

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

-- LIMA --

PROYECTO DE UNA PLANTA PARA

SULFATO DE AMONIO

DE UNA CAPACIDAD DE

180 TON. CORTAS O 163.3 TON. METRICAS

PRESENTADO POR EL EX-ALUMNO

JUAN JOSE IBARRA PANIZO

PARA OBTENER EL TITULO

DE

INGENIERO QUIMICO

ENERO, 1951

DEPARTAMENTO DE  
INGENIERIA QUIMICA.

## I N D I C E

1 )EL PRO BLEMA DEL ABONO EN GENERAL	1
2)METODOS EMPLEADOS PARA LA FIJACION DE NITROGENO	2
3)EL PROBLEMA DEL ABONO EN EL PERU	4
4)NECESIDADES DE LOS ABONOS EN EL PERU	5
5)RECURSOS ACTUALES DE ABONOS	8
6)COMPARACION Y PROPIEDADES DE LOS ABONOS NITRADOS Y AMONIACALES	8
7)CUALIDADES Y DIFERENCIAS ENTRE LOS FERTILIZANTES	9
8)CARACTERISTICAS DEL SULFATO DE AMONIO	11
9)INFLUENCIA DEL SULFATO DE AMONIO EN LA ACIDEZ Y TOXICIDAD DEL SUELO	12
10)INFLUENCIA DEL SULFATO DE AMONIO EN LOS REQUISITOS DE CAL DEL TERRENO	13
11)APLICACION DEL SULFATO DE AMONIO Y VALOR FERTILIZANTE CON RELACION AL NITRATO DE SODIO	13
12)FABRICACION DE SULFATO DE AMONIO	
a) PROCESO MERSEBURG	15
b) PROCESO DE NEUTRALIZACION DIRECTA	17
13)PROCESO A SEGUIRSE EN ESTE PRYECTO	21
14)PROCESO Y DESCRIPCION DE APARATOS	23
15)GENERALIDADES SOBRE EL YESO	41
16)CALCULO Y SELECCION DE LOS APARATOS	46
17)CALCULO DE LA POTENCIA DE LAS MOTO-BOMBAS	83
18)CALCULO DE TRANSPORTADORES Y ELEVADORES	85
19)CALCULO ECONOMICO	88
20)BIBLIOGRAFIA	

EL PROBLEMA DEL ABONO EN GENERAL.

El problema del abono puede considerarse casi tan antiguo como el cultivo sistemático de las tierras, aún cuando solo en los últimos tiempos se ha pensado en suministrar y obtener aisladamente los diversos materiales nutritivos en forma pura y concentrada. Se comprobó por el año 1840 el hecho de que los materiales necesarios para el desarrollo de las plantas procedían en su mayor parte del reino mineral. Este conocimiento fué el principio de una nueva era para la agricultura, siendo la consecuencia más inmediata e importante la fabricación de los llamados abonos artificiales, es decir, de aquellos productos químicos que contienen los diversos elementos nutritivos para las plantas en forma concentrada y asimilable. Desde la introducción de aquellos abonos artificiales, el desarrollo de la agricultura bajo la influencia de los nuevos conocimientos ha sido considerable comparado con el obtenido durante siglos, pues con el auxilio de estos abonos no solo se ha conseguido obtener cosechas en mucho mayor proporción por unidad de superficie, sino que a la vez se ha podido aumentar notablemente la superficie destinada al cultivo.

Los elementos fertilizantes fundamentales que se suministraron a las plantas bajo el nombre de abonos artificiales, son el nitrógeno, el ácido fosfórico y la potasa. La obtención de los compuestos de ácido fosfórico y de potasa pudo ser resuelta sin grandes dificultades, sin embargo fueron muchos los inconvenientes con que se tropezó para la obtención de compuestos nitrogenados apropiados, disponiéndose exclusivamente para la agricultura del nitrato de Chile y del guano.

El primer producto nitrogenado, obtenido artificialmente fué el sulfato de amonio que se halló durante la elaboración de carbón en las fábricas de coke y de gas, pero debido a las crecientes necesidades de productos nitrogenados, se hicieron numerosos estudios para

poder fijar por procedimientos técnicos, la inagotable cantidad de nitrógeno existente en el aire atmosférico.-

#### MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA FIJACION DEL NITROGENO.-

Tres fueron los principales métodos para fijar el  $N_2$  .-

El primero fué el llamado Proceso de Arco, por medio del cual se llega a una combinación directa del nitrógeno y oxígeno, a la temperatura del arco voltáico, formándose óxido de nitrógeno, el cual se transforma luego en ácido nítrico.

