

1072 666(64)

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Facultad de Ciencias Químicas.

Estudio de un Proyecto de una Fábrica
de Yeso en Guadalajara, Jal.

Tesis

que presenta el señor

Camilo Valencia Areña.

Para obtener el Título de

Ingeniero Químico.



QUÍMICA

Guadalajara, Jal., Abril de 1952.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis queridos padres.

A mis maestros.

INDICE :

- I.—INTRODUCCION.
 - II.—HISTORIA Y GENERALIDADES.
 - III.—PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.
 - IV.—SELECCION Y DESCRIPCION DEL PROCESO.
 - V.—MATERIA PRIMA DISPONIBLE.
 - VI.—SELECCION DEL EQUIPO.
 - VII.—LOCALIZACION Y PLANO DE LA FABRICA.
 - VIII.—DIAGRAMA DE FLUJO.
 - IX.—ESTUDIO ECONOMICO.
 - X.—CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

A mis queridos padres.

A mis maestros.

INDICE :

- I.—INTRODUCCION.
 - II.—HISTORIA Y GENERALIDADES.
 - III.—PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.
 - IV.—SELECCION Y DESCRIPCION DEL PROCESO.
 - V.—MATERIA PRIMA DISPONIBLE.
 - VI.—SELECCION DEL EQUIPO.
 - VII.—LOCALIZACION Y PLANO DE LA FABRICA.
 - VIII.—DIAGRAMA DE FLUJO.
 - IX.—ESTUDIO ECONOMICO.
 - X.—CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

I.

INTRODUCCION.

El objeto de este trabajo no es únicamente cumplir con un requisito escolar, sino acrecentar el interés que ya existe por este importante mineral, (puesto que actualmente existe ya en Guadaluajara una fábrica de yeso y otra más está en construcción) que tanto en el Estado de Jalisco como en el vecino Estado de Colima, se encuentra en grandes yacimientos, teniendo una pureza bastante aceptable.

En el caso presente se usará el yeso natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para la obtención del mortero de yeso, el cual tiene numerosas aplicaciones, entre otras la fabricación de moldes para la industria cerámica, para la industria huleira, para odontología y cirugía, para la manufactura de rondanas y empaques de asbesto, etc.; en la construcción se utiliza para aplanados y en la manufactura de formas prefabricadas; en la industria química como deshidratante y así se podría continuar mencionando su diversidad de aplicaciones.

Dicho el motivo que me movió a elegir este tema, iniciaré su desarrollo con el deseo de contribuir con mi grano de arena al progreso industrial de México.

II.

HISTORIA Y GENERALIDADES.

Uno de los morteros más amplia y antiguamente conocidos es indudablemente el yeso, pues la historia nos dice que 2600 años A. C. ya se encontraba en las construcciones de los egipcios.

El mineral llamado yeso, cuando se encuentra absolutamente puro es un sulfato de calcio hidratado, formado por una molécula de sulfato de calcio y dos moléculas de agua, cuya fórmula química es: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; reduciendo ésto a porcentajes de peso será:

YESO ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	}	Sulfato de Calcio (CaSO_4)	79.1%
		Agua (H_2O)	20.9%

El sulfato de calcio se puede considerar formado de 41.2% de óxido de calcio (CaO) y 58.8% de anhídrido sulfúrico (SO_3). Reducido a sus componentes fundamentales, la composición del yeso puro puede ser representada como sigue:

YESO ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	{	Oxido de Calcio (CaO , $41.2 \times 0.79 =$)	32.6%
		Anhídrido Sulfúrico (SO_3)	58.8 \times 0.79 = 46.5%
		Agua (H_2O)	20.9%

El yeso, cuya composición se acaba de mencionar, es la materia prima que sirve de base para la manufactura del "mortero de yeso" el cual es un sulfato de calcio semihidratado, formado por una molécula de sulfato de calcio y media molécula de agua, cuya fórmula química es: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$; y reducido a sus componentes fundamentales su composición puede ser expresada en la siguiente forma:

MORTERO DE YESO ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)	{	Oxido de	}	93.8% CaSO_4	
		Calcio (CaO)			38.6%
		Anhídrido			55.2%
		Sulfúrico (SO_3)			
		Agua (H_2O)	6.2%		

principalmente en el tiempo que dura el fraguado, y en la dureza del material después del fraguado, así como de la finura a que haya sido molido, pues para ciertas aplicaciones requerirá más finura que para otras. Comúnmente también se le agregan substancias extrañas para prepararlo mejor a determinadas aplicaciones que se le vayan a dar.

La diferencia entre el mineral llamado yeso y el mortero obtenido de dicho mineral consiste pues en el agua de hidratación, mientras que el primero está bihidratado, el segundo tiene una hidratación parcial y lo llamamos semihidratado; por otra parte, también existe diferencia en el sistema de cristalización de uno y otro, siendo "monoclinico" en el bihidratado y "rómico" en el semihidratado.

El mineral llamado "anhidrita" está estrechamente ligado al yeso, es un sulfato de calcio anhidro, cuya fórmula química es CaSO_4 , y su sistema de cristalización es rómico. Corresponde pues su composición, al producto obtenido por el fuerte calentamiento del yeso, suficiente para evaporar toda el agua de hidratación. La anhidrita se presenta, aunque en pequeñas cantidades, en casi todos los depósitos de yeso.

Muy conveniente e interesante será mencionar la aplicación que tiene el yeso como materia prima en la fabricación de ácido sulfúrico; aunque en el laboratorio se logró desde fines del siglo pasado, hace apenas 20 años que industrialmente se puso en plena producción.

El yeso en roca, se presenta en forma de estratos, frecuentemente asociado con estratos de roca de sal y casi siempre interestratificado con delgadas capas de piedra caliza. Los depósitos de roca de yeso deben su origen a la evaporación gradual, en represas de lagos o en brazos de mar poco profundos, de aguas que acarrean sulfato de calcio en solución. Si una determinada cantidad de agua se evapora, depositará las sales que contiene, el orden en el cual dichas sales sean depositadas depende principalmente de sus proporciones relativas en el agua y de su solubilidad respectiva. El agua normal procedente de una corriente, lago u océano, acarreará entre otras sales, carbonato de calcio, sulfato de calcio y cloruro de sodio; si esa agua fuere evaporada, resultarían por lo tanto, depósitos o sedimentos de piedra caliza, yeso y sal común. Como arriba anotamos estos tres minerales están comunmente asociadas en los depósitos de yeso.

Indudablemente, tanto el proceso de fabricación como las aplicaciones del mortero de yeso, se han ido perfeccionando y ampliando de acuerdo con el desarrollo industrial de la humanidad; este desarrollo ha originado la necesidad de fabricar diferentes clases de yeso de acuerdo con la aplicación que se le vaya a dar; a este se debe que en el comercio encontremos yesos con diferentes nombres, tales como: yeso para estucar, yeso para moldes, yeso para pisos, yeso para dentistas, etc.

Las diferencias entre las distintas clases de yesos, consisten

principalmente en el tiempo que dura el fraguado, y en la dureza del material después del fraguado, así como de la finura a que haya sido molido, pues para ciertas aplicaciones requerirá más finura que para otras. Comúnmente también se le agregan substancias extrañas para prepararle mejor a determinadas aplicaciones que se le vayan a dar.

III.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

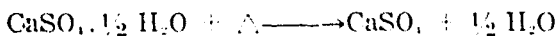
El yeso crudo presenta diferentes variedades en lo que respecta a su forma, contextura, color, etc., aunque su sistema de cristalización es igual en todas ellas. Algunas de estas variedades han recibido distintos nombres tales como: alabastro, selenita, roca yesífera, etc.

Cuando se encuentra puro es blanco y en su forma cristalina es transparente. Las impurezas que generalmente contiene, aunque en pequeñas cantidades, son: sílice, alúmina, óxido férrico, carbonato de magnesio y carbonato de calcio, las cuales destruyen su transparencia y afectan su color.

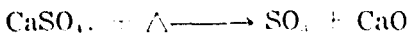
La dureza de este mineral es sumamente baja, pues ocupa el segundo lugar en la escala de Mohs.

