se le tomaba equivocadamente por otros minerales de aspecto prismático o bacilar (berilo, diópsido, turmalina, etc.).

En la Tabla # 1 del apéndice se presentan las reservas y recursos mundiales de roca fosfórica. Y en la Tabla # 2 se muestran las cantidades necesarias de fertilizante tipo Superfosfato Simple por hectárea de cultivo. (págs. 88 y 89).

## GENERALIDADES

La vegetación, como todas las cosas vivientes, requiere de ciertos alimentos para su supervivencia y crecimiento. Los fertilizantes son materiales que se agregan al suelo, y algunas veces al follaje, para proveer nutrientes para sostener las plantas y ayudar a su abundancia y crecimiento fructífero.

Los elementos que constituyen estos alimentos para las plantas se dividen en tres clases: (1) Primarios; nitrógeno, fósforo (usualmente expresado como  $P_2O_5$ ), y potasio (expresado como  $K_2O$ ), (2) Secundarios como el calcio, magnesio y azufre, y (3) Menores también llamados micronutrientes como el fierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno. Además de su papel como nutrientes, el calcio y el magnesio son importantes para ajustar el pH del suelo.

Todos los elementos nutrientes están presentes en alguna magnitud en el suelo u otros materiales naturales en formas útiles para las plantas pero, con la excepción frecuente de los micronutrientes, tal provisión es generalmente no adecuada para la producción económica de cosechas.

El fertilizante es, por lo tanto, uno de los más importantes productos de la industria química.

Durante la década de 1,967-77, la producción de fertilizantes continuó avanzando rápidamente. El incremento en la cantidad de gente y la importancia de los fertilizantes en la producción de alimentos fueron los mayores contribuyentes a este respecto.

Efectividad de los fertilizantes.-

Los fosfatos solubles en agua son rápidamente convertidos en el suelo a formas menos solubles.

Estos materiales no están disueltos en muchos suelos pero debido a su baja solubilidad, también su utilidad a las plantas es baja. La utilización de fosfatos es función de las condiciones del nutriente del suelo, el clima y otros factores. Su recogimiento por la primer cosecha siguiendo su aplicación varía de un 6 a un 30%. Sin embargo, la mayoría del fosfato remanente se queda en el suelo y puede ser para futuras siembras pero en una proporción menor.

Cuando la cantidad de fosfato del suelo es muy alta, como en algunos suelos de los Estados Unidos y de Europa del Oeste, una respuesta favorable en las cosechas puede ser obtenida por periodos de dos ó más años sin alimentación anual de fosfato. Aún así, para la mayoría de las cosechas que sean muy extensas, para obtener buenas utilidades se requieren aplicaciones frecuentes de fertilizante fosfatado.



## SUPERFOSFATO SIMPLE

El superfosfato es un término usado en referencia a los fosfatos, en relación al fósforo que contiene en una forma útil para las plantas. El Superfosfato normal o simple se refiere a aquéllos que contienen hasta un 24% de  $P_2O_5$  (10.5% de fósforo) incluyendo el 24%. El superfosfato simple es la principal materia que suministra ácido fosfórico en los fertilizantes y puede considerarse como la base de la moderna industria de los fertilizantes.

El superfosfato simple se hace acidulando el fosfato natural con ácido sulfúrico. Aproximadamente se compone de un 40% de fosfato monocalcico,  $CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$ , 45% de sulfato de calcio,  $CaSO_4$ ; 10% de óxidos de hierro, aluminio, sílice, etc., y 5% de humedad.

Es un sólido gris, café o casi blanco en su forma granular, que es la forma en la cual es conocido comercialmente.

Tiene un olor ácido.

El sulfato de calcio formado durante la acidulación del fosfato con ácido sulfúrico no es el hidrato,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , sino la anhidrita,  $CaSO_4$ . La elevada temperatura y el ácido sulfúrico concentrado durante la acidulación no favorece la formación de  $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$  y  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . El endurecimiento del superfosfato se debe principalmente a la hidratación del fosfato monocalcico,  $CaH_4(PO_4)_2$ , a  $CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$ .

En el Superfosfato Simple, el porcentaje de pentóxido de fósforo asimilable aumenta con el tiempo.

En la Tabla # 3 del apéndice se presentan estas variaciones. (pág.90).

## MATERIAS PRIMAS

Las materias primas principales para la elaboración del fertilizante Superfosfato Simple son la roca fosfórica,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$  y el ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . *Y AGUA*

El mineral de la roca fosfórica es conocido como apatito o fluoroapatito,  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]_2$ , el cuál se encuentra en grandes cantidades en el mundo como ya se dijo. (Tabla # 1 del apéndice).

Tiene, generalmente, una composición química de: 55.5% de CaO, 42.3% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 3.8% de fluor. Esto en general, ya que se sabe que también contiene impurezas tales como óxidos de fierro, aluminio, etc.]

### $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ . PROPIEDADES

Cristaliza en el sistema hexagonal. La célula elemental en proyección sobre el plano (0001) tiene forma de rombo, en cuyos vértices se disponen los iones de flúor.

Los iones de calcio se hallan en el interior de prismas trigonales formados en columnas a lo largo del eje k. Las columnas son de doble índole; unas poseen una estructura más compleja y constan de tres prismas en la capa en cuestión, cambiando su orientación en torno del eje senario en cada capa, merced a lo cual toda la estructura adquiere un aspecto hexagonal; otras son sencillas y están representadas por prismas triédricos. Todas estas columnas están unidas por tetraedros de  $PO_4$  que alternan con octaedros vacíos en dirección vertical. Los aniones de flúor se disponen en el centro de dos capas de prismas trigonales.

#### Aspecto de los cristales.

El apatito suele encontrarse en cristales bien desarrollados, en las cavidades, bajo la forma de prismas tubulares. Las caras de los prismas suelen presentar estriado vitrial. Se encuentran, asimismo, cristales hexagonales tubulares (huecos) de apatito en ciertos yacimientos hidrotermales de mineral de hierro y en pegmatitas.

Agregados.- Es común bajo la forma de masas granulares, compactas, microcristalinas, a veces con vetas transversales, y masas terrosas. En las rocas sedimentarias son muy comunes las aglomeraciones de concreciones de apatito con numerosas inclusiones de granos de otros minerales (cuarzo, glauconita, calcita, etc.). Dichas aglomeraciones llevan el nombre común de fosforitas. Se encuentran también pseudomorfosis en sustitución a huesos de animales y restos de plantas, a menudo conservando todos los detalles de la estructura, advertibles al microscopio.

Color: incoloro (transparente), blanco, con más frecuencia de verde pálido a verde esmeralda, azul, amarillo, pardo, violeta. Brillo vítreo, graso en la superficie de la fractura.

Dureza 5. Frágil. Fractura irregular, a veces concoidea.

Peso específico 3.18-3.21.

Es característico de los cristales de apatito el aspecto prismático hexagonal. Se distingue del berilo y del aguamarina, parecidos a él, por su dureza inferior.

Se funde con dificultad al solpote, incluso en fragmentos delgados. El polvo humedecido con ácido sulfúrico dá a la llama un color verde azulado. Se disuelve en  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Importancia práctica.

La principal aplicación del apatito (hasta el 90%) y las fosforitas es la fabricación de fertilizantes (distintas clases de superfosfatos y termofosfatos).

Los apatitos se emplean también para extraer ácido fosfórico y distintas sales, así como el fósforo, empleado principalmente en la industria de cerillas. De los apatitos ricos en flúor se extrae, además, ácido fluorosilícico, muy importante para varias ramas de la industria.

En la industria cerámica, el apatito se usa para fabricar una porcelana muy resistente.

## $\text{H}_2\text{SO}_4$ . PROPIEDADES

Cuando está concentrado, el ácido sulfúrico tiene la propiedad adicional de una gran afinidad por el agua.

Forma cuatro hidratos cristalinos,  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ , donde  $X=1,2,3,4$ . Las propiedades del ácido sulfúrico como ácido, como agente oxidante y como agente deshidratante explican el enorme consumo industrial de este gigante entre los productos químicos.

Más del 30% del ácido sulfúrico se utiliza en la fabricación de superfosfatos fertilizantes. Otros usos importantes son la producción

de diversos compuestos inorgánicos, tales como el sulfato de sodio y especialmente el sulfato de amonio. Como el ácido sulfúrico es - un agente oxidante, solo se le emplea en la producción de ácidos no reductores como el clorhídrico y el nítrico.

Propiedades Físicas.- (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 93.19% en peso)

Gravedad específica = 1.8354

°Bé = 66

Peso de 1m<sup>3</sup>. en kgs. = 1,704.358 kgs.

Punto de congelación = -33.89°C.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso de producción de Superfosfato Simple es relativamente sencillo. Para la producción de Superfosfato Simple con un 20% de  $P_2O_5$  - aprovechable se necesitan como materias primas: roca fosfórica con un máximo de impurezas de 9.3%, ácido sulfúrico al 93.19% y agua.

La roca fosfórica que se utiliza deberá estar molida a un tamaño para pasar malla # 100.

Existen dos procesos de fabricación; el Sturtevant por cargas, (raramente usado en la actualidad) y el proceso Broadfield continuo. Este será el descrito en el presente trabajo.

A través de la larga historia de producción de Superfosfato Simple se han usado una gran variedad de mezcladores y de cámaras de curado, pero la más avanzada tecnología es la que se presentará a continuación. (Proceso Broadfield continuo).

Se considerará que la materia prima (roca fosfórica) ya se compra al tamaño de partícula deseado.

La roca fosfórica se tendrá inicialmente en un silo contenedor con forma cónica en su parte inferior. De ahí será transportada por un elevador de cangilones hacia una tolva igualadora.

La función de la tolva será el hacer que el material vaya cayendo poco a poco hasta un transportador de gusano, el cual irá a su vez dosificando la cantidad de roca fosfórica al siguiente paso.

Del transportador de gusano, la roca será llevada uniformemente a un transportador de banda sin fin provisto de una báscula.

Hasta este momento no se ha verificado ninguna reacción química en el proceso.

Después, la roca fosfórica se alimentará continuamente al mezclador de cono. Simultáneamente con este paso, y también de manera continua, se alimentarán al mezclador de cono ácido sulfúrico y agua provenientes de sus respectivos tanques. El ácido sulfúrico, como se dijo, deberá estar al 93.19%.

Es en este mezclador donde se lleva a cabo la reacción química del proceso, la cuál es:



\* El sulfato de calcio no es removido.

Normalmente, se agrega un exceso de ácido sulfúrico para llevar a cabo la reacción completa.

Del mezclador sale una pasta de superfosfato y sulfato de calcio la cual es llevada a un transportador de tablillas (de caucho), el cual la lleva a un desintegrador de quijadas para llevar el producto final a la forma granular deseada.