Este procedimiento fué inventado por los profesores: C. Birkeland y S. Eyde, en Noruega; fué pronto abandonada, pues de la reacción se halla que la energía química absorbida, para fijar una tonelada de nitrógeno es equivalente a 1,630 KW-H de energía eléctrica, que representa mas o menos el 3 % de la energía eléctrica total que es de : 61,000 Kw-H/ton. de  $N_2$  fijado; siendo este 97 % la energía eléctrica necesaria para formar el óxido nítrico.

Las objeciones para con este método, están dadas por el gran capital que se necesita y el consumo elevado de energía eléctrica, habiéndose deducido que para fijar 1 tonelada de nitrógeno se necesita 5 veces más energía que la requerida para la misma operación en el método de la Cianamida. En vista del desarrollo de otros métodos, éste ha sido eliminado por su alto costo.

El otro proceso, llamado de la Cianamida, se desarrolló en Alemania durante el período de 1897 a 1905 y fué llevado a cabo por los profesores Dr. Adolf Frank y Dr. Nicodem Caro.

El proceso de conversión del nitrógeno de la Cianamida a amoníaco fué patentado por Caro en 1900, habiéndose instalado la primera planta en Westergeln, Alemania y la segunda en Piano D'orta, Italia en 1906. Durante el proceso el  $N_2$  gaseoso se fija al entrar en



contacto con carburo de calcio finamente dividido y calentado a una temperatura de  $1,000^{\circ}\text{C}$ , necesitándose temperaturas extremas para producir los dos materiales reactantes, pues el carburo es producido por un intenso calor en el horno eléctrico, mientras que el nitrógeno es obtenido de la liquefacción del aire a  $190^{\circ}\text{C}$  bajo cero.

La producción de la Cianamida envuelve cuatro etapas: en la primera, el carbonato de calcio es molido y quemado en un horno a una temperatura de  $1100^{\circ}\text{C}$  hasta convertirlo en óxido de calcio finamente dividido; en la segunda etapa, se forma el carburo de calcio calentando una carga formada por una mezcla de cal y carbón; en la tercera etapa ó de producción de  $\text{N}_2$  se opera basándose en los principios de Linde ó también en el de Claude y separando en esta forma el  $\text{N}_2$  del  $\text{O}_2$  por diferencias de punto de ebullición; y por último tenemos el tratamiento del carburo de calcio finamente dividido con el nitrógeno puro a  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Este método requiere menos de la cuarta parte de la electricidad que la necesaria para la fijación de nitrógeno por el método del Arco.

El tercero y último método es el llamado de la Síntesis Directa del Amoniaco y aunque se han perfeccionado los anteriores métodos del Arco y la Cianamida, se puede decir que este último es el más barato, habiéndose comprobado también que se fija más cantidad de nitrógeno por este método o proceso.

El Proceso fué descubierto por el Profesor Fritz Haber por los años 1905-1908, habiéndolo también colaborado Carl Bosch que se puede decir, resolvió las principales dificultades técnicas como fué el manejo de los gases inflamables a altas temperaturas y presiones. Este método es pues llamado de Haber-Bosch y fué después modi-

ficado por los norteamericanos por la Fixed Nitrogen Research Laboratory

El procedimiento Haber-Bosch conduce a la combinación directa del nitrógeno atmosférico con hidrógeno a una presión de 200 atmósferas y a la temperatura de 500 a 600<sup>o</sup>C , teniendo como ayuda catalizadores. Por el procedimiento modificado por los norteamericanos, la combinación se realiza a 350 atmósferas y 500<sup>o</sup>C. La combinación del nitrógeno e hidrógeno dan por resultado amoniaco anhidro o también solución de amoniaco.

Las materias primas son el carbón o coke, el aire y el agua, teniendo que usar siempre en la operación catalizadores que pueden ser: esponja de platino, compuestos de boro, cerio, fierro y otros.

#### EL PROBLEMA DEL ABONO EN EL PERU.

El principal abastecimiento de abonos que tenemos nosotros es el guano de las islas, pero llega en la actualidad a una situación crítica, pues la gran fertilidad que tenían nuestras tierras en épocas pasadas se va perdiendo poca a poco debido, a que la tierra se va empobreciendo progresivamente, estando ahora los agricultores ávidos de abonos para la buena producción de sus tierras, siendo esta necesidad cada vez mas grande. Efectivamente, siendo los elementos de fertilidad del suelo , el nitrógeno, fósforo y potasa como hemos visto, debido a la inestabilidad del nitrógeno en el suelo de cultivo y también a la avidez de todas las plantas por este elemento, se ha comprobado que éste es el elemento que más pierden los suelos, pues también se puede notar que los abonos mas solicitados son los nitrogenados, siendo por eso este elemento el factor principal para el abonamiento de nuestras tierras. Se puede notar muy facilmente por ejemplo, en el guano de las islas; éste es un abono nitrogenado-fosfa-

tado y sin embargo el precio es determinado de acuerdo a su ley nitrogenada, sin mencionar siquiera su contenido de fósforo. Además es corriente oír a los agricultores que usan tantos kilos de nitrógeno por hectarea de terreno.