Sometiéndolo a un calentamiento pierde su agua de hidratación, pasando primeramente a la forma semihidratada y luego a la anhidra. A 65° C. empieza a deshidratarse de acuerdo con la siguiente reacción:

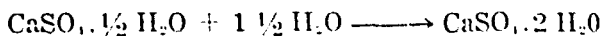
$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + 1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$$
y si la temperatura sube a más de 190° C. la formación de sulfato de calcio anhidro empieza a verificarse:



Después de los 1200° C. se descompone en la siguiente forma:



El fraguado o endurecimiento que se verifica al mezclar sulfato de calcio semihidratado con agua, es causado por la disolución de los cristales de semihidrato en agua, con la recristalización simultánea del bihidrato, según la siguiente reacción:



La recristalización citada se debe a que el bihidrato es menos soluble que el semihidrato, por lo tanto la solución de bihidrato se sobresatura, el exceso de soluto se separa en forma de cristales de sulfato de calcio bihidratado y el semihidrato continúa disolviéndose.

Al verificarse el fraguado, se observa una expansión lineal de 1% aproximadamente, así como una elevación de temperatura de unos 20° C., debiéndose este aumento en la temperatura al calor desprendido por la cristalización del sulfato de calcio bihidratado. El tiempo que dura el fraguado varía de 10 a 25 min., pudiendo ser mayor o menor según se desee.

Tanto el tiempo de fraguado como la dureza después del fraguado dependen principalmente de la pureza del mineral, de la finura que se le haya dado en la molienda, de la temperatura y tiempo a que se le sometió a la cocción, así como de la cantidad de agua que se le añadió para el fraguado.

Mediante la adición de ciertas sustancias se puede acelerar o retardar el tiempo de fraguado, así como aumentar la dureza final; dichas sustancias se denominan aceleradoras, retardadoras o endurecedoras según el caso.

Como ya se dijo, a temperatura de 65° C. es posible verificar la deshidratación a semihidrato, pero para fines industriales el movimiento de agua a esta temperatura es muy lento y temperaturas entre 150° y 200° C. son usadas.

Si se permite que la temperatura suba arriba de los 200° C. el sulfato de calcio anhidro es gradualmente formado y si se eleva hasta 800° o 1000° C., se obtiene un producto comúnmente llamado "yeso para pisos" el cual se rehidrata a sulfato de calcio bihidratado pero muy lentamente pues tarda uno o dos días. En la manufactura de yeso para pisos se recomiendan temperaturas suficientemente elevadas para obtener cierta cantidad de óxido de calcio en el producto y consecuentemente un material más resistente. Se ha demostrado que la composición química del yeso para pisos varía con la temperatura de calcinación, siendo el porcentaje de óxido de calcio 2 o 3%, cuando se verifica a 800° C. y elevándose dicho porcentaje a medida que se eleva la temperatura de calcinación.

Se ha tratado de regenerar el sulfato de calcio semihidratado partiendo de moldes de yeso usados, la composición de los cuales es sulfato de calcio bihidratado; esta regeneración se ha logrado con resultados satisfactorios, pero siguiendo un proceso diferente al que se sigue cuando se tiene como materia prima yeso natural.

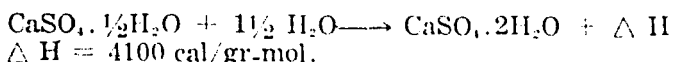
Como se dijo en el capítulo anterior el sulfato de calcio bihidratado y el semihidratado difieren en el sistema de cristalización, esto

se debe a que en los cristales del bihidrato, entre los átomos de calcio y los grupos de radicales sulfato existen delgadas capas de moléculas de agua, las cuales ocupan una posición especial en la estructura del cristal, en tal forma que resulta imposible remover dichas moléculas sin alterar la estructura cristalina.

A continuación se indican algunas propiedades físicas del sulfato de calcio semihidratado con una pureza de 100%, así como algunos calores de hidratación y calores específicos.

Peso específico del $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ——— — 2.75

Calor de hidratación:



- Calor específico del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 21.84 + 0.076 T cal/gr-mol.
- Calor específico del vapor de agua 7.45 + 0.002 T cal/gr-mol.
- Calor específico del $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 16.95 + 0.039 T cal/gr-mol.
- Resistencia a la compresión del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en estado húmedo, una hora después del fraguado 200 a 215 Kg/cm².
- Resistencia media a la tensión del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en estado húmedo, una hora después del fraguado 25 a 28 Kg/cm².

En estado seco las resistencias a la tensión y la compresión son de 50 a 55 y de 400 a 430 Kg/cm² respectivamente.

El mortero de yeso para construcciones debe llenar los siguientes requisitos de acuerdo con la norma oficial:

- Pureza 50%
- Resistencia mínima a la tensión 11.6 Kg/cm².
- Resistencia mínima a la compresión 58 Kg/cm².
- Finura 100% a través de malla No. 14 y 80% a través de malla No. 100.

IV.

SELECCION Y DESCRIPCION DEL PROCESO

En la manufactura del yeso se conocen tres procesos diferentes, consistiendo la diferencia en efectuar la deshidratación antes o después de la pulverización, así como en verificar dicha deshidratación en una o en dos etapas; según éste se establecen los siguientes procesos:

- 1.—a) Trituración tosca.
b) Pulverización.
c) Deshidratación.
- 2.—a) Trituración tosca.
b) Deshidratación.
c) Pulverización.
- 3.—a) Trituración tosca.
b) Comienzo de la deshidratación.
c) Pulverización.
d) Fin de la deshidratación.

El primer proceso es el que actualmente se sigue en la mayor parte de las fábricas de los Estados Unidos y es el que se seguirá en el presente trabajo, las razones por las cuales se selecciona este proceso se verán a continuación.

Es conveniente efectuar la deshidratación en una sola etapa o paso, ya que en esta forma el consumo de combustible es mucho menor que haciéndolo en dos etapas, pues cada vez sería necesario calentar el material desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de deshidratación.

La ventaja de pulverizar el material antes de deshidratarlo, consiste en que en esa forma se obtiene un producto más uniforme, debido a que la deshidratación se ha verificado más o menos con igual facilidad en todas las moléculas, lo cual no puede ser cuando se trata

de verificar la deshidratación con el material únicamente triturado, pues siendo relativamente grande el tamaño de las partículas, la temperatura de las moléculas superficiales no será en un momento dado igual a la temperatura de las moléculas centrales, originando ésto que se necesite más tiempo para suministrar el calor necesario para la deshidratación, a las moléculas centrales que a las superficiales, siendo esta la causa de que moléculas superficiales se deshidraten totalmente, mientras que algunas centrales probablemente hayan quedado en la forma de bihidrato.

La semideshidratación se puede efectuar en "ollas de cocción" que se describirán más adelante, o en hornos rotatorios; un 90% de las fábricas de los Estados Unidos verifican dicha semideshidratación en ollas de cocción y en el presente caso este proceso se seguirá ya que es del que se dispone literatura con datos experimentales y por otra parte evidentemente es más fácil lograr un mejor control en la operación. El horno rotatorio presenta la ventaja de verificar la operación en una forma continua, pero presenta la desventaja de que deberá efectuarse con el mineral únicamente triturado, lo cual tiene el inconveniente arriba mencionado, aunque dicho inconveniente será de mucha o poca importancia según el empleo a que se vaya a destinar el producto, y efectivamente la tendencia de la industria yesera es hacia el horno rotatorio, ya que la continuidad del proceso y probablemente una más elevada eficiencia térmica, destituirán el proceso intermitente de las ollas de cocción.

A continuación se indica detalladamente la forma en que se efectuará el proceso.

Primeramente se triturará el material hasta reducirlo a partículas de media pulgada y menores, en seguida se verificará la pulverización obteniendo un producto con una finura de 90% a través de la malla No. 100. Una vez que el material ha sido pulverizado, se procederá a deshidratarlo, haciéndolo en una olla de cocción; mediante pruebas experimentales se averiguará el tiempo necesario para verificar la deshidratación de cada carga. Las pruebas mencionadas consistirán en tomar muestras y deshidratarlas totalmente en el laboratorio, para que mediante un ligero cálculo se conozca si el bihidrato ya se transformó en un semihidrate o qué cantidad de agua es necesario aún que pierda.