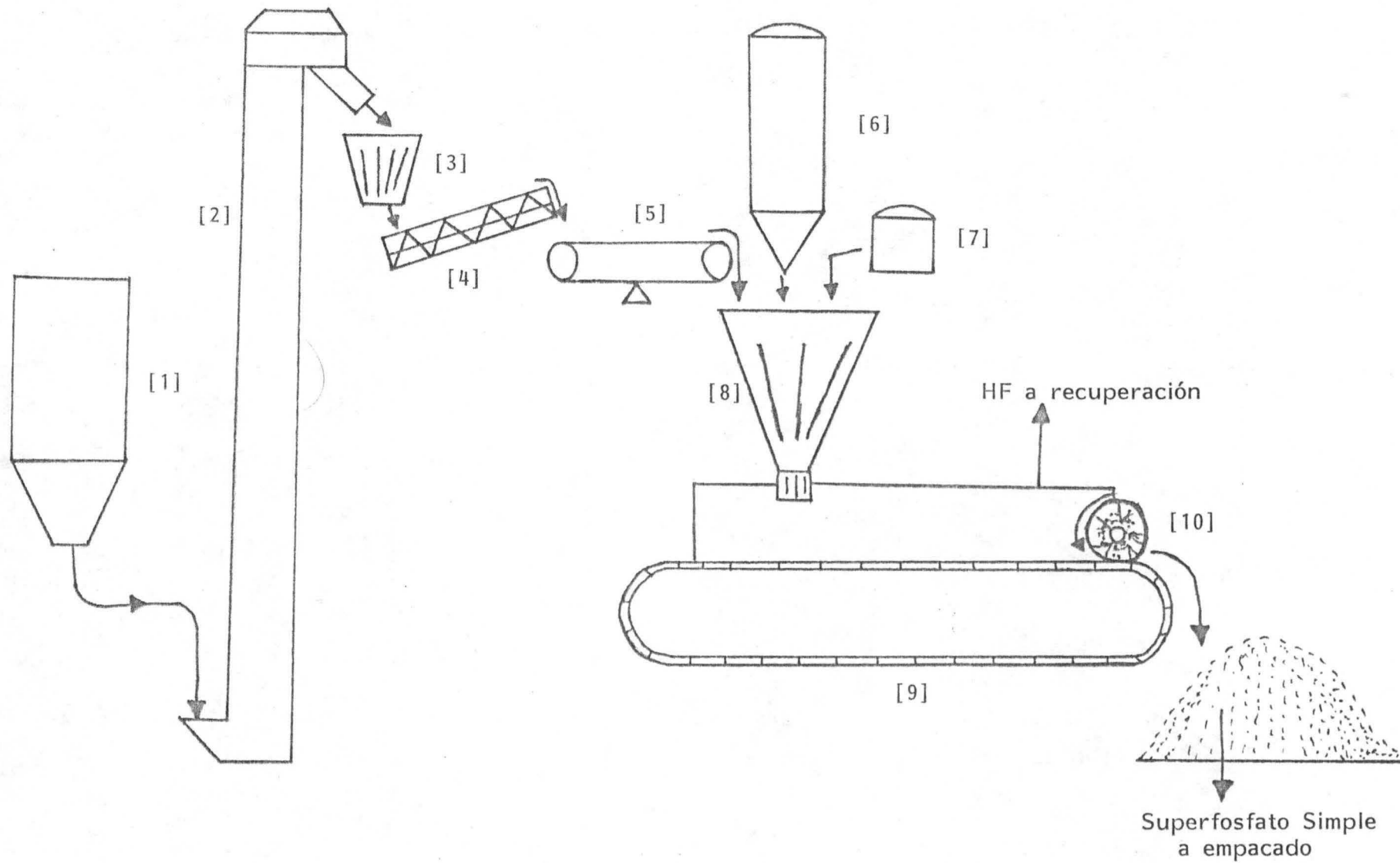
Este será nuestro producto conocido como Superfosfato simple o sencillo.



Como se ve en la reacción, se libera fluoruro de hidrógeno. Este se transportará mediante tubería recubierta de cerámica a su recuperación mediante absorción en agua.

Por no ser el objetivo del presente trabajo, no se estudiará la recuperación del fluoruro de hidrógeno. Solamente se mencionará la cantidad que se libera en la reacción principal.

DIAGRAMA DE PROCESO



## Leyenda

- 1.-Silo contenedor de materia prima.
- 2.-Elevador de cangilones.
- 3.-Tolva igualadora.
- 4.-Transportador de gusano.
- 5.-Transportador de báscula.
- 6.-Cuba de nivel constante.
- 7.-Tanque contenedor de agua.
- 8.-Mezclador de cono.
- 9.-Transportador de tablillas.
- 10.-Desintegrador de quiјadas.

BASE DE PRODUCCION

Para establecer la base de producción se tomó en cuenta las capacidades de industrias que producen nuestro fertilizante. \*

Utilizando el proceso que se describe en el presente estudio, una planta de Superfosfato Simple produce de 36 a 46 toneladas métricas por hora.

Considerando el dato anterior se ha establecido la base de producción para nuestra planta productora de Superfosfato Simple en 40 toneladas métricas por hora.

\* Ulysses S. Jones; Fertilizers & Soil Fertility, pág. 119.

BALANCE DE MATERIA

Se mostrarán los balances de materia en cada uno de los equipos del proceso, tomando en cuenta que solamente es en el mezclador de cono donde se verifica reacción química.

Se han considerado pérdidas en la transportación de la roca fosfórica de 0.5% en los siguientes equipos:

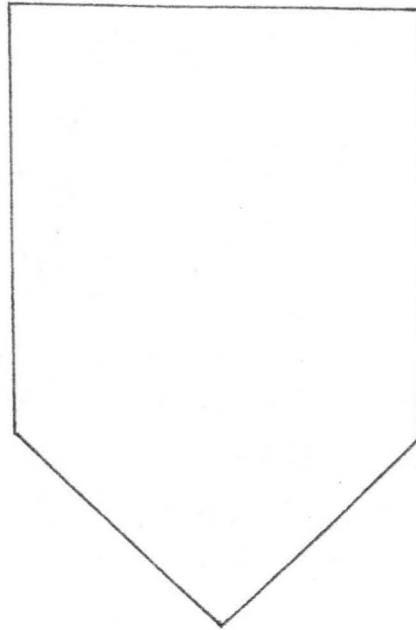
- (a) Elevador de Cangilones.
- (b) Transportador de Gusano.
- (c) Transportador de Báscula.

Estas pérdidas se han considerado debido a que los equipos transportadores no son herméticos y siempre existe una pequeña pérdida.

Para la realización de los balances de materia se hará la suposición de que no hay acumulativo, es decir, la cantidad de masa que entra es igual a la cantidad de masa que sale.

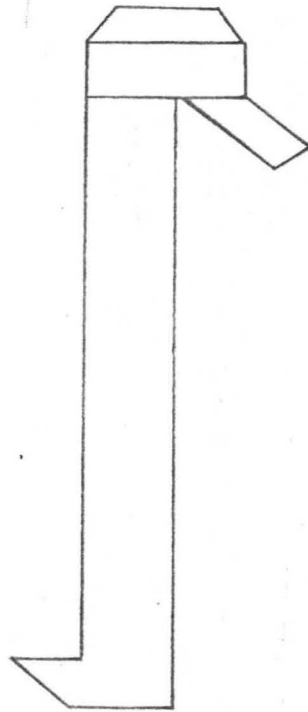


Balance de Materia por equipo



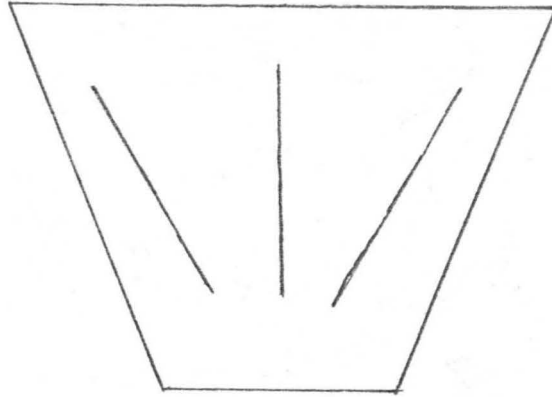
Silo contenedor de Materia Prima

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
SILO CONTENEDOR DE MATERIA PRIMA	ROCA FOSFORICA	667,383.12	667,383.12	27,807.63	27,807.63	La roca fosfórica es llevada al elevador de cangilones



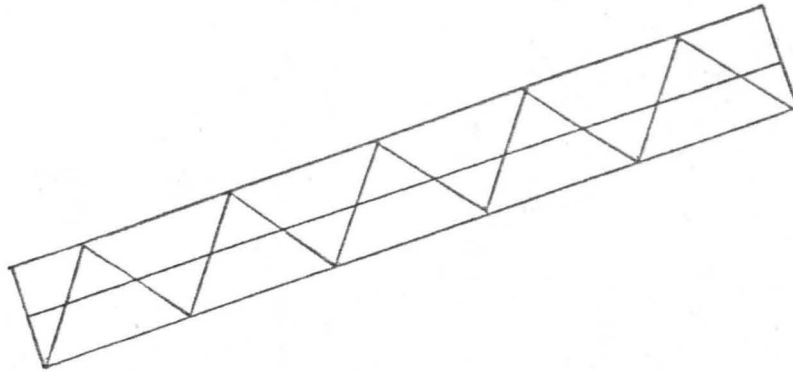
Elevador de Cangilones

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
ELEVADOR DE CANGILONES	ROCA FOSFORICA	667,383.12	664,062.9	27,807.63	27,669.2	La roca fosfórica es llevada a la tolva igualadora. Pérdidas en elevador de 0.5%.



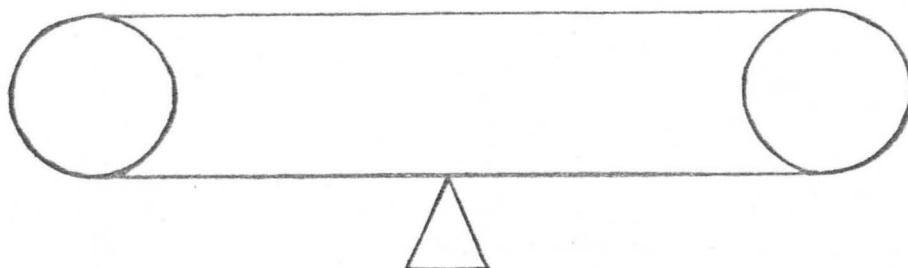
Tolva Igualadora

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
TOLVA IGUALADORA	ROCA FOSFORICA	664,062.9	664,062.9	27,669.2	27,669.2	La roca fosfórica es descarga- da en el trans- portador de gusano.



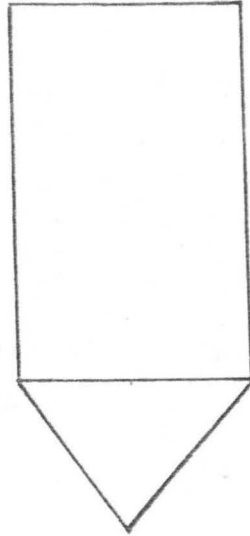
Transportador de Gusano

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR	DIA	POR	HORA	
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
TRANSPORTA- DOR DE GUSANO	ROCA FOSFORICA	664,062.9	660,759.3	27,669.2	27,531.6	Dosifica la cantidad de roca al transporta- dor de báscula.  Pérdidas del 0.5%.



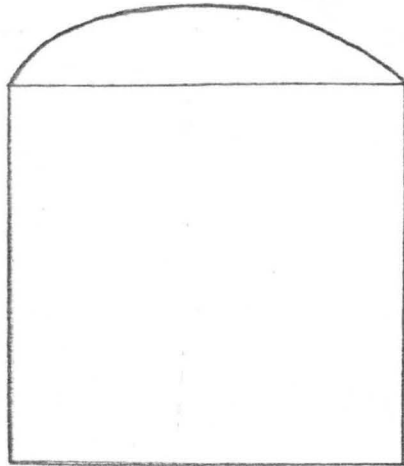
Transportador de Báscula

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
TRANSPORTADOR DE BASCULA	ROCA FOSFORICA	660,759.3	657,472.08	27,531.6	27,394.67	Se alimenta al reactor la roca fosfórica que va a reaccionar.



Cuba de nivel Constante

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
CUBA DE NIVEL CONSTANTE	ACIDO SULFURICO AL 93.19%	434,445.12	434,445.12	18,101.88	18,101.88	El ácido es descargado al mezclador para reaccionar con la roca fosfórica.
		ENT LTS	SAL LTS	ENT LTS	SAL LTS	
		254,902.56	254,902.56	10,620.94	10,620.94	



Tanque contenedor de agua

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
TANQUE CONTENEDOR DE AGUA	AGUA	761.04	761.04	31.71	31.71	El agua se descarga en el mezclador.

Balance en el mezclador de cono

Reacción que se lleva a cabo en el mezclador:



De acuerdo a la base de producción establecida, se necesitarán producir 40,000 kgs. de Superfosfato Simple por hora.

Debido a que el sulfato de calcio no es removido del producto, éste se considerará como la suma de superfosfato y el sulfato de calcio.

Abreviaturas:

RF= roca fosfórica.

NSP= superfosfato simple o normal.

Se calculan los kgs. de  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$  necesarios con el 100% de pureza.

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de } \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 &= \frac{1008.62 \text{ kgs. } \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2}{(252.07)(3) \text{ kgs. } \text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \text{ H}_2\text{O} + (136.14)(7) \text{ kgs. } \text{CaSO}_4} \times 40,000 \text{ kgs. NSP} \\ &= 23,604.63 \text{ kgs.} \end{aligned}$$

Pero como el grado de consumación de la reacción se considerará de un 95%:

$$\text{Kgs. de } \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 \text{ necesarios} = 23,604.63 \text{ kgs.} \times \frac{100}{95} = 24,846.97 \text{ kgs.}$$

\* Masas molares de los compuestos y comprobación de la estequiometría de la reacción en el apéndice. (pág. 91).

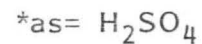


Además la roca fosfórica que se utilizará tendrá un 90.7% de pureza. Por lo tanto, la cantidad de roca necesaria para la alimentación será calculada de la siguiente manera:

$$\text{Kgs. de RF con 90.7\% de pureza necesarios} = 24,846.97 \text{ kgs.} \times \frac{100}{90.7} = 27,394.67 \text{ kgs.}$$

La cantidad de ácido sulfúrico necesaria se calculará a continuación. Para llevar a cabo la reacción completa, se agregará un 5% de exceso de ácido sulfúrico.

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de H}_2\text{SO}_4 \text{ necesarios (al 100\%)} &= \frac{(98.07 \text{ kgs. as}) (7 \text{ mol-kg as}) \times 23,604.63 \text{ kgs. RF}}{\frac{(1008.62 \text{ kgs. RF}) (\text{mol-kg as})}{(\text{mol-kg RF})}} \\ &= 16,065.85 \text{ kgs.} \end{aligned}$$



Con el 5% de exceso:

$$\text{Kgs. de H}_2\text{SO}_4 = 16,065.85 \text{ kgs.} \times 1.05 = 16,869.14 \text{ kgs.}$$

Pero como el ácido sulfúrico que se va a agregar está al 93.19%:

$$\text{Kgs. de H}_2\text{SO}_4 \text{ al 93.19\% alimentados al reactor} = 16,869.14 \text{ kgs.} \times \frac{100}{93.19} = 18,101.88 \text{ kgs.}$$

También de acuerdo a la estequiometría de la reacción se calculará la cantidad de agua necesaria.

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de H}_2\text{O} &= \frac{(18.01 \text{ kgs. ag})(3 \text{ mol-kg ag}) \times 23,604.63 \text{ kgs. RF}}{\text{necesarios} \quad (\text{mol-kg ag}) \quad \frac{(1008.62 \text{ kgs. RF})}{(\text{mol-kg RF})} \quad (\text{mol-kg RF})} \\ &= 1,264.45 \text{ kgs.} \end{aligned}$$

Debido a que el ácido sulfúrico lleva cierta cantidad de agua, ésta se calculará y será restada de la cantidad de agua necesaria. Este resultado serán los kgs. de agua que se deberán alimentar al reactor.

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de agua} &= 18,101.88 \text{ kgs. H}_2\text{SO}_4 \times \frac{6.81 \text{ kgs. H}_2\text{O}}{100 \text{ kgs. H}_2\text{SO}_4} = 1,232.73 \text{ kgs.} \\ \text{en el ácido} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de agua necesarios} &= (1,264.45 \text{ kgs.} - 1,232.73 \text{ kgs.}) = 31.71 \text{ kgs.} \\ \text{para alimentar al reactor} & \end{aligned}$$

Después de haber calculado las cantidades necesarias para la alimentación, se calcularán enseguida las cantidades de productos - obtenidos. Abreviaturas: FM= $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , SC= $\text{CaSO}_4$ .

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de } \text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} &= \frac{(252.07 \text{ kgs. FM})(3 \text{ mol-kg FM}) \times 23,604.63 \text{ kgs. RF}}{\text{producidos} \quad (\text{mol-kg FM}) \quad \frac{(1008.62 \text{ kgs. RF})}{(\text{mol-kg RF})} \quad (\text{mol-kg RF})} \\ &= 17,697.50 \text{ kgs.} \end{aligned}$$

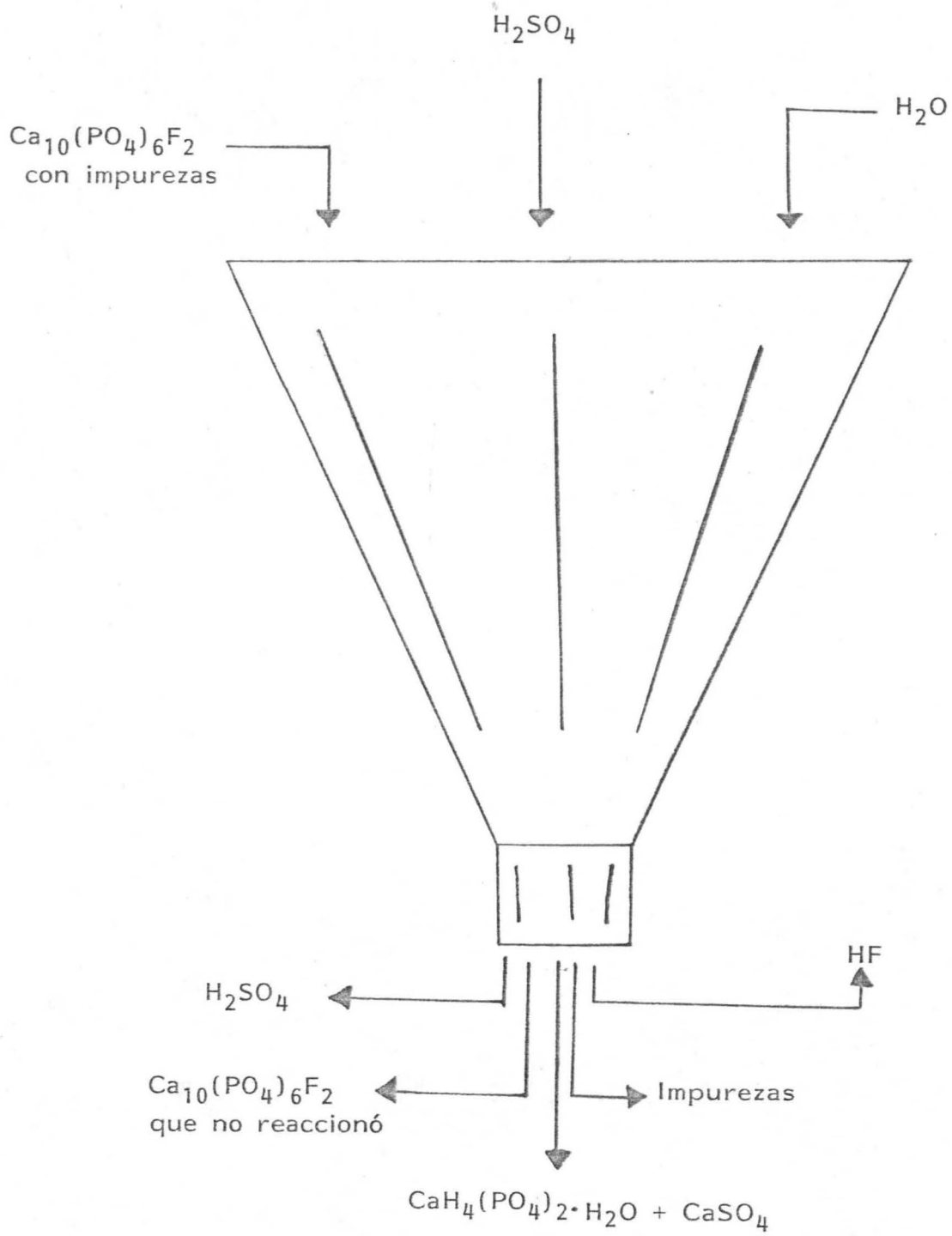
$$\begin{aligned} \text{Kgs. de } \text{CaSO}_4 &= \frac{(136.14 \text{ kgs. SC})(7 \text{ mol-kg SC}) \times 23,604.63 \text{ kgs. RF}}{\text{producidos} \quad (\text{mol-kg SC}) \quad \frac{(1008.62 \text{ kgs. RF})}{(\text{mol-kg RF})} \quad (\text{mol-kg RF})} \\ &= 22,302.50 \text{ kgs.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kgs. de HF} &= \frac{(20.00 \text{ kgs. HF})(2 \text{ mol-kg HF}) \times 23,604.63 \text{ kgs. RF}}{\text{prod.} \quad (\text{mol-kg HF}) \quad \frac{(1008.62 \text{ kgs. RF})}{(\text{mol-kg RF})} \quad (\text{mol-kg RF})} \\ &= 936.11 \text{ kgs.} \end{aligned}$$

$$\text{Kgs. de } \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 = (24,846.97 \text{ kgs.} - 23,604.63 \text{ kgs.}) = 1,242.34 \text{ kgs. que no reaccionó}$$

$$\text{Kgs. Impurezas} = (27,394.67 \text{ kgs.} - 24,846.98 \text{ kgs.}) = 2,547.69 \text{ kgs.}$$

$$\text{Kgs. de } \text{H}_2\text{SO}_4 = (16,869.14 \text{ kgs.} - 16,065.85 \text{ kgs.}) = 803.29 \text{ kgs. en el producto}$$



Al no haber acumulación, las cantidades de entrada deberán ser igual a las cantidades de salida.