EJEMPLO: Se toma una muestra de 500 gm., se somete a una temperatura de 500° C. hasta obtener peso constante, se pesa y se observa que su peso disminuyó 65 gm., o sea que después del calentamiento pesó 435 gms.

Lo anterior indica que la muestra de 500 gm. se componía de 65 gm. de agua y 435 gm. de sulfato de calcio anhidro.

Peso molecular del CaSO_4 136.14
 Peso molecular del $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ 145.15
 435×145.15
 435 gm. de CaSO_4 corresponden a $\frac{\quad}{136.14} = 462$ gm.
 de $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$.
 500 — 462 = 38 gm.

Per lo tanto, para obtener el sulfato de calcio semihidratado es necesario aún quitar 38 gm. de agua a los 500 gm. de muestra.

O bien expresándolo en porcientos, se tiene que el sulfato de calcio semihidratado ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) contiene:

$$\dots \frac{9.01 \times 100}{145.15} = 6.2\%$$

de agua, así que la cocción habrá llegado a su fin, cuando al deshidratar completamente una muestra mediante un fuerte calentamiento, pierda el 6.2% de su peso.

Los cálculos anteriores se hicieron suponiendo material con 100% de pureza, en el presente trabajo la materia prima disponible tiene 97% de pureza por lo cual el contenido de agua de hidratación en el sulfato de calcio semihidratado baja a 6%. Experimentalmente hablando se ha encontrado conveniente quitar 0.5% más del agua de hidratación, que la necesaria para obtener el semihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), lo cual corresponde aproximadamente a la formación de 7.75% de sulfato de calcio anhidro (CaSO_4), dando esto por resultado un mejoramiento en las cualidades de trabajo del mortero y un alargamiento del tiempo que puede estar almacenado sin perder sus cualidades, debiéndose esto último a que el sulfato de calcio anhidro presente se encargará de absorber la humedad de la atmósfera para transformarse en semihidrato, evitando en esta forma que el semihidrato se transforme en bihidrato.

Como se dijo en el capítulo anterior, temperaturas entre 150° y 200° C. son usadas en la práctica para la obtención del semihidrato, sin embargo la temperatura más aconsejada y que mejores resultados prácticos ha dado, verificando la deshidratación en ollas de cocción, es 170° C. Esta temperatura se usará en el presente caso, la cual será controlada automáticamente mediante un válvula que regulará la entrada de combustible al quemador, no permitiendo así, que la temperatura del material pase de los 170° C.

V.

MATERIA PRIMA DISPONIBLE.

El Estado de Jalisco tiene bastantes yacimientos de yeso; las regiones en que se encuentran dichos yacimientos son las siguientes:

- Hostotipaquillo.
- Barranca de Ibarra.
- Chiquilistlán.
- Centla
- Zacaleo.
- Soyatlán de Adentro.

En el vecino Estado de Colima en la región de Coquimatlán, se encuentra un yacimiento bastante grande, cuyo mineral es de buena calidad.

De los yacimientos mencionados, muy pocos son los que se encuentran en explotación, debido a que la mayor parte de ellos están bastante alejados de las vías de comunicación.

Tomando en cuenta la calidad del mineral, así como la accesibilidad del yacimiento, y su proximidad a las vías de comunicación, sobre todo a la vía férrea, se considera que los yacimientos más adecuados para suministrar la materia prima a esta ciudad, son: Soyatlán de Adentro, Jal. y Coquimatlán, Cel.

Tanto en los yacimientos de Coquimatlán como en los de Soyatlán de Adentro se encuentran dos variedades de yeso, las cuales difieren en sus aptitudes físicas y en su pureza.

La composición química de cada uno de los minerales de los yacimientos seleccionados, se puede observar a continuación:

Mineral procedente de Soyatlán de Adentro, Jal.

Apariencias físicas	Análisis químico.						
	Al ₂ O ₃ Per. SiO ₂ Fe ₂ O ₃ CaO MgO SO ₃ N.D. Pureza						
Gris, duro, amorfo	21.01	0.55	0.34	31.72	0.99	45.17	0.07 94.13%
Blanco, duro, amorfo	20.72	0.09	0.09	32.15	0.81	45.96	0.19 98.82%

Mineral procedente de Coquimatlán, Col.

Apariencias físicas	Análisis químico.								
	Al ₂ O ₃	Per.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	N.D.	Pureza
Blanco, duro, amorfo	21.45	0.45	0.33	31.81	0.44	45.46	0.05		97.54%
Gris en hojas	22.51	0.92	0.27	32.77	0.52	42.87	0.14		92.21%

De los yacimientos seleccionados, el de Soyatlán de Adentro, Jal. es preferible al de Coquimatlán, Col., pues además de encontrarse más cerca de esta ciudad, es el que presenta mas elevado porcentaje de pureza.

El acarreo del mineral desde el yacimiento a esta ciudad será por cuenta del proveedor, el cual lo enviará en góndelas por la vía férrea y éstas se descargarán en el patio de almacenamiento de la planta. El coste total del mineral puesto en la planta, será aproximadamente de \$40.00 por tonelada.

Tanto la materia prima como el producto elaborado, se deberán checar continuamente para controlar la calidad de la producción; la forma en que se verificará dicho trabajo, se indica a continuación:

MATERIA PRIMA:

De cada partida de materia prima que llegue a la planta, se tomará una muestra representativa y se harán las siguientes determinaciones: humedad o agua libre, agua de hidratación y anhídrido sulfúrico.

Humedad.

Una muestra de 500 gm. se coloca en una vasija, extendiéndola en forma de que quede una capa delgada y se calienta a 45° C. durante 2 horas o más, hasta obtener peso constante, se deja enfriar en un desecador y se pesa. La pérdida de peso nos indicará el contenido de humedad o agua libre en la muestra.

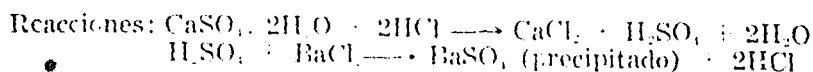
Agua de hidratación:

Después de la determinación anterior, se calentará la muestra a 300° C. hasta obtener peso constante, se enfría en un desecador, se pesa, y por diferencia en peso se conocerá el agua de hidratación o agua combinada.

Anhídrido sulfúrico:

Se toma una muestra de medio gramo previamente secada, y se disuelve en 50 c. c. de ácido clorhídrico diluido (1:5), se hierve, se a-

gregan 100 c. c. de agua hirviendo y se continúa la ebullición por 5 minutos. Se filtra y se lava cuidadosamente con agua caliente. Se calienta nuevamente y estando en ebullición se agregan 20 c. c. de solución hirviendo de cloruro de bario al 10%. Se calienta en baño maría por una hora o más, si es necesario, hasta que la precipitación se complete. Se filtra, se lava y se seca. Se quema el papel filtro y se calcina hasta el rojo brillante por 15 minutos. Se enfría en un desecador y se pesa. El peso, que es el del sulfato de bario precipitado, se multiplica por el factor 0.34297 para determinar el peso de anhídrido sulfúrico correspondiente.



Factor:

$$\frac{\text{SO}_3}{\text{BaSO}_4} = \frac{80.06}{233.42} = 0.34297$$

Si se quiere conocer el peso correspondiente de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ al BaSO_4 precipitado, entonces deberá usarse el siguiente factor:

$$\frac{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{\text{BaSO}_4} = \frac{172.17}{233.42} = 0.73759$$

PRODUCTO ELABORADO:

El control del producto elaborado se obtendrá mediante las siguientes determinaciones físicas: finura a través de la malla No. 100., tiempo de fraguado, resistencia a la tensión y resistencia a la compresión.

Con el fin de que los resultados de las diferentes pruebas o determinaciones puedan ser directamente comparables, es necesario que todas ellas se hagan agregando siempre la misma cantidad de agua, esto es, que la proporción entre el producto y el agua que se le mezcla sea constante.

Finura:

La finura del producto se estará chequeando continuamente, tomando cada 4 o 5 horas muestras, tanto de la descarga del molino como de la descarga de la olla de ección. Esta determinación se hace tamizando 100 gms. de material en la malla No. 100 y pesando el residuo que no pasa a través de dicha malla.