<u>ENTRADAS (kgs)</u>	<u>SALIDAS (kgs)</u>
Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> F <sub>2</sub> + impurezas = 27,394.67	CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O = 17,697.50
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = 18,101.88	CaSO <sub>4</sub> = 22,302.50
H <sub>2</sub> O = <u>31.71</u>	HF = 936.11
TOTAL 45,528.26	Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> F <sub>2</sub> que no reaccionó = 1,242.34
	Impurezas = 2,547.69
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> = <u>803.29</u>
	TOTAL 45,528.43

Análisis del producto. (% en peso).

$$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = 17,697.50 \text{ kgs. FM} / 44,593.32 \text{ kgs. tot.} \times 100 = 39.69\%$$

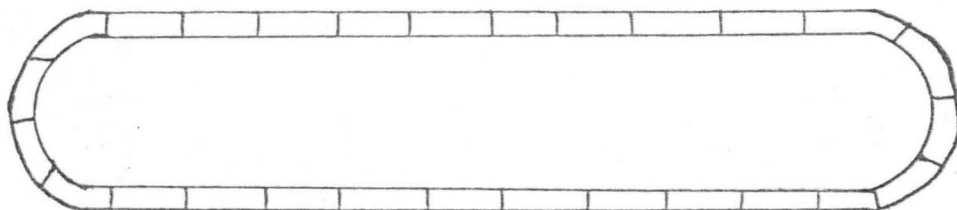
$$\text{CaSO}_4 = 22,302.50 \text{ kgs. SC} / 44,593.32 \text{ kgs. tot.} \times 100 = 50.01\%$$



$$\text{que no reaccionó} = 1,242.34 \text{ kgs. RF} / 44,593.32 \text{ kgs. tot.} \times 100 = 2.79\%$$

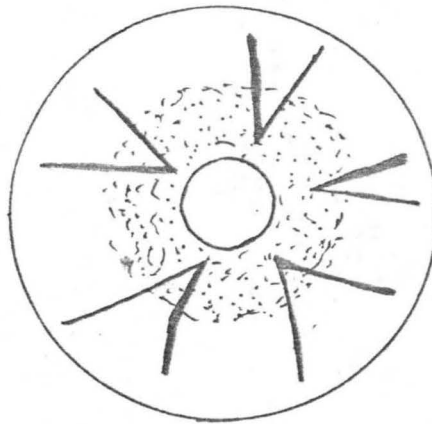
$$\text{Impurezas} = 2,547.69 \text{ kgs. Imp.} / 44,593.32 \text{ kgs. tot.} \times 100 = 5.71\%$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 803.29 \text{ kgs. as.} / 44,593.32 \text{ kgs. tot.} \times 100 = 1.80\%$$



Transportador de Tablillas

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT	KGS	SAL	KGS	
TRANSPORTADOR DE TABLILLAS	SUPER- FOSFATO SIMPLE	960,000.00	960,000.00	40,000.00	40,000.00	El super- fosfato simple es trans- portado al desintegra- dor de qui- jadas.



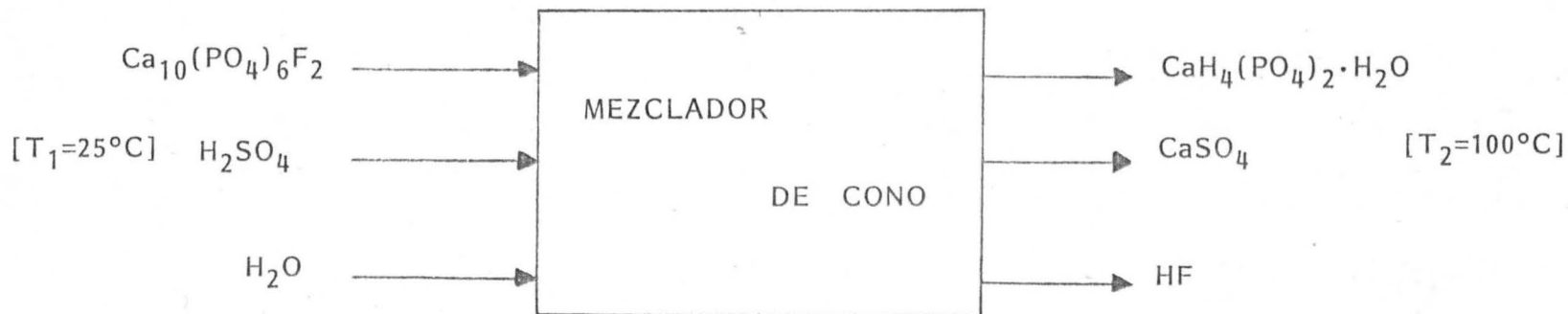
Desintegrador de Quijadas

EQUIPO	MATERIAL	BASE				OBS.
		POR DIA		POR HORA		
		ENT KGS	SAL KGS	ENT KGS	SAL KGS	
DESINTEGRADOR DE QUIJADAS	SUPER-FOSFATO SIMPLE	960,000.00	960,000.00	40,000.00	40,000.00	El super-fosfato es triturado y está listo para su control y empaclado.

BALANCE DE ENERGIA



BALANCE DE ENERGIA  
Superfosfato Simple



47

COMPUESTO	FORMULA	$-\Delta H_f^\circ$ ( Kcal/mol-kg)	$C_{pm}$ (Kcal/mol-kg °K) *	T en
Roca fosfórica	$Ca_{10}(PO_4)_6F_2$	$988.90 \times 10^3$	209.80	°K
Acido sulfúrico	$H_2SO_4$	$216.90 \times 10^3$	58.25	°K
Agua	$H_2O$	$68.32 \times 10^3$	18.07	°K
Superfosfato simple	$Ca_{10}(PO_4)_2 \cdot H_2O$	$360.00 \times 10^3$	70.83	°K
Sulfato de calcio	$CaSO_4$	$342.42 \times 10^3$	31.85	°K
Fluoruro de Hidrógeno	HF	$64.20 \times 10^3$	6.90	°K

\* Ver apéndice.  
(págs. 92-94).

En el proceso de producción de Superfosfato Simple únicamente se lleva a cabo reacción química en el mezclador de cono. Por tal motivo sólo se realizará balance de energía en dicho mezclador.

Se calculará el calor generado por la reacción, la cuál se verifica al alcanzarse los 100°C. Este se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta H_{\text{reac. } 100^{\circ}\text{C}} = \Delta H^{\circ}_{\text{reac. } 25^{\circ}\text{C}} + \Delta H_{\text{prod.}} - \Delta H_{\text{react.}}$$

en donde:

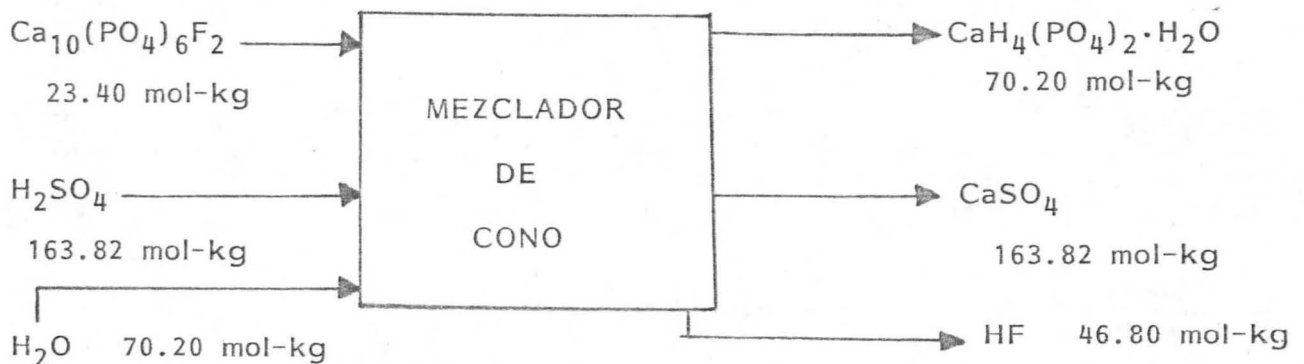
$\Delta H_{\text{reac. } 100^{\circ}\text{C}}$  = calor de reacción a 100°C.

$\Delta H^{\circ}_{\text{reac. } 25^{\circ}\text{C}}$  = calor de reacción estándar.

$\Delta H_{\text{prod.}}$  = cambio de entalpía de productos.

$\Delta H_{\text{react.}}$  = cambio de entalpía de reactivos.

Para los cálculos de balance de energía solo se consideran las cantidades de cada componente que reaccionan y que se producen, las cuales se obtienen del balance de materia.



Las cantidades mencionadas se calculan como sigue:

## Balance de Energía en el Mezclador

Cantidades de cada componente que reaccionan (mol-kg).

$$\text{mol-kg de Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 = \frac{23,604.63 \text{ kgs. (mol-kg)}}{(1008.62 \text{ kgs)}} = 23.40 \text{ mol-kg.}$$

$$\text{mol-kg de H}_2\text{SO}_4 = \frac{16,065.85 \text{ kgs. (mol-kg)}}{(98.07 \text{ kgs.})} = 163.82 \text{ mol-kg.}$$

$$\text{mol-kg de H}_2\text{O} = \frac{1,264.45 \text{ kgs. (mol-kg)}}{(18.01 \text{ kgs.})} = 70.20 \text{ mol-kg.}$$

Cantidades de producto en mol-kg.

$$\text{mol-kg de CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \frac{17,697.50 \text{ kgs. (mol-kg)}}{(252.07 \text{ kgs.})} = 70.20 \text{ mol-kg.}$$

$$\text{mol-kg de CaSO}_4 = \frac{22,302.50 \text{ kgs. (mol-kg)}}{(136.14 \text{ kgs.})} = 163.82 \text{ mol-kg.}$$

$$\text{mol-kg de HF} = \frac{936.11 \text{ kgs. (mol-kg)}}{(20.00 \text{ kgs.})} = 46.80 \text{ mol-kg}$$

Se calculará primeramente el calor de reacción estándar mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{reac. } 25^{\circ}\text{C}} = [\sum n_i \Delta H^{\circ}_f \text{ prod.} - \sum n_i \Delta H^{\circ}_f \text{ react.}]$$

Calor de formación de productos:

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = -360 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg}} \times 70.20 \text{ mol-kg}$$

$$= -25;272,000.00 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ CaSO}_4 = -342.42 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg}} \times 163.82 \text{ mol-kg}$$

$$= -56;095,244.40 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ HF} = -64.20 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg}} \times 46.80 \text{ mol-kg} = -3;004,560.00 \text{ Kcal.}$$

$$\sum n_i \Delta H^{\circ}_f \text{ prod.} = -84;371,804.40 \text{ Kcal.}$$

Calor de formación de reactivos:

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 = -988.90 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg}} \times 23.40 \text{ mol-kg}$$

$$= -23;140,260.00 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ H}_2\text{SO}_4 = -216.90 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg}} \times 163.82 \text{ mol-kg}$$

$$= -35;532,558.00 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{H}_2\text{O} = -68.32 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg}} \times 70.20 \text{ mol-kg} = -4,796,064.00 \text{ Kcal.}$$

$$\sum n_i \Delta H^{\circ}_f \text{ react.} = -63,468,882.00 \text{ Kcal.}$$

De lo anterior:

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{\text{reac. } 25^{\circ}\text{C}} &= [-84,371,804.40 \text{ Kcal.} - (-63,468,882.00 \text{ Kcal})] \\ &= -20,902,922.40 \text{ Kcal.} \end{aligned}$$

Cambio de entalpía de productos:

El cambio de entalpía se calcula con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \Delta H_x &= m C_{p_m} \Delta T \quad \frac{T_{\text{ref.}} = 25^{\circ}\text{C} = T_{\text{ent.}} = T_1}{T_{\text{reac.}} = 100^{\circ}\text{C} = T_{\text{sal.}} = T_2} \\ \Delta H_{\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \text{H}_2\text{O}} &= 70.20 \text{ mol-kg} \times \frac{70.83 \text{ Kcal}}{\text{mol-kg } ^{\circ}\text{K}} (373 - 298) ^{\circ}\text{K} \\ &= 372,919.95 \text{ Kcal.} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{CaSO}_4} = 163.82 \text{ mol-kg} \times \frac{31.85 \text{ Kcal}}{\text{mol-kg } ^{\circ}\text{K}} (373 - 298) ^{\circ}\text{K} = 391,325.02 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H_{\text{HF}} = 46.80 \text{ mol-kg} \times \frac{6.90 \text{ Kcal}}{\text{mol-kg } ^{\circ}\text{K}} (373 - 298) ^{\circ}\text{K} = 24,219.00 \text{ Kcal.}$$

$$\Delta H_{\text{prod.}} = 788,463.97 \text{ Kcal.}$$

Cambio de entalpía de reactivos:

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2} &= 23.40 \text{ mol-kg} \times \frac{209.80 \text{ Kcal}}{\text{mol-kg } ^\circ\text{K}} (373 - 298) ^\circ\text{K} \\ &= 368,199.00 \text{ Kcal.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{H}_2\text{SO}_4} &= 163.82 \text{ mol-kg} \times \frac{58.25 \text{ Kcal}}{\text{mol-kg } ^\circ\text{K}} (373 - 298) ^\circ\text{K} \\ &= 715,688.62 \text{ Kcal.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} &= 70.20 \text{ mol-kg} \times \frac{18.07 \text{ Kcal}}{\text{mol-kg } ^\circ\text{K}} (373 - 298) ^\circ\text{K} \\ &= 95,138.55 \text{ Kcal.}\end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{react.}} = 1,179,026.17 \text{ Kcal.}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reac. } 100^\circ\text{C}} &= [-20,902,922.40 + 788,463.97 - 1,179,026.17] \\ &= -21,293,484.60 \text{ Kcal.}\end{aligned}$$

## Balance General de Energía

$$\Delta E = -\Delta[(\hat{H} + \hat{K} + \hat{P})_m + Q - W]$$

Suponiendo un estado estable ( $\Delta E=0$ ), sin cambios de energía cinética o potencial y con  $W=$  al trabajo suministrado al sistema por el mezclador\*, el balance general de energía se reduce a:

$$Q_{\text{tot.}} = \Delta H_{\text{reac.}} 100^\circ\text{C} + W$$

$$Q_{\text{tot.}} = -21;293,484.60 \text{ Kcal.} - 53,892.00 \text{ Kcal.} \quad **$$

$$Q_{\text{tot.}} = -21;347,376.60 \text{ Kcal.}$$

\* Ver apéndice. (pág.96).

\*\* El trabajo toma signo negativo en la ecuación por ser este suministrado del ambiente al sistema.

## Pérdidas por conducción

$$Q_{\text{cond.}} = -k A \frac{dT}{dx}$$

Se utilizará un aislante de lana mineral de 2 plgs. de espesor.

$$k_{\text{lana mineral}} = 0.0186 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr. m } ^\circ\text{F}}$$

$$A_{\text{cono}} = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$$

$$A = \pi (1.75 \text{ mts.}) \sqrt{(1.75 \text{ mts.})^2 + (7.79 \text{ mts.})^2}$$

$$A = 43.89 \text{ mts.}^2$$

$$Q_{\text{cond.}} = -0.0186 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr. m. } ^\circ\text{F}} \times 43.89 \text{ m}^2 \times \frac{(212 - 77) ^\circ\text{F}}{0.0508 \text{ m.}}$$

$$Q_{\text{cond.}} = -2,169.44 \text{ Kcal/ hra.}$$

Base: 1 hra.

$$Q_{\text{nec.}} = -21,349,546.04 \text{ Kcal.}$$

Energía eléctrica.-

Para una planta productora de Superfosfato Simple se tiene que el consumo de energía eléctrica es de  $0.689 \times 10^6 \frac{\text{BTU}}{\text{ton m.}}$ .

Del dato anterior se obtiene que el requerimiento de energía eléctrica para la planta de este estudio será de 8,075.57 Kw-hra. Esto basándonos en una hora con producción de 40 toneladas métricas.



## REQUERIMIENTO DE EQUIPO

## SILO CONTENEDOR DE MATERIA PRIMA

Se requiere para la roca fosfórica un tanque de forma cilíndrica con terminación cónica en su parte inferior para proveer al elevador la materia prima. Deberá tener vibradores para permitir el flujo de la roca, además de las válvulas necesarias.

El tanque será abierto y deberá tener una capacidad de 10,000 lts.

El diseño más adecuado para este tipo de tanque es considerando el diámetro igual a la altura.

$$V = \pi D^2 h / 4$$

$$D = h$$

$$V = \pi D^3 / 4$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{(10\text{m}^3) (4)}{\pi}}$$

$$D = 2.33 \text{ mts.}$$

El material será de acero inoxidable.

## ELEVADOR DE CANGILONES

Se utilizará un elevador de cangilones continuo para conducir la roca fosfórica hacia la tolva igualadora.

Este tendrá una capacidad de 35 ton./hora. y una altura de 16 mts. con un espacio entre cangilones de 20.50 cms.

#### TOLVA IGUALADORA

Se requerirá para que la roca fosfórica caiga lenta y uniformemente al transportador de gusano.

Deberá tener una capacidad de 30 ton./hora.

El material de construcción será de lámina de acero al carbón.

#### TRANSPORTADOR DE GUSANO

Se utilizará un transportador de gusano para dosificar la cantidad de material que va a recibir el transportador de báscula.

Se requiere una capacidad de 30 ton./hora. y tendrá una longitud de 7.2 mts.

El material será lámina de acero al carbón.

#### TRANSPORTADOR DE BASCULA

Se requerirá un transportador de banda sin fin provisto de una báscula con capacidad de 30 ton./hora.

Deberá tener una longitud de 10.5 mts.

El material será de lámina de acero al carbón.

#### CUBA DE NIVEL CONSTANTE

Se requiere para el ácido sulfúrico y deberá tener una capacidad de 12,000 lts. Para mantener el nivel constante deberá tener una válvula para dar una carga constante de ácido, el cuál estará sujeto a la acción de dos flotadores huecos de plomo. El diámetro será de 1.5 m. y la altura de 5mts.

Este tanque estará abierto y deberá estar provisto de las válvulas necesarias.

El material de construcción recomendado es acero inoxidable.

### TANQUE CONTENEDOR DE AGUA

Se requiere un tanque con capacidad de 50 lts.

Estará abierto al exterior y deberá tener las válvulas necesarias.

Sus dimensiones serán las siguientes:

Diámetro=1mto.

Altura=1mto. El material será de acero inoxidable.

### MEZCLADOR DE CONO

Se requiere una capacidad de 25,000 lts.

El agitador será un tornillo helicoidal que gira sobre su propio eje y el material será de acero inoxidable.

Además, estará provisto de una capa aislante de lana mineral de dos pulgadas de espesor.

Su diámetro será de 3.5 mts.

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3}$$

$$h = \frac{3V}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{(3) (25m^3)}{(\pi) (1.75^2)m^2} = 7.79 \text{ mts.}$$

## TRANSPORTADOR DE TABLILLAS

Deberá tener una capacidad de 40 ton./hra. y una longitud de 22 mts. con 7mts. de anchura. Se utilizará para transportar el superfosfato simple a un desintegrador de quijadas para luego ser empacado.

El material deberá ser recubierto de caucho.

## DESINTEGRADOR DE QUIJADAS

Se requiere un desintegrador de quijadas al final de la banda del transportador para pulverizar el superfosfato simple a la forma granular.

Deberá tener una capacidad de 40 ton./hra. con quijadas de 20X36 plgs.

El material será de acero inoxidable.

Nota: las cantidades en lts. de roca fosfórica y de ácido sulfúrico se calcularon de la siguiente manera:

Para la roca fosfórica (RF):

$$Q = \frac{m}{V} \quad Q_{RF} = 187 \text{ lbs/pie}^3$$
$$V = \frac{m}{Q} = \frac{27,394.67 \text{ kgs} \times \frac{1 \text{ lb.}}{0.4536 \text{ kgs.}} \times \frac{\text{pie}^3}{187 \text{ lbs.}}}{28.32 \text{ lts.}} \times \frac{\text{pie}^3}{\text{pie}^3}$$

$$V = 9,146.28 \text{ lts.}^*$$

Para el ácido sulfúrico (as):

Para el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 93.19% se tiene que un volumen de  $1\text{m}^3$ . es ocupado por una masa de 1,704.358 kgs. Por lo tanto:

$$V = \frac{18,101.88 \text{ kgs.} \times 1\text{m}^3}{1,704.358 \text{ kgs.}} \times \frac{1000 \text{ lts.}}{1\text{m}^3}$$

$$V = 10,620.94 \text{ lts.} *$$

\* Las capacidades son las necesarias tomando como base una hora de operación.

LOCALIZACION DE LA PLANTA

La localización de la planta es un estudio que nos sirve para determinar el lugar óptimo para establecer una nueva planta, tanto desde el punto de vista económico como administrativo.

Para el desarrollo de un proyecto, es un factor decisivo el localizar e instalar justamente una planta, ya que determina la vida laboral y productiva de la empresa, así como su estadía o reubicación en años futuros y la correcta optimización de la producción.

Por las razones expuestas anteriormente, se procederá a realizar un estudio para la localización de la empresa dentro de la República Mexicana. Se tomarán en cuenta diversos factores tales como la calidad y cercanía de la materia prima, mano de obra, vías de comunicación, agua para uso industrial, costo del terreno y servicios.

Para la producción de Superfosfato Simple es necesario un mineral llamado roca fosfórica. En nuestro país existen yacimientos en varias regiones, entre ellas las consideradas para el presente estudio de localización de planta, las cuales son los estados de Baja California Norte, Nuevo León y Durango.

Para el estudio de la localización de planta se conocen dos métodos generales. Estos son el de Análisis de Costos y el de Selección por puntos. En el primero se obtienen los costos totales para la instalación de la planta para todas las alternativas supuestas. Para tener un margen de seguridad, se consideran los dos costos menores para una posible localización. Como se ve, en este método será necesario conocer con exactitud los costos de todos los factores para la instalación de la planta en todas las alternativas.



El método de selección por puntos, que es el que se utilizará en el presente trabajo, se basa en la comparación de puntos alcanzados - por cada alternativa.

Los pasos a seguir en el método de selección por puntos son los presentados a continuación:

- (a) Se listan los factores más importantes para la localización de la planta.
- (b) Se ponderan estos factores según su importancia para la empresa, calificándolos entre cero y cien puntos.
- (c) Se analiza de cada localidad la forma en que satisface cada uno de los factores y se asigna una calificación de cero a cien, según su adecuación. Cien cuando la satisfacción es perfecta.
- (d) Multiplicar la puntuación de cada factor por la calificación obtenida en cada una de las localidades.
- (e) Sumar los puntos obtenidos por cada localidad y escoger al que tenga mayor puntuación.