Tiempo de fraguado:

La determinación del "tiempo de fraguado" se efectuará utilizan-

de el aparato llamado Aguja de Vicat, el cual deberá llenar los siguientes requisitos:

- a.—Peso de la barra móvil 300 más o menos 0.5 gr.
- b.—Diámetro de la barra de penetración . . . 1 más o menos 0.005 cm.
- c.—Diámetro de la aguja 1 más o menos 0.05 mm.
- d.—Diámetro interior del anillo en la base inferior 7 más o menos 0.3 cm.
- e.—Diámetro interior del anillo en la base superior 6 más o menos 0.3 cm.
- f.—Altura del anillo 4 más o menos 0.1 cm.
- g.—Escala graduada.

Al comparar la escala graduada con una escala patrón graduada al 0.1 mm. de aproximación, no deberá acusar divergencias de 0.25 mm. en ninguno de sus puntos.

El procedimiento que se seguirá se indica a continuación:

Se toman 200 grs. de la muestra y se mezclan con la cantidad adecuada de agua. Se limpia la aguja perfectamente y se prueba cada 2 minutos. El fraguado se considera completo cuando la aguja no penetra hasta el fondo de la muestra.

En esta prueba se debe tener cuidado de que todos los utensilios estén limpios, especialmente libres de todo vestigio de yeso endurecido. Debe usarse siempre agua destilada.

Resistencia a la tensión:

Se mezclan 500 gr. de muestra con la cantidad adecuada de agua, se vierte la pasta resultante en un juego de 5 moldes de losetas evitando la formación de burbujas de aire y llenando hasta el nivel del molde. Después del fraguado o endurecimiento se sacan las losetas y se almacenan al aire a una temperatura de 40 C., hasta obtener peso constante. Enseguida se prueban las muestras en una máquina para determinar la resistencia a la tensión.

El promedio de los resultados obtenidos de las 5 muestras sujetadas a prueba, se reportará como la resistencia a la tensión del producto; excepto cuando en una o dos de las losetas haya una variación de 10% del promedio de las cinco, en cuyo caso deberán ser descartadas y la prueba a la tensión se reportará como el promedio de las restantes. En caso de que 3 o más losetas varíen más del 10% del promedio, el resultado será descartado y la prueba repetida.

Resistencia a la comprensión:

Se mezclan 2 Kgs. del producto con la cantidad de agua nece-

saria. Se vierte la pasta obtenida en 5 moldes de cubo, haciéndolo despacio a fin de evitar las burbujas de aire, y llenando hasta un nivel. Después del endurecimiento o fraguado, se sacan los cubos de los moldes y se guardan a una temperatura de 40° C. hasta obtener peso constante. Enseguida se prueban las muestras en la máquina apropiada.

El promedio de los resultados obtenidos se reportará como resistencia a la compresión del producto, excepto si uno, dos o tres cubos varían más del 10% del promedio de los cinco, en cuyo caso se hará como se indicó en la determinación anterior.

VI.

SELECCION DEL EQUIPO.

La selección del equipo se hará sobre la base de que la planta producirá 100 toneladas de sulfato de calcio semihidratado, cada 24 horas de trabajo continuo.

La materia prima se pesará al entrar a la fábrica, pesándola con todo y góndola y destarando después dicho peso, pesando la góndola vacía. Para efectuar estas pesadas es necesaria una báscula con capacidad de 100 toneladas; dicha báscula será del tipo "Sin resortes" ya que son con las que se obtiene mayor exactitud, aún después de mucho tiempo de uso.

La trituración inicial a que se someterá el material, se efectuará mediante una quebradora de quijadas tipo Universal. Se selecciona este tipo de quebradora, porque asegura un producto muy uniforme debido a que combina los principios de trituración de las quebradoras Dodge y Blake. Por cada revolución se verifican dos movimientos o carreras en las quijadas de la quebradora; uno en la parte superior y otro en la parte inferior.

Las características o ventajas observadas en esta quebradora, con respecto a otras, son: bajo costo inicial, bajo costo de mantenimiento, poco consumo de potencia, producto uniforme, capacidad para manejar materiales suaves y duros, así como secos y un poco húmedos, simple en operación y fácil accesibilidad a las partes.

Las especificaciones de la quebradora seleccionada son:

Dimensiones de la boca de alimentación: 12" x 20".

Tamaño máximo del producto en la descarga 1 1/2".

Capacidad: 7 toneladas por hora.

Potencia necesaria: 40 H. P.

El material triturado se elevará a la tolva de alimentación del molino mediante un "elevador de canchales", ya que tomando en cuenta la naturaleza y la forma en que se encuentra el material y tratándose de un movimiento vertical, es el tipo de elevador más aconsejable. La capacidad de dicho elevador será 7 toneladas por hora y la potencia necesaria 1.5 H. P.

La molienda o pulverización del yeso, según aconseja la National Gypsum Co., es conveniente efectuarla en un "molino de rodillos", con separador de "doble zumbador", ya que es con el que experimentalmente se han obtenido los mejores resultados; este tipo de molino tiene las siguientes características: regulable según se desee la fineza del producto, bajo costo de mantenimiento y simple en su manejo.

En este molino el material es pulverizado mediante la presión que ejercen un grupo de rodillos sobre un anillo fijo, dentro del cual giran. Los rodillos mencionados están suspendidos de unos pivotes con chumacera, estando estos últimos unidos a una flecha vertical que al ponerse en movimiento lanza los rodillos hacia afuera, debido a la fuerza centrífuga, haciendo presión sobre el anillo fijo, al mismo tiempo que unos arados situados bajo los rodillos elevan el material elevándolo entre estos y el anillo fijo. Una corriente de aire penetra por la parte inferior del molino, arrastrando el material hacia arriba una vez que está lo suficientemente fino.

En la parte superior del molino se encuentra el separador de "doble zumbador", que consiste en dos grupos de hojas o navajas radiales, unidas a un disco el cual gira mediante una flecha vertical. El movimiento rápido de las navajas, comunica cierta fuerza centrífuga a las partículas de material que se están moviendo hacia arriba, concentrando las partículas de mayor tamaño sobre la pared interior de la "cámara de separación", obligándolas a caer para que se continúen moliendo, hasta que su tamaño quede reducido lo suficiente para que la fuerza centrífuga que le comunique el separador, no sea tan grande como para entorpecer su ascenso. Como se ve, la fineza del producto se puede regular fácilmente según se desee, pues basta para ello hacer girar con mayor o menor velocidad el separador descrito.

La alimentación del molino es automática, mediante un control neumático el cual actúa por los cambios de presión dentro del molino, sosteniendo en esta forma su máxima eficiencia.

De acuerdo con la capacidad de la planta, el molino adecuado deberá llenar las siguientes especificaciones:

Capacidad: 6 toneladas por hora.

El material triturado se elevará a la tolva de alimentación del molino mediante un "elevador de camilones" ya que tomando en cuenta la naturaleza y la forma en que se encuentra el material y tratándose de un movimiento vertical, es el tipo de elevador más aconsejable. La capacidad de dicho elevador será 7 toneladas por hora y la potencia necesaria 1.5 H. P.

La molienda o pulverización del yeso, según aconseja la National Gypsum Co., es conveniente efectuarla en un "molino de rodillos", con separador de "doble zumbador", ya que es con el que experimentalmente se han obtenido los mejores resultados; este tipo de molino tiene las siguientes características: regulable según se desee la fineza del producto, bajo costo de mantenimiento y simple en su manejo.

En este molino el material es pulverizado mediante la presión que ejercen un grupo de rodillos sobre un anillo fijo, dentro del cual giran. Los rodillos mencionados están suspendidos de unos pivotes con chumacera, estando estos últimos unidos a una flecha vertical que al ponerse en movimiento lanza los rodillos hacia afuera, debido a la fuerza centrífuga, haciendo presión sobre el anillo fijo, al mismo tiempo que unos arados situados bajo los rodillos elevan el material colchándolo entre estos y el anillo fijo. Una corriente de aire penetra por la parte inferior del molino, arrastrando el material hacia arriba una vez que está lo suficientemente fino.