A continuación se listarán los factores más importantes para la localización de la planta:

- F1=Calidad y cercanía de materia prima.
- F2=Mano de obra.
- F3=Mercado.
- F4=Vías de comunicación.

F5=Agua para uso industrial.

F6=Costo del terreno.

F7=Servicios.

Según la importancia de cada uno de los factores se les dará una calificación entre cero y cien puntos.

F1.- Para el proceso de producción de superfosfato simple es de vital importancia la calidad y cercanía de la roca fosfórica. Debido a que se está requiriendo una alta pureza de roca fosfórica, a este factor se le dará una calificación de 100 puntos.

F2.- La mano de obra requerida para nuestro proceso es importante - debido a que se necesitará alguna gente con experiencia. El factor de ponderación será de 70 puntos.

F3.- Se buscará en un principio un mercado que abarque la cantidad total producida de superfosfato simple. La ponderación dada para este factor será de 80 puntos.

F4.- Es necesario contar con suficientes vías de comunicación para un eficiente traslado, tanto de materias primas, como de producto terminado. El lugar escogido deberá contar con vías terrestres tales como carreteras y vías ferroviarias. Como este factor es de importancia se le dará una puntuación de 80.

F5.- En el proceso de fabricación de nuestro producto la cantidad de agua requerida es relativamente poca, por consiguiente, a este factor se le asignará una calificación de 50 puntos.

F6.- Para la localización de nuevas industrias en nuestro país, los -- costos de los terrenos son similares. Este factor no es de vital importancia y se le dará una calificación de 40 puntos.

F7.- La localidad escogida deberá contar con servicios generales como electricidad, agua potable, teléfono. La importancia de este factor se considerará de 80 puntos.

El paso siguiente será asignar, para cada localidad, el grado en que satisface cada uno de los factores, dándole igualmente una calificación entre cero y cien, según su adecuación.

- [1] Baja California Norte. *Carretera Cernusco-Gral. Treviño*  
 [2] Nuevo León. *Carretera Nby-Caderoyta*  
 [3] Durango. *Montemorelos- Gral Terán*

También se presentará la siguiente tabla donde se realizan las multiplicaciones y las sumas que se explicaron en la metodología de la selección por puntos.

	*	[1]	[2]	[3]
F1.	100	80   8,000	100   10,000	60   6,000
F2.	70	80   5,600	90   6,300	80   5,600
F3.	80	90   7,200	90   7,200	60   4,800
F4.	80	90   7,200	100   8,000	80   6,400
F5.	50	90   4,500	70   3,500	70   3,500
F6.	40	70   2,800	70   2,800	70   2,800
F7.	80	80   6,400	90   7,200	60   4,800
TOTAL		41,700	45,000	33,900

\* Ponderación dada a cada uno de los factores.

\*\* Los números que están a la izquierda de cada una de las líneas punteadas representan la calificación asignada a cada uno de los factores en cada una de las localidades.

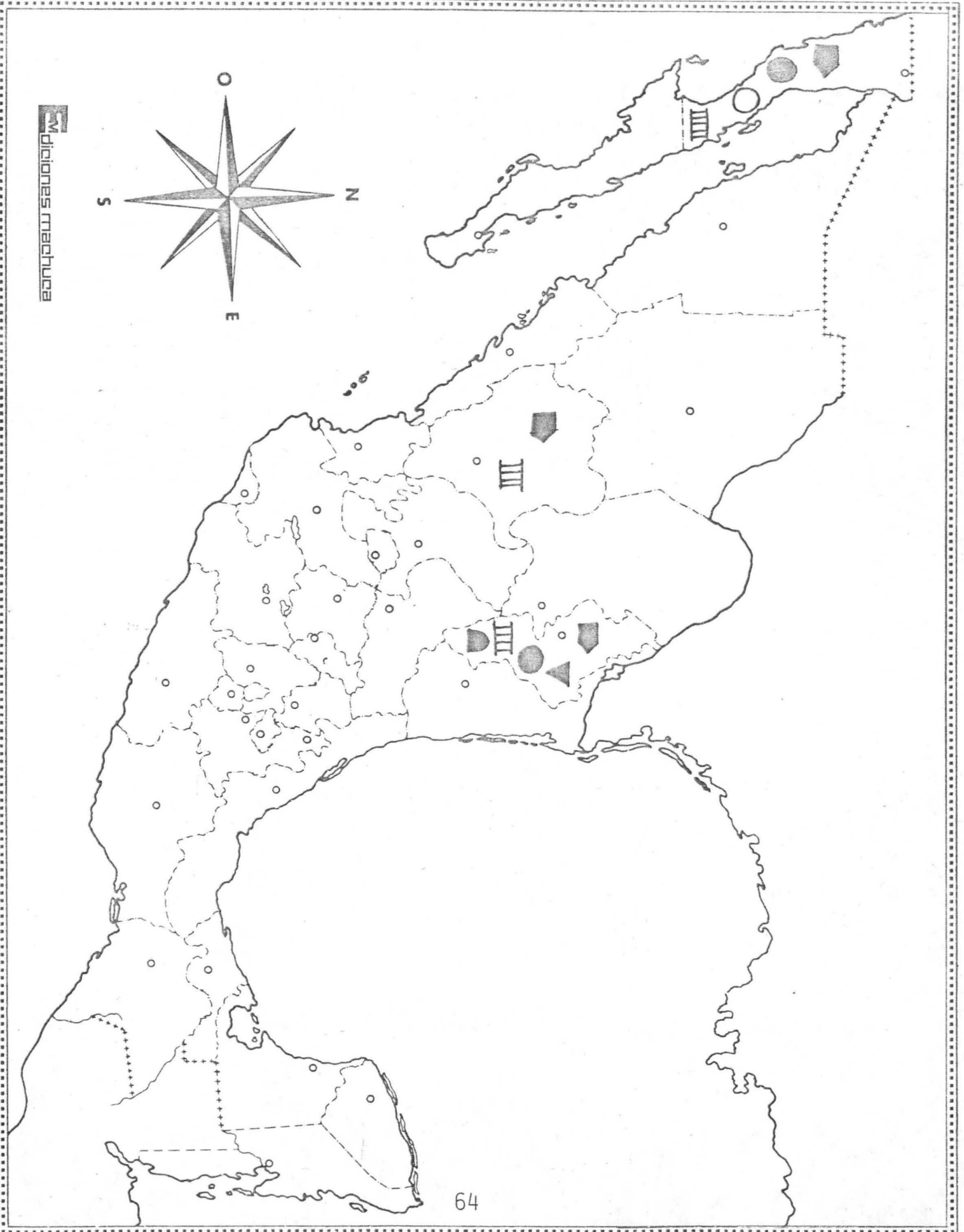
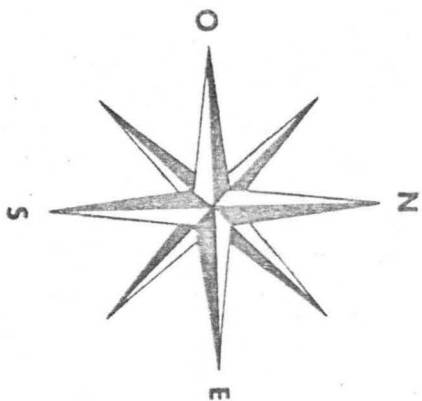
De acuerdo a los resultados arrojados por el método de selección por puntos para la localización de la planta la localidad de mayor puntuación fue el estado de Nuevo León.

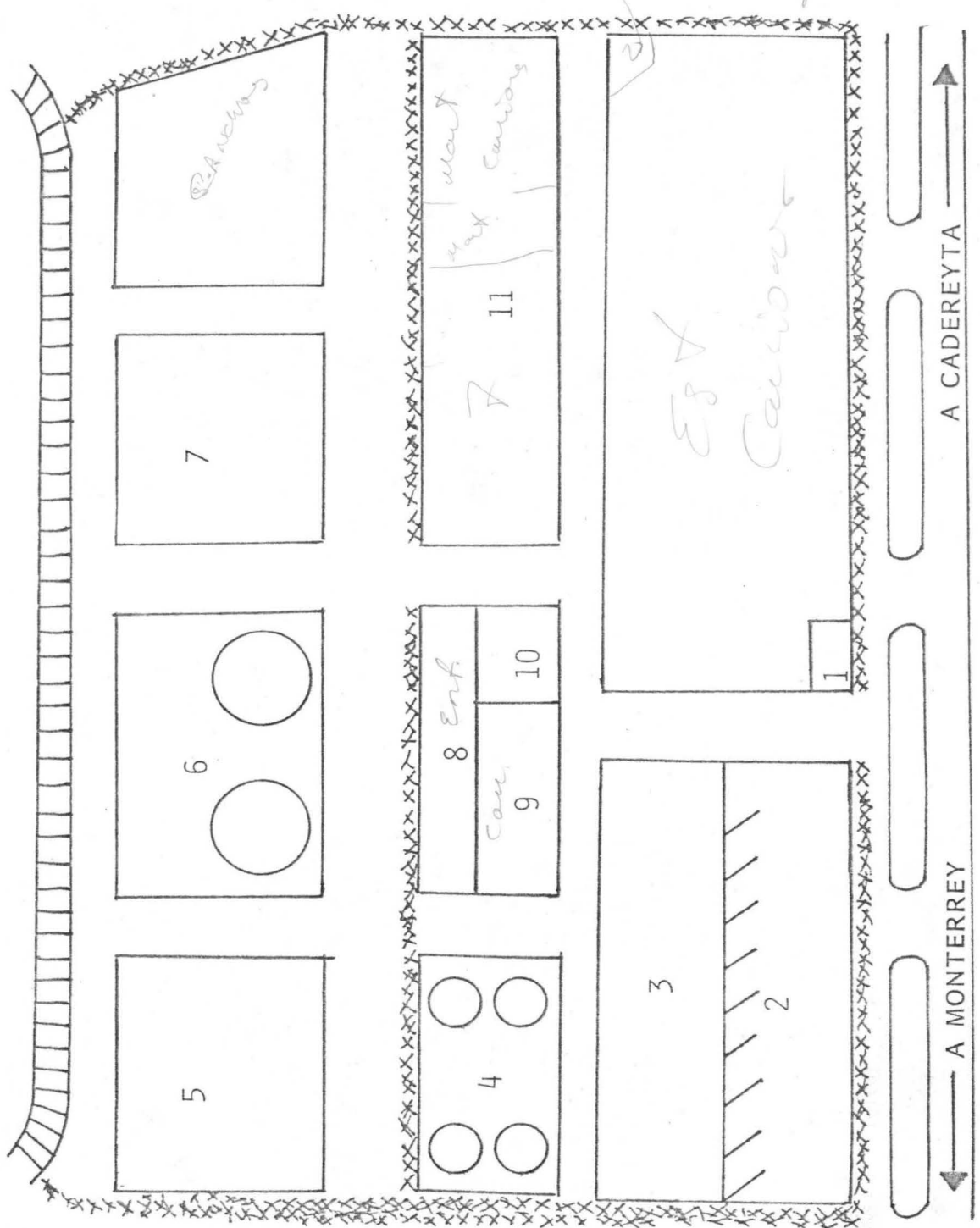
Por lo tanto, la localización de la planta será en el estado de Nuevo León. El terreno se ha ubicado en la carretera Monterrey-Cadereyta.

En el mapa de la página siguiente se presentan las tres opciones estudiadas señalando los factores que fueron descritos en nuestra localización de planta. Después se presenta el terreno donde se localizará la planta de Superfosfato Simple.

\* Significado de las figuras. Ver apéndice. (pág. 95).

M  
ediciones machuca





- 1.- CASETA DE ENTRADA
- 2.- ESTACIONAMIENTO
- 3.- AREA ADMINISTRATIVA
- 4.- TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA
- 5.- PRODUCCION
- 6.- ALMACEN DE PRODUCTO TERMINADO
- 7.- FUTURAS EXPANSIONES
- 8.- MANTENIMIENTO
- 9.- COMEDOR
- 10.- VESTIDORES
- 11.- ESTACIONAMIENTO-CAMIONES.

DISTRIBUCION DE PLANTA



El objetivo de realizar un estudio para la distribución de planta es el de integrar de la mejor forma posible a los hombres, materiales y maquinaria.

Se busca lograr que la interrupción entre los movimientos de los elementos entre operaciones sea mínima. Por lo tanto, la mejor distribución es aquella que minimiza los movimientos entre operaciones.

Los objetivos básicos a considerar en la distribución de la planta son:

- (a) Optimizar en la utilización del espacio para las distintas áreas.
- (b) Reducir el manejo de materiales.
- (c) Maximizar la utilización de la maquinaria, mano de obra y de los servicios.
- (d) Proporcionar mayor facilidad de ajuste a los cambios requeridos.

## PLANEACION SISTEMATICA SIMPLIFICADA DE DISTRIBUCION

[PSSD]

Por medio de este sistema se va a generar la distribución de planta de Superfosfato simple.

Este método es un conjunto de seis procedimientos con los cuales se llega a la distribución de planta. A continuación se explicarán cada uno de los pasos.

### Paso # 1

#### Registro de Relaciones

Este paso consiste en relacionar cada actividad, área, función, departamento o edificio involucrado en la distribución con todas las demás por medio de una ordenación de la cercanía deseada.

Este paso sirve para determinar la cercanía relativa entre cada par de actividades.

El objetivo es saber que tan cerca debe estar una actividad con otra para poder tomar decisiones relativas a la distribución de planta.

### Paso # 2

Establecer los requerimientos de espacio.

Consiste en establecer para cada actividad, el área requerida, los elementos físicos y los servicios, así como cualquier restricción para el edificio.

El objetivo es dar forma al espacio y determinar los elementos físicos que requiere cada actividad.

### Paso # 3

Construir el diagrama de relaciones.

Consiste en relacionar las actividades visual o gráficamente para formar el patrón básico para la distribución.

El objetivo es representar gráficamente las relaciones de cercanía.

### Paso # 4

Distribuir las relaciones de espacio de la distribución y dibujarlas.

Consiste en arreglar visual y gráficamente el espacio requerido para todas las actividades.

Su objetivo es dar sentido a los diagramas generados en el paso anterior al ajustarlos al plano de la planta.

### Paso # 5

Evaluar las alternativas.

Consiste en seleccionar la distancia más adecuada después de evaluar las alternativas generadas en el paso anterior.

El objetivo es evaluar de manera clara e imparcial las alternativas de solución.

### Paso # 6

Hacer en detalle la distribución seleccionada.

Consiste en dibujar a detalle la mejor alternativa.

El objetivo es que pueda ser usada para hacer la instalación del equipo, paredes, tuberías, conexiones, etc.

Para la distribución de la planta de Superfosfato simple se presentarán los pasos 1 y 2, y después se mostrará el plano de la distribución seleccionada. En el diagrama de proceso se puede apreciar esta distribución.

# REGISTRO DE RELACIONES

SILO CONT. DE MAT. PRIMA	A								
ELEVADOR DE CANGILONES		O							
TOLVA IGUALADORA			U						
TRANSP. DE GUSANO				U					
TRANSP. DE BASCULA					X				
CUBA DE NIVEL CONSTANTE						U			
TANQUE CONT. DE AGUA							I		
MEZCLADOR DE CONO								X	
TRANSP. DE TABLILLAS									X
DESINT. DE QUIJADAS									

A	ABSOLUTAMENTE NECESARIO
E	ESPECIALMENTE IMPORTANTE
I	IMPORTANTE
O	ORDINARIAMENTE IMPORTANTE
U	NO IMPORTANTE
X	NO DESEABLE

# REQUERIMIENTOS DE ESPACIO

		254	CONSIDERACIONES					
			AREA TOTAL M <sup>2</sup>	ALTURA (MTS)	AGUA Y DRENAJE	VENTILACION	ELECTRICIDAD	CIMIENOS
1	SILO CONTENEDOR DE M.PRIMA	4	4	-	B	B	A	
2	ELEVADOR DE CANGILONES	3	20	-	B	A	B	
3	TOLVA IGUALADORA	4	4	-	B	A	B	
4	TRANSPORTADOR DE GUSANO	15	3	-	B	A	B	
5	TRANSPORTADOR DE BASCULA	20	3	-	B	A	B	
6	CUBA DE NIVEL CONSTANTE	7	7	B	A	-	-	
7	TANQUE CONTENEDOR DE AGUA	1	2	A	-	-	-	
8	MEZCLADOR DE CONO	25	9	A	A	A	-	
9	TRANSPORTADOR DE TABLILLAS	160	5	-	B	A	B	
10	DESINTEGRADOR DE QUIJADAS	15	6	-	B	A	-	

A = NECESARIO  
 B = IMPORTANTE  
 - = NO IMPORTANTE

ANALISIS ECONOMICO

## COSTO DEL EQUIPO

Equipo	Costo
Silo Contenedor de Materia Prima	\$ 6;500,000.00
Elevador de Cangilones	5;735,400.00
Tolva Igualadora	7;900,000.00
Transportador de Gusano	4;266,000.00
Transportador de Báscula	54;985,400.00
Mezclador de Cono	12;940,200.00
Cuba de Nivel Constante	7;800,000.00
Tanque Contenedor de agua	32,500.00
Transportador de Tablillas	94;800,000.00
Desintegrador de Quijadas	33;180,000.00
	<hr/>
TOTAL	\$228,139,500.00



## INVERSION INICIAL PROYECTADA

Costo del equipo	\$228;139,500.00
Instalación del equipo	34;220,925.00
Tubería	22;813,950.00
Instrumentación	15;969,765.00
	<hr/> <hr/>
Total Maquinaria y Equipo =	\$301;144,140.00
Terreno	\$ 18;251,160.00
Construcción	70;084,454.00
Imprevistos	15;057,207.00
	<hr/> <hr/>
Total Inversión Inicial Proyectada =	\$404;536,961.00

COSTO DE MATERIA PRIMA (anual)

<u>Materia Prima</u>	<u>Cantidad (ton)</u>	<u>Costo unitario (\$/ton)</u>	<u>Costo total</u>
Roca fosfórica	205,134	25,000.00	\$ 5,128,350,000.00
Acido Sulfúrico	135,548	95,000.00	12,877,060,000.00
Agua	238	206.00	49,028.00
Costo total de materia prima =			<u>\$18,005,459,000.00</u>

COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA

<u>Cantidad</u>	<u>Ocupación</u>	<u>Salario unitario (por día)</u>	<u>Salario total (anual)</u>
12	Obreros	\$4,000.00	\$17;280,000.00
3	Supervisores	\$5,000.00	5;400,000.00
Total Salarios =			<u>\$22;680,000.00</u>

## COSTO DE PRODUCCION (anual)

Materia prima	\$18,005,459,000.00
Mano de Obra	22;680,000.00
Servicios (agua, drenaje y electricidad)	<u>7;000,000.00</u>
Total =	\$18,035,139,000.00

Costo de Producción (para dos semanas) = \$693;659,193.00

## INVERSION TOTAL

La inversión total será de \$1,098,196,155.00 ( mil noventa y ocho millones, ciento noventa y seis mil ciento cincuenta y cinco pesos 00/100); la cual incluye la inversión inicial más el costo de producción equivalente a dos semanas, asumiendo que este es el tiempo - necesario para el arranque de nuestra planta de Superfosfato Simple.

La inversión total se dividirá en:

80% Préstamo (FONEI)*	\$878;556,924.00
20% Aportación de capital	\$219;639,231.00

\* Fondo de Equipamiento Industrial.

## DEPRECIACION (anual)

Se calcula sobre el 10% del costo de la maquinaria y equipo, y el 5% del costo de construcción.

- Depreciación maquinaria y equipo	\$30,114,414.00
- Depreciación construcción	3,504,222.00
Total	= \$33;618,636.00

## VENTAS

La política de ventas se basará en que todo el producto terminado se vende.

Producción.-

<u>ton/día</u>	<u>ton/dos semanas</u>	<u>ton/año</u>
960	11,520	345,600

Precio de Venta.-

El precio de venta del Superfosfato Simple es de \$43,005.00/ton.

Ventas (\$).-

<u>\$/día</u>	<u>\$/mes</u>	<u>\$/año</u>
41;284,800.00	495;417,600.00	14,862,528,000.00

## GASTOS DE OPERACION (anuales)

Previsión Social (20% Salarios)	\$ 4;536,000.00
Depreciación maquinaria y equipo	30;114,414.00
Depreciación edificios	3;504,222.00
Mantenimiento de la planta (7% de inversión)	28;317,587.00
Seguros de la planta	4;045,370.00
Prestaciones.-	
INFONAVIT (5% de salarios)	1;134,000.00
Seguro Social (4% de salarios)	907,200.00
Aguinaldos (15 días de salario)	945,000.00

---

---

Total de Gastos de Operación = \$73;503,793.00

## GASTOS ADMINISTRATIVOS

Mobiliario de oficina	\$15;000,000.00
Papelería	1;200,000.00
	\$16;200,000.00
Total de Gastos Admvos. =	\$16;200,000.00

## GASTOS DE VENTAS

Publicidad y promoción	\$ 4;000,000.00
------------------------	-----------------

## GASTOS FINANCIEROS

Préstamo = \$878;556,924.00

Capital = \$219;639,231.00

Interés = 93.30%

Financiamiento a diez años con un año de gracia.

AÑO	Capital Insoluto	Amortización	Interés	Anualidad
1988	\$878;556,924.	—————	\$819;693,610	\$819;693,610
1989	878;556,924	\$97;617,436	819;693,610	917;311,046
1990	780;939,488	97;617,436	728;616,542	826;233,978
1991	683;322,052	97;617,436	637;539,474	735;156,910
1992	585;704,616	97;617,436	546;462,407	644;079,843
1993	488;087,180	97;617,436	455;385,339	553;002,775
1994	390;469,744	97;617,436	364;308,271	461;925,707
1995	292;852,308	97;617,436	273;231,203	370;848,639
1996	195;234,872	97;617,436	182;154,136	279;771,572
1997	97;617,436	97;617,436	91;077,068	188;694,504

## EFECTO DE LA INFLACION

AÑO	% DE INFLACION *	INDICE
1988	150	2.50
1989	37	1.37
1990	46	1.46
1991	28	1.28
1992	30	1.30
1993	30	1.30
1994	30	1.30
1995	30	1.30
1996	30	1.30
1997	30	1.30

\* Fuente: Proyecto Macroeconómico de CIEMEX-Warthon.