En la parte superior del molino se encuentra el separador de "doble zumbador", que consiste en dos grupos de hojas o navajas radiales, unidas a un disco el cual gira mediante una flecha vertical. El movimiento rápido de las navajas, comunica cierta fuerza centrífuga a las partículas de material que se están moviendo hacia arriba, concentrando las partículas de mayor tamaño sobre la pared interior de la "cámara de separación", obligándolas a caer para que se continúen moliendo, hasta que su tamaño quede reducido lo suficiente para que la fuerza centrífuga que le comunique el separador, no sea tan grande como para entorpecer su ascenso. Como se ve, la fineza del producto se puede regular fácilmente según se desee, pues basta para ello hacer girar con mayor o menor velocidad el separador descrito.

La alimentación del molino es automática, mediante un control neumático el cual actúa por los cambios de presión dentro del molino, sosteniendo en esta forma su máxima eficiencia.

De acuerdo con la capacidad de la planta, el molino adecuado deberá llenar las siguientes especificaciones:

Capacidad: 6 toneladas por hora.

Tamaño del alimento: $\frac{1}{2}$ " y menor.

Fineza del producto: 90% a través de la malla No. 100.

Contará además el molino con un colector ciclón con válvula de doble descarga y con un ventilador extractor ambos fabricados por la misma compañía de acuerdo con la capacidad del molino.

La potencia requerida, por el molino y sus accesorios, se indica a continuación:

Molino	40 H. P.
Extractor	50 H. P.
Separador	8 H. P.
Alimentador:	1 H. P.
Total	<hr/> 99 H. P.

El material pulverizado será descargado por el colector en una tolva, de la cual se transportará a la "olla de cocción" mediante un "conductor de tornillo", el cual será propiamente el alimentador de dicha olla.

Este conductor debe ser capaz de alimentar 14 toneladas en 20 minutos, o sea, su capacidad de trabajo será:

$$\frac{14 \cdot 60}{20} = 42 \text{ toneladas por hora;}$$

expresando esta capacidad en pies cúbicos por hora se tiene:

$$\frac{42000}{28.32 \cdot 0.85} = 1750 \text{ pies cúbicos por hora.}$$

Un conductor de 14" de diámetro y con una velocidad de 100 r. p. m. tiene una capacidad de 1800 pies cúbicos por hora, la cual es perfectamente suficiente, ya que la capacidad de trabajo se calculó sobre el tiempo mínimo usado en la práctica para cargar una "olla de cocción" de las dimensiones de la que se usará en el presente caso.

Fórmula para calcular la potencia necesaria:

$$\text{H. P.} = \frac{K C D L}{2\,000\,000} \quad (\text{Fórmula proporcionada por H. W. Caldwell \& Son Co.})$$

K = 2.5 (Constante).

C = Capacidad en pies cúbicos por hora.

D = Densidad en libras por pie cúbico.

L = Longitud del conductor en pies.

$$\text{H. P.} = \frac{2.5 \times 1800 \times 53 \times 12}{2\ 000\ 000} \quad \text{---} \quad 1.43 \quad \dots \quad 1.5 \text{ H. P.}$$

Como ya se dijo, la semideshidratación se efectuará en una "celda o caldera de cocción", la cual consiste en un cilindro vertical de acero, con fondo convexo, provisto de agitadores para evitar una sobre deshidratación y para ayudar a una mejor distribución del cañicr. El cilindro está atravesado horizontalmente por cuatro tubos de 16" de diámetro, con los cuales y con la ayuda de mamparas colocadas en lugares apropiados, se logra una eficiente distribución de los gases calientes, se aumenta la superficie de calentamiento y consecuentemente la velocidad de la transmisión de calor aumenta también. El cilindro va sentado en una base de construcción de mampostería con un horno en la parte inferior y arreglado en tal forma que los gases calientes puedan pasar al espacio anular que existe entre la pared exterior del cilindro y la pared interior de la construcción que se encuentra a su alrededor.

Cuando el yeso ha alcanzado el grado de deshidratación deseado se abre una válvula de compuerta y se descarga en el "cuarto caliente", el cual puede ser de mampostería o de metal. La descarga se facilita continuando la agitación y sobre todo mediante el barredor o escaleta que se encuentra en el fondo del cilindro.

Para la capacidad de la planta, la unidad standard cuyas dimensiones son 10 pies de diámetro por 10 pies de altura es suficiente, ya que tiene una capacidad de 11 toneladas por carga, siendo el tiempo promedio de deshidratación de cada carga, 2 horas 30 minutos, estando ya incluido el tiempo requerido para la carga y descarga del producto, siendo de 20 a 40 minutos para la carga y de 1 a 2 minutos para la descarga.

Experimentalmente se ha observado que la potencia requerida para la agitación del material, depende de la finura que se le haya dado a éste en la molinera, del tiempo de cocción, de la velocidad con que escapa el agua de hidratación y de la cantidad de yeso deshidratado en cada carga.

La J. B. Ehrsam & Sons Mfg. Co., que es la compañía manufacturadora de celdas de cocción, más ampliamente conocida en los Estados Unidos de América, dice:

Experimentos realizados en una unidad standard de 10' x 10' muestran que la retención promedio requerida es 3 H. P. por tonelada de yeso deshidratado por hora, sin embargo se aconseja un aumen-

D = Densidad en libras por pie cúbico.

L = Longitud del conductor en pies.

$$\text{H. P.} = \frac{2.5 \times 1800 \times 53 \times 12}{2\,000\,000} = 1.43 \dots\dots 1.5 \text{ H. P.}$$

Como ya se dijo, la semideshidratación se efectuará en una "celda o caldera de cocción", la cual consiste en un cilindro vertical de acero, con fondo convexo, provisto de agitadores para evitar una sobre deshidratación y para ayudar a una mejor distribución del calor. El cilindro está atravesado horizontalmente por cuatro tubos de 16" de diámetro, con los cuales y con la ayuda de mamparas colocadas en lugares apropiados, se logra una eficiente distribución de los gases calientes, se aumenta la superficie de calentamiento y consecuentemente la velocidad de la transmisión de calor aumenta también. El cilindro va sentado en una base de construcción de mampostería con un horno en la parte inferior y arreglado en tal forma que los gases calientes puedan pasar al espacio anular que existe entre la pared exterior del cilindro y la pared interior de la construcción que se encuentra a su alrededor.

Cuando el yeso ha alcanzado el grado de deshidratación deseado se abre una válvula de compuerta y se descarga en el "cuarto caliente", el cual puede ser de mampostería o de metal. La descarga se facilita continuando la agitación y sobre todo mediante el barredor o escoba que se encuentra en el fondo del cilindro.

Para la capacidad de la planta, la unidad standard cuyas dimensiones son 10 pies de diámetro por 10 pies de altura es suficiente, ya que tiene una capacidad de 14 toneladas por carga, siendo el tiempo promedio de deshidratación de cada carga, 2 horas 30 minutos estando ya incluido el tiempo requerido para la carga y descarga del producto, siendo de 20 a 40 minutos para la carga y de 1 a 2 minutos para la descarga.

Experimentalmente se ha observado que la potencia requerida para la agitación del material, depende de la fineza que se le haya dado a éste en la molineta, del tiempo de cocción, de la velocidad con que escapa el agua de hidratación y de la cantidad de yeso deshidratado en cada carga.

La J. B. Ehrsam & Sons Mfg. Co., que es la compañía manufacturadora de ellas de cocción, más ampliamente conocida en los Estados Unidos de América, dice:

Experimentos realizados en una unidad standard de 10' x 10' muestran que la potencia promedio requerida es 3 H. P. por tonelada de yeso deshidratado por hora, sin embargo se aconseja aumen-

tarla en un 150% previendo la emergencia de una sobre carga o un atascamiento en la olla.

Por lo tanto, la potencia que se debe suministrar será:

$$\frac{14 \cdot 145.15}{2.5 \cdot 175.17} \cdot 3 \cdot 2.5 = 35.4 \dots\dots 35 \text{ H. P.}$$

Carga de yeso crudo. 14 ton.

Tiempo promedio de deshidratación de cada carga 2.5 hr.

Peso molecular del $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ 145.15

Peso molecular del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 172.17

De la olla de cocción, el producto es descargado a una caja cerrada que se llama "cuarto caliente", del cual mediante un conductor de tornillo, se saca el material para elevarlo a la última tolva, llamada "tolva de producto elaborado" y de la cual se descarga directamente a los sacos de papel.

El conductor de tornillo mencionado trabajará pues continuamente y deberá tener una capacidad mínima de 100 toneladas por 24 horas, o sea,

$$\frac{100}{24} = 4.16 \text{ tons. hr. ;}$$

expresando esta capacidad en pies cúbicos por hora, se tiene:

$$\frac{4160}{28.32 \cdot 0.8} = 181 \text{ Ft}^3 \text{ hr.}$$

El conductor adecuado será de 7" y con una velocidad de 120 r. p. m. siendo su capacidad 250 Ft³ hr. La potencia se calculará en la misma forma que en el caso anterior:

$$\text{H.P.} = \frac{K C D L}{2,000,000} = \frac{2.5 \cdot 250 \cdot 50 \cdot 8.5}{2,000,000} = 1.33 \dots\dots 1 \frac{1}{6} \text{ H.P.}$$

El material se elevará a la "tolva de producto elaborado" mediante un elevador de canchilones exactamente igual que el mencionado en páginas anteriores.

Para el acarreo del material crudo, del patio de almacenamiento al pie de la quebradora, así como del producto a la bodega y el acomodo en trinchas de sacos en ésta, se empleará un tractor-estivador con las siguientes especificaciones:

Capacidad: 2 toneladas.

Elevación máxima: 3.05 metros.

VII.

LOCALIZACION Y PLANO DE LA FABRICA

Puesto que no existe zona industrial bien definida o limitada en esta ciudad, se situará la fábrica en el lugar que más convenga, tomando en cuenta la vía férrea por la que entra el ferrocarril que acarreará la materia prima, el precio del terreno, la línea eléctrica y las facilidades de comunicación con la ciudad, ya que probablemente se situará fuera de ella.

Considerando lo anteriormente expuesto conviene situar la fábrica a un lado de la vía férrea, un poco antes de llegar a Las Juntas ya que se dispone de una carretera en regulares condiciones para estar en contacto con la ciudad.

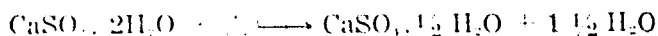
Será necesario construir, por cuenta de la fábrica, el ladero y la espuela correspondiente para que puedan entrar las góndolas a descargar dentro de la fábrica, en el patio de almacenamiento.

El terreno estará totalmente bardeado y cubierto con techo asbesto-cemento, tendrá por dimensiones 45 x 60 mt., o sea una superficie de 2700 mt²., la distribución de la cual se puede observar en el plano adjunto.

VIII.

DIAGRAMA DE FLUJO

El proceso es continuo, siendo intermitente únicamente la operación de la cocción o semideshidratación. En este paso es conveniente hacer un balance de material, ya que la cantidad de producto que se obtiene, no es igual a la cantidad de yeso crudo que se alimenta a la "celda de cocción", pues como se ve claramente por la siguiente ecuación:



por cada 172.17 Kg. de sulfato de calcio bihidratado que se alimentan, se obtienen 145.15 Kg. de sulfato de calcio semihidratado y 27.02 Kg. de agua que se desprenden en forma de vapor; esto suponiendo que el mineral fuera 100% puro y que en la cocción todo el bihidrato se transformara en semihidrato.

Como ya se dijo en páginas anteriores, en el presente caso el mineral tendrá una pureza de 97% y la deshidratación se llevará hasta desprenden 0.5% más del agua de hidratación, que la necesaria para obtener el semihidrato.

Sobre las bases expuestas, se tiene:
 Agua de hidratación contenida en el alimento:

$$\begin{array}{r} 36 \times 97 \\ \hline 172.17 \end{array} \quad 20.2\%$$

Agua de hidratación contenida en el producto:

$$\begin{array}{r} 9 \times 97 \\ \hline 145.15 \end{array} \quad 0.5 \times 5.5\%$$

Por otra parte se debe también tomar en cuenta el contenido de humedad o agua libre en el yeso crudo, aunque es sumamente bajo,

pues generalmente oscila entre 0.3 y 0.5%; tomando el último valor para estar sobre una base conservadora, se tiene que, por cada tonelada de alimento se obtendrán:

$$\frac{1\ 000 (1,000-0,005) (1,000-0,202)}{1-0,055} = 840 \text{ Kg. de producto y } 160$$

Kg. de agua se desprenderán en forma de vapor.

O expresándose en otra forma, para la obtención de una tonelada de producto se deberán consumir:

$$\frac{1000 \times 1000}{840} = 1190 \text{ Kg. de yeso crudo.}$$

Para el calentamiento de la olla de cocción se empleará "Petróleo Combustible Pemex" el cual, según datos proporcionados por Petróleos Mexicanos tiene la siguiente composición:

Carbono (C)	83.6%
Hidrógeno (H)	10.7%
Oxígeno (O)	1.0%
Azufre (S)	4.4%
No determinado	0.3%

Aplicando la fórmula de Dulong para el cálculo del poder o valor calorífico de un combustible, basándose en los porcentajes por peso de carbono, hidrógeno utilizable, oxígeno y azufre, se tiene:

$$Pc = 80.50 C + 345 (H-0.8) - 22.50 S$$

Donde

Pc = Poder calorífico del combustible expresado en Kcal. Kg.

C, H, O y S = Porcentajes de los componentes respectivos.
Substituyendo:

$$Pc = 80.50 \times 83.6 + 345 (10.7-0.8) - 22.50 \times 4.4$$

$$Pc = 10450 \text{ Kcal. Kg.}$$

Tomando en cuenta el peso específico del combustible, que es 0.98 se puede expresar su poder calorífico en la siguiente forma:

$$Pc = 10450 \times 0.98 = 10250 \text{ Kcal. lt.}$$

ya que tratándose de un combustible líquido, resulta más práctico.

Datos experimentales sobre la semideshidratación del yeso en ollas de cocción, han sido publicados por Wallace C. Riddell, Ingeniero Químico de la Kaiser Gypsum Co. en la revista Rock Products. Tomando como base dichos datos, los cuales se indican a continuación,

se calculará la cantidad de combustible necesario por tonelada de producto obtenido:

- a) —Temperatura a que se verificará la cocción..... 170° C.
- b) —Temperatura promedio del alimento 27° C.
- c) —Calor específico del yeso crudo 0.26
- d) —Calor de semideshidratación 24.3 Kcal/Kg.
- e) —Calor de vaporización del agua a 127° C. ... 520.00 Kcal/Kg.
- f) —Eficiencia térmica de la olla de cocción ... 55.00%

El calor latente de vaporización del agua se tomó a 127° C. por ser ésta, según datos experimentales, la temperatura media a la cual el agua de cristalización es desprendida.

a) —Calor necesario para elevar la temperatura del yeso, desde la temperatura de alimentación (27° C.) hasta la temperatura de descarga (170° C.):

$$Q = W \cdot c \cdot (t - t_0)$$

Q = Cantidad de calor.
 W = Peso del material
 c = Calor específico
 $t - t_0$ = Diferencia de temperatura

$$Q = 1190 \cdot 0.26 (170-27) = 44300 \text{ Kcal.}$$

b). Calor absorbido en la semideshidratación del yeso:

$$1190 \cdot 24.3 = 28900 \text{ Kcal}$$

c). —Calor requerido para vaporizar el agua:

$$1190 \cdot 0.160 \cdot 520 = 99100 \text{ Kcal.}$$

$$\text{Total} \dots \dots \dots 44300 + 28900 + 99100 = 172300 \text{ Kcal}$$

Tomando en cuenta la eficiencia térmica de la olla de cocción, el combustible deberá suministrar:

$$\frac{172300}{0.55} = 314000 \text{ Kcal}$$

O sea, la cantidad de combustible necesario para la obtención de una tonelada de producto es:

$$\frac{314000}{10250} = 30.5 \text{ lts.}$$

Por lo tanto la capacidad de trabajo del quemador que se emplee

para el calentamiento de la olla de cocción será:

$$\frac{30.5 \times 14 \times 0.84}{2.5 \times 60} = 2.39 \text{ H. min.}$$

En seguida se verá el consumo de energía eléctrica por tonelada de producto obtenido:

Potencia necesaria:

Quebradora	40.00 H.P.
Elevadores de canchales, 1.5 H.P. c.u.	3.00 H.P.
Molino y sus accesorios	99.00 H.P.
Alimentación de la olla de cocción	1.50 H.P.
Agitador de la olla de cocción	35.00 H.P.
Quemador	2.00 H.P.
Vaciador del cuarto caliente	0.166 H.P.