AÑO	1990	1991
INFLACION	46%	28%
VENTAS	\$29,728,027,980.00	\$38,051,870,000.00
- COSTO DE PROD.	<u>36,073,884,400.00</u>	<u>46,174,570,000.00</u>
UTILIDAD BRUTA	\$-6,345,856,420.00	\$-8,122,700,000.00
- GASTOS DE OPERACION	147;022,286.00	188,188,526.00
GASTOS ADMINISTRATIVOS	32;403,240.00	41;476,147.00
GASTOS DE VENTAS	8;000,800.00	10;241,024.00
GASTOS FINANCIEROS	<u>\$ 728;616,542.00</u>	<u>\$ 637;539,474.00</u>
UTILIDAD NETA (antes imp's.)	\$-7,261,899,288.00	\$-9,000,145,171.00
I.S.R. (42%)		
R.T.U. (10%)		
UTILIDAD NETA	\$-7,261,899,288.00	\$-9,000,145,171.00
(+) DEPRECIACION	33;618,636.00	33;618,636.00
(-) AMORTIZACION	<u>97;617,436.00</u>	<u>97;617,436.00</u>
FLUJO DE EFVO. INFLADO	\$-7,325,898,088.00	\$-9,064,143,971.00
FLUJO DE EFVO. DEFLACTADO	\$-1,465,033,114.00	\$-1,416,130,882.00

## CONCLUSIONES

Del anterior estudio se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- \* El proceso de producción para el fertilizante Superfosfato Simple es bastante sencillo.
- \* La gran cantidad de materia prima requerida y, por lo tanto, su costo tan elevado, hacen incosteable una inversión en una planta de Superfosfato Simple con las condiciones de la que se presentó en este anteproyecto.
- \* Para contrarrestar los altos costos de producción, especialmente el de la materia prima ácido sulfúrico, se presenta la alternativa siguiente:  
  
Para una industria que produzca ácido sulfúrico o que lo obtenga como sub-producto, realizar un estudio para una posible inversión en una planta de Superfosfato Simple.
- \* Con respecto a la decisión de invertir o no en una planta de este tipo, los datos obtenidos en el Estado de Resultados para los próximos cuatro años nos señalan que no es conveniente la inversión ya que nos arroja pérdidas y no utilidades para ninguno de los años. Por lo tanto, no se recomienda invertir.

APENDICE

TABLA # 1

\* Recursos y reservas mundiales de Roca Fosfórica

<u>LUGAR</u>	<u>RESERVAS (X10<sup>6</sup> ton.)</u>	<u>RECURSOS (X10<sup>6</sup> ton.)</u>
Argelia	500	600
Marruecos	5000	35000
Túnez	500	800
Angola	20	100
Egipto	800	2000
Arabia Saudita		1000
Mongolia	250	700
México	1140	0.07
Estados Unidos	7600	13000
Africa del Sur	100	1300
Australia	500	1500
Perú		6100

TABLA # 2

Cantidades (en kgs. por hectárea) de Superfosfato Simple necesarias para fertilizar. [Además se requieren otros tipos de fertilizantes].

<u>Cultivo</u>	<u>Cantidad de Superfosfato Simple</u>
Trigo	300 a 400
Cebada	300 a 400
Centeno	200 a 300
Avena	200 a 350
Remolacha	400 a 500
Papa	400 a 500
Nabos	300 a 400
Zanahorias	400 a 500
Garbanzos	400 a 500
Frijol	400 a 500
Alfalfa	400 a 500
Maíz	400 a 500
Arroz	500 a 600
Olivo y naranjo	400 a 500
Vid	400 a 500

TABLA # 3

Variación del análisis del Superfosfato Simple con la edad			
Edad (días)	T(°C)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> asimilable, %	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> libre, %
Recién hecho	100	17.09	10.97
1	70	18.38	7.85
2	69	18.74	8.22
3	69	18.84	7.91
4	69	18.95	6.49
7	71	19.13	5.88
8	70	19.17	5.64
9	69	19.18	5.39
11	63	19.42	4.90
14	59	19.37	5.02
15	59	19.57	4.66
16	47	19.45	4.53
19	50	19.65	4.41
20	48	19.61	4.41
21	47	19.65	4.17
23	46	19.68	3.92
30	43	19.95	3.43
36	44	19.85	3.31
44	33	20.12	3.06
51	34	20.17	3.06
58	33	20.19	2.94

Masas molares de los compuestos que intervienen en la reacción:



REACCION.-



$$(1008.62)(1) + (98.07)(7) + (18.01)(3) = (252.07)(3) + (136.14)(7) + (20.0)(2)$$

$$1,749.14 = 1749.19 [=] \text{ kgs.}$$



Cálculo de capacidades caloríficas medias.

Se utilizó la Regla de Kopp para calcular los Cp's de la roca fosfórica y del Superfosfato. La Regla de Kopp establece que, a temperatura ambiente, la suma de las capacidades caloríficas de los elementos constitutivos es aproximadamente igual a la capacidad calorífica del compuesto sólido.

Para el  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$

$$\text{Cp Ca} = (6.2 \times 10) = 62.00 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Cp P} = (5.4 \times 6) = 32.40 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Cp O} = (4.0 \times 24) = 96.00 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Cp F} = (5.0 \times 2) = \underline{10.00 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}}$$

$$200.40 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K} = \text{Cp Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$$

Pero este Cp de la roca fosfórica es a 25°C. Para obtener el Cp<sub>m</sub> se deberá calcular también el Cp a la temperatura de salida del mezclador, la cuál es 100°C. Boltzmann demostró que con el aumento de temperatura las capacidades caloríficas atómicas a volumen constante, de los elementos, alcanzan un valor máximo de 3 R = 5.97 cal/grado. Por lo tanto:

$$\text{Cp RF} = 219.20 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg } ^\circ\text{K}} \text{ a } 100^\circ\text{C y}$$

$$\text{Cp}_m \text{ RF} = 209.80 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol-kg } ^\circ\text{K}}$$

Para el  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

$$\text{Cp Ca} = (6.2 \times 1) = 6.20 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Cp P} = (5.4 \times 2) = 10.80 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Cp H} = (2.3 \times 6) = 13.80 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}$$

$$\text{Cp O} = (4.0 \times 9) = \underline{36.00 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K}}$$

$$66.80 \text{ Kcal/mol-kg } ^\circ\text{K} = \text{Cp CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

De acuerdo a la teoría de Boltzmann:

$$C_p \text{ CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = 74.86 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol} \cdot \text{kg} \text{ } ^\circ\text{K}} \text{ a } 100^\circ\text{C y}$$

$$C_{p_m} = 70.83 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol} \cdot \text{kg} \text{ } ^\circ\text{K}}$$

Para el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$C_{p_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = 33.25 + 3.727 \times 10^{-2} T \quad [=] \frac{\text{Kcal}}{\text{mol} \cdot \text{kg} \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$C_{p_m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (33.25 + 3.727 \times 10^{-2} T) dT}{T_2 - T_1}$$

$$C_{p_m} = \frac{33.25 (T_2 - T_1) + 3.727 \times 10^{-2} (T_2^2 - T_1^2)}{T_2 - T_1}$$

Con  $T_1 = 298^\circ\text{K}$  y  $T_2 = 373^\circ\text{K}$ :

$$C_{p_m} \text{ H}_2\text{SO}_4 = 58.25 \frac{\text{kcal}}{\text{mol} \cdot \text{kg} \text{ } ^\circ\text{K}}$$

Para el agua

$$C_p \text{ a } 25^\circ\text{C} = 17.99 \text{ Kcal/mol} \cdot \text{kg } ^\circ\text{K}$$

$$C_p \text{ a } 100^\circ\text{C} = 18.14 \text{ Kcal/mol} \cdot \text{kg } ^\circ\text{K}$$

$$C_{p_m} = 18.07 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol} \cdot \text{kg} \text{ } ^\circ\text{K}}$$

Para el HF

$$C_p \text{ a } 25^\circ\text{C} = 7.0 \text{ Kcal/mol}\cdot\text{kg}$$

$$C_p \text{ a } 100^\circ\text{C} = 6.8 \text{ Kcal/mol}\cdot\text{kg}$$

$$C_{p_m} = 6.90 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}\cdot\text{kg } ^\circ\text{K}}$$

Para el sulfato de calcio

$$C_p = 18.52 + 0.02197 T - \frac{156,800}{T^2} \quad [=] \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}\cdot\text{kg } ^\circ\text{K}}$$


$$C_{p_m} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (18.52 + 0.02197 T - 156,800/T^2) dT}{T_2 - T_1}, \quad \begin{matrix} T_2 = 373^\circ\text{K} \\ T_1 = 298^\circ\text{K} \end{matrix}$$

Entonces:


$$C_{p_m} = 31.85 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}\cdot\text{kg } ^\circ\text{K}}$$

 Calidad y cercanía de materia prima.

---

 Mano de Obra.

---

 Mercado.


---

 Vías de comunicación.

---

 Agua para uso industrial.

---

 Costo del terreno.

---

 Servicios.

---

La potencia del mezclador es de 84 HP, y como nuestra base es de una hora, el trabajo suministrado al sistema por el mezclador es:

$W = 53,892.00 \text{ Kcal.}$  ya que:

$1 \text{ HP} = 746 \text{ watt.}$

$252 \text{ cal.} = 0.293018 \text{ watt-hora.}$

$1 \text{ Kcal} = 1,000 \text{ cal.}$

Y además  $W = Pt = 84 \text{ HP} \times 1 \text{hra.}$

BIBLIOGRAFIA

Jones, Ulysses S,  
Fertilizers & Soil Fertility  
Reston Publishing Co.  
Virginia, E.U.A., 1,973.

Kirk-Othmer,  
Enciclopedia de Tecnología Química  
Publicaciones Wiley Interscience  
E.U.A., 1,984.

Snell-Ettre,  
Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis  
Edit. Foster Dee Snell & Clifford L. Hilton  
E.U.A., 1,966.

Betejtin, A.,  
Curso de Mineralogía  
Editorial Mir.,  
Moscú, U.R.S.S., 1,970 .

Himmelblau, David M.,  
Principios y Cálculos Básicos de la Ingeniería Química  
7a. edición, Editorial CECSA  
México, D.F., 1,982 .

Perry, John H.,  
Manual del Ingeniero Químico  
5a. edición, Ed. McGraw-Hill  
México, D.F., 1,982 .

Paterson, J.B.E. y Ede R.,  
Suelos y Abonado en Horticultura  
Edit. Acribia  
Zaragoza, España, 1,970.

Nelson, L.B.,  
Changing Patterns in Fertilizer use  
Soil Science Society of America, Inc.  
Madison, Wisconsin, E.U.A., 1,968.

Peters, M.S. & Timmerhaus, K.D.,  
Plant Design & Economics for Chemical Engineers  
2a. edición. Edit. McGraw-Hill Book Co.  
E.U.A., 1.968.

Littlejohn, Charles E.,  
Introducción a la Ingeniería Química  
Compañía edit. Continental, S.A.  
5a ed. México, D.F., 1,978.

Hougen, Watson y Ragatz,  
Principios de los Procesos Químicos  
Edit. Reverté, S.A.  
México, D.F., 1,964.