Total 180.666 H.P.

O sea $180.666 \times 0.746 = 139 \text{ K.W.}$

Todos los motores trabajarán 24 horas diarias excepto el del alimentador de la olla de cocción, el cual trabajará:

$$\frac{0.5}{14 \times 0.84} = 0.0425 \text{ Hrs.}$$

por tonelada de producto obtenido, considerando que se emplearán 0.5 hrs. por carga.

Per lo tanto, por tonelada de producto obtenido se consumirán:

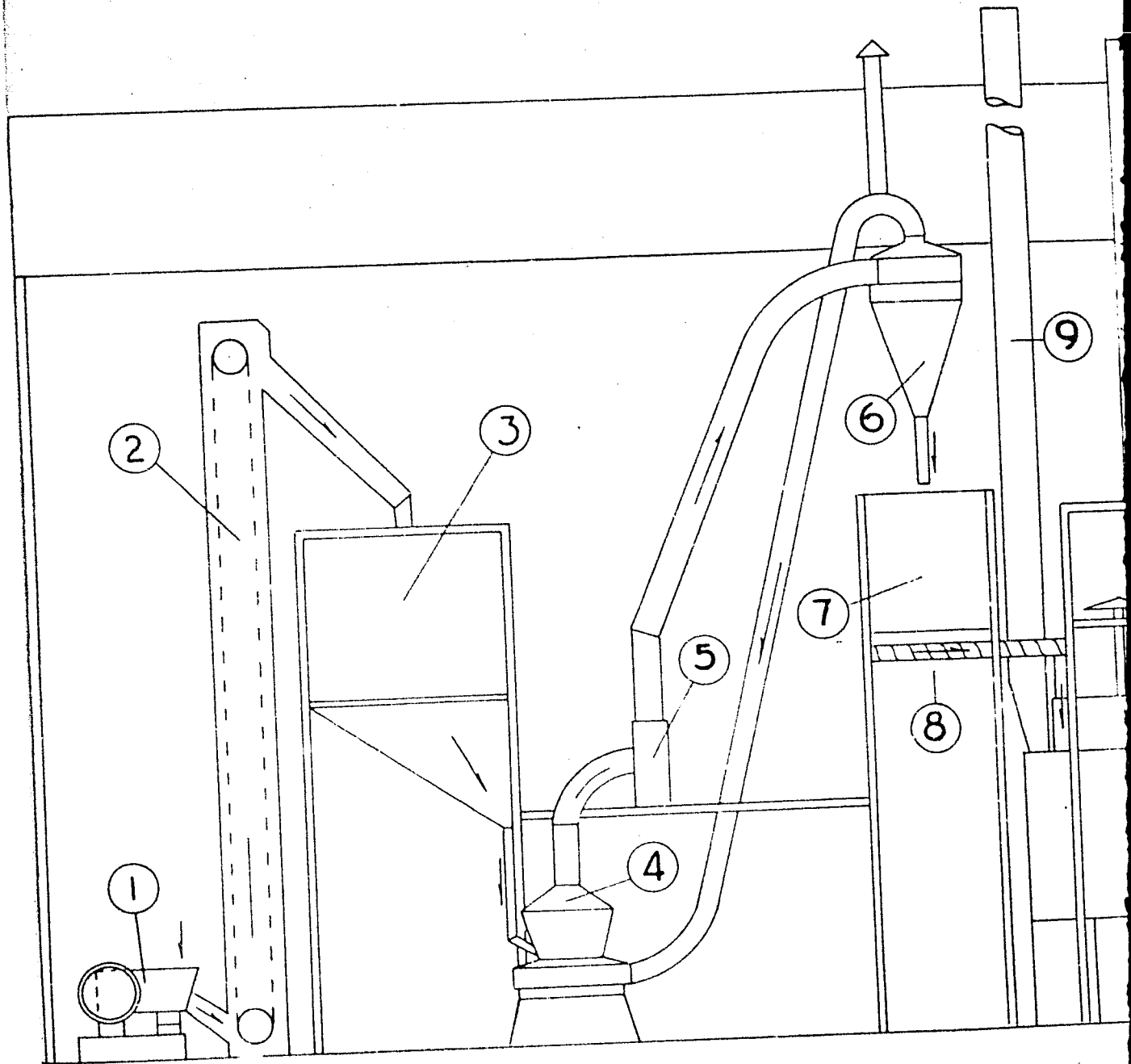
$$\frac{(180.666 - 1.5) \times 0.746 \times 24}{100} + 1.5 \times 0.746 + 0.0425 = 32.1495 \text{ Kilowatts — horas.}$$

A continuación se indica el esquema del proceso con el equipo seleccionado en páginas anteriores.

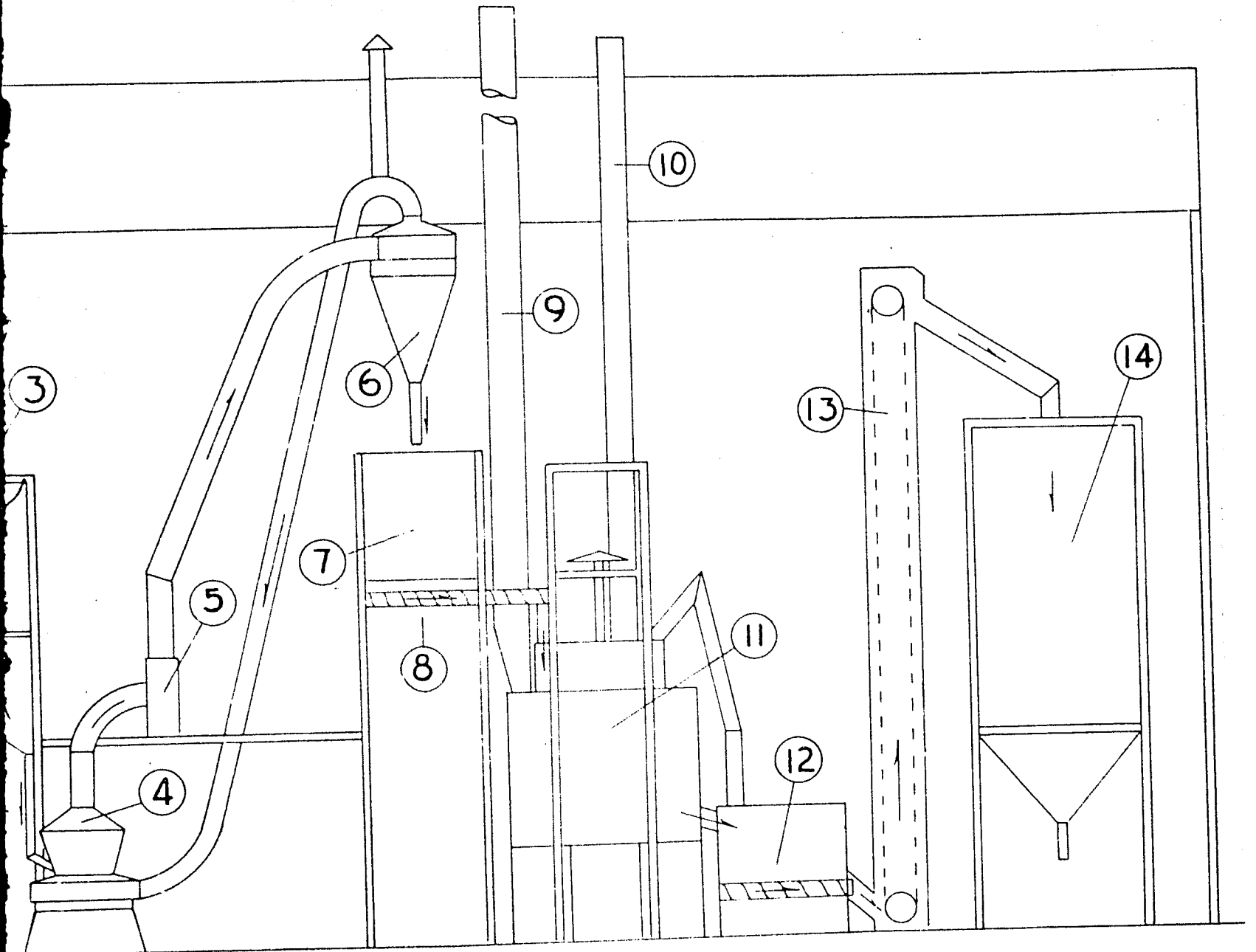
- 1.—Quebradora de quijadas.
- 2.—Elevador de cojinetes
- 3.—Telva de material triturado
- 4.—Molino de rodillos.
- 5.—Ventilador extractor del molino.
- 6.—Colector ciclón.
- 7.—Telva de material molido.
- 8.—Conductor de tornillo (Alimentador de olla de cocción).

- 9.—Chimenea. (Gases de combustión.)
10. Chimenea. (Vapor de agua de hidratación).
- 11.—Olla de ección.
- 12.—Conductor de tornillo. (Vaciador del cuarto caliente).
- 13.— Elevador de canjilones.
- 14.—Tolva de producto elaborado.

DIAGRAMA DE F



R A M A D E F L U J O



IX.

ESTUDIO ECONOMICO.

El siguiente estudio se hará sobre la base de que se trabajarán 300 días al año y de que la planta trabajará 24 horas diarias.

a) .—Consumo diario de:

Yeso crudo, 119 tons. a \$40.00 ton.	\$	4 760.00
Combustible para olla cocción, 3050 lts. a \$0.12 lt... \$		366.00
Combustible para carrito-grúa, 24 lts. a \$0.42 lt. \$		10.08
Electricidad, potencia, 3214.95 K.W.-hr. a \$0.09 K.W. \$		289.35
Electricidad, alumbrado, 35 K.W.-hr. a \$0.09 K.W. hr. \$		3.15
Sacs de papel para envase, 2500 a \$0.65 cada uno... \$		1 625.00
Total	\$	7 053.58

Consumo anual 7053.58x300 = \$2 116 074.00

b) .—Costo de edificio y vía férrea:

Terreno	\$	10 800.00
Construcción	\$	150 000.00
Vía férrea	\$	45 000.00
Total	\$	205 800.00

c) .—Costo de maquinaria y equipo:

		Costo de ci- mentación e instalación.
Quebradora de quijadas	\$ 25 000.00	\$ 1 250.00
Motor de la quebradora	\$ 4 500.00	\$ 270.00
Dos elevadores de canjilones	\$ 24 000.00	\$ 6 960.00
Dos motores para los elevadores	\$ 7 600.00	\$ 450.00
Molino de rodillos y accesorios	\$ 195 000.00	\$ 39 000.00
Motores para molino y sus accesorios..	\$ 12 500.00	\$ 750.00
Alimentador "Olla de cocción"	\$ 950.00	\$ 90.00
Olla de cocción y accesorios	\$ 120 000.00	\$ 6 000.00

Motor para agitador y alimentador ..	\$ 4 300.00	\$ 250.00
Vaciador del cuarto caliente.	\$ 500.00	\$ 50.00
Motor para vaciador del cuarto caliente	\$ 450.00	\$ 30.00
Quecador "Olla de cocción"	\$ 7 500.00	\$ 350.00
Tres tolvas (Material triturado, material pulverizado y producto elaborado) ..	\$ 3 000.00	\$ 240.00
Báscula, 100 tóns. de capacidad	\$ 47 000.00	\$ 18 000.00
Báscula, 120 Kgs. de capacidad	\$ 3 500.00	
Tractor - Estibador	\$ 35 000.00	
Subestación eléctrica	\$ 7 100.00	\$ 3 500.00
Equipo para laboratorio	\$ 6 000.00	
Tanque almacén combustible, 100 mt3.	\$ 20 000.00	\$ 15 000.00
Equipo para taller mecánico	\$ 17 000.00	
Total	\$ 599 800.00	\$ 92 190.00

Coste total del equipo instalado \$ 691 990.00

d).—Coste anual de trabajo y supervisión:

Gerente	\$ 24 000.00
Químico analítico	\$ 7 200.00
Supervisor, uno por turno, \$12 000.00 cada uno	\$ 36 000.00
Contador	\$ 6 000.00
Secretaria	\$ 3 600.00
Alimentadores quebradora 2 por turno \$2520 c. u.	\$ 15 120.00
Operador molino y olla cocción, uno por turno 5 400 cada uno	\$ 15 200.00
Encargado del producto, uno por turno, \$3 240 c. u.	\$ 9 720.00
Macheteros carro-estibador, 3 por turno, \$2 520 c. u.	\$ 22 680.00
Operador del carro-estibador, 1 por turno, \$3 600 c. u.	\$ 10 800.00
Almacenista	\$ 3 600.00
Mecánico electricista	\$ 5 400.00
Ayudante de mecánico	\$ 3 600.00
Imprevistos y gratificaciones	\$ 35 000.00
Total	\$ 198 920.00

e). Otros gastos fijos anuales:

Seguro social	\$ 6 930.00
Depreciación de edificio, 4%	\$ 8 200.00
Depreciación de maquinaria y equipo 10%	\$ 69 200.00
Mantenimiento de maquinaria y equipo 10%	\$ 60 000.00
Imprevistos	\$ 75 000.00
Total	\$ 219 330.00

f).—Capital de trabajo:

Materia prima (90 días)	\$ 428 400.00
Combustible (90 días)	\$ 32 940.00
Energía eléctrica (90 días)	\$ 24 325.00
Envase para el producto (90 días).....	\$ 146 250.00
Trabajo y supervisión (90 días)	\$ 59 676.00
Gastos fijos anuales	\$ 219 330.00
Total	\$ 910 921.00

g).—Capital invertido:

Edificio	\$ 205 800.00
Equipo y maquinaria	\$ 691 990.00
Capital de trabajo	\$ 910 921.00
Total	\$1 808 711.00

h).—Entrada bruta anual:

Yese semihidratado, 30,000 tons. a \$120.00 ton.....	\$3 600 000.00
--	----------------

i).—Costo anual:

Materia prima, combustible, energía eléctrica y envase	\$2 116 074.00
Trabajo y supervisión	\$ 198 920.00
Gastos fijos	\$ 219 330.00
Total	\$2 534 324.00

j).—Entrada anual:

Valor del producto	\$3 600 000.00
Costo anual	\$2 534 324.00
Entrada neta:	\$1 065 676.00

X.

CONCLUSIONES.

La costeabilidad de la fabricación del mortero de yeso es indudable, como se pudo observar en el estudio económico anterior, ya que deja un margen bastante amplio para soportar una probable competencia comercial.

Sin embargo en la práctica se presenta un gran obstáculo que no debería existir y que hace dudable el éxito o costeabilidad económica de la realización del presente proyecto, dicho obstáculo consiste en la dificultad casi imposible de vencer que existe para lograr que el ferrocarril mueva con toda seguridad, un promedio mínimo de 100 toneladas diarias de materia prima, ya que de no ser así, la fábrica no podría trabajar eficientemente.

Es de esperarse que la dificultad mencionada se logre solucionar en un futuro no lejano, para que el progreso industrial de nuestra Nación no tropiece con obstáculos que impidan su amplio desarrollo.

BIBLIOGRAFIA.

Chemical Engineers' Handbook John H. Perry.
Elements Chemical Engineering Badger and Mc Cabe
Chemical Engineering Plant Design Vilbrandt
Industrial Chemical Calculations Hougen and Watson
Steam, Air and Gas Power Severns and Degler
Enciclopedia de Química Industrial. Ullman Tomos II, III, VII y VIII
Análisis Químico Cuantitativo F. Orozco D.
Revistas:

Rock Products (Agosto 1945, Mayo 1950).
International Chemical Engineering (Enero 1952)

Catálogos:

RAYMOND Reller Mills.
J. B. Ehersam and Sons Mfg. Co.