Vemos pues así que las reservas de los suelos, en lo que respecta a los minerales esenciales para la nutrición se van perdiendo no solo por las anteriores razones, sino debido al agua de riego o a las lluvias, siendo por supuesto estas últimas pérdidas más notorias en la sierra y en la montaña, aunque sin dejar de tener importancia en nuestra costa. Son mas notorias en la sierra y en la montaña, por la intensidad de las lluvias, que en parte benefician los cultivos de la costa, pues los rios traen en su seno parte de los abonos perdidos por los cultivos en la sierra.

Para subsanar estos grandes daños causados por los agentes naturales, no se ha desarrollado todavía una intensa labor como lo requieren las grandes pérdidas ocasionadas, que alcanzan en el país a cientos de millones de soles.

#### NECESIDADES DE LOS ABONOS EN EL PERU

Para darnos cuenta con más exactitud de las grandes necesidades por las que pasa nuestro país en materia de abonos, daremos las cifras encontradas en el año 1948 y citadas en " La Vida Agrícola" por medio de un cuadro comparativo en lo que respecta al guano y al salitre solamente y su contenido de nitrógeno.

El guano será considerado con un contenido de nitrógeno promedio de 13%.



	GUANO				SALITRE		<u>N<sub>2</sub></u>
	COSTA	SIERRA	TOTAL	<u>TONS.N<sub>2</sub></u>	TOTAL	<u>TNS.N<sub>2</sub></u>	TOTAL
DEMANDA	. 374,746	8,000	382,746	49,746	40,600	6,090	55,836
SUMINISTRO:	131,401	6,570	137,971	17,936	40,600	6,090	24,026
DEFICIT	: 243,345	1,430	244,775	31,820	---	--	31,820

Como se ve en este cuadro comparativo y sabiendo que el area sembrada en la costa es  $2\frac{1}{2}$  veces el de la sierra, se puede observar que el consumo de abonos nitrogenados es solo el 2% de la cantidad total consumida.

Es natural que dicha desproporcion se deba sobre todo a la dificultad de transporte y al flete caro para la introduccion del abono, luego, al atraso de la agricultura en la sierra y por supuesto al desconocimiento de los abonos y sobre todo a sus propiedades de los abonos; y por ultimo, siendo los metodos primitivos, las cosechas no pueden rendir como para cubrir el valor del abono.

Las vias de comunicacion no solo haran mas facil el ingreso de los abonos, sino que daran tambien a los abonos facil salida.

Se hizo otro calculo con igual finalidad, pero partiendo del promedio de abonamiento que necesita hacer el agricultor y tambien nos da una idea sobre las necesidades del nitrógeno pero solamente en la costa. Estos datos son dados en una publicacion de la Asociacion Peruana de Ingenieros Agronomos. Toma en consideracion algunos de los cultivos mas importantes.



	SUPERFICIE	<u>Kgr./Ha.</u>	<u>TOTAL EN TNS.N<sub>2</sub></u>
ALGODON	132,000	150	19,800
CANA DE AZUCAR	52,000	150	7.500
ARROZ	58,000	100	5,800
MAIZ	68.000	100	6.800
OTROS CULTIVOS	100,000	100	10,000
			49.900

Se obtiene en esta forma un total de 50,000 tons. de nitrógeno, que es una cifra que coincide aproximadamente con la obtenida anteriormente, aunque no se puede decir que los datos obtenidos son exactos, observando también que no se hace mención de los cultivos de la Sierra y Montaña por carecer casi de datos, pero si los cálculos los extendieramos a la sierra donde las estadísticas le asignan aproximadamente 1,000,000 de Ha. cultivadas y solo se tomara la mitad de dicha cifra y más aun, solo 50 Kgr/Ha. obtendríamos una cifra de 25,000 Tons. de N<sub>2</sub> que sumadas a las 50,000 Tons. de la Costa, nos darían un total de 75,000 Tons. de N<sub>2</sub> solo en lo que se refiere a este elemento de fertilidad.

Cabe hacer notar que si es que no nos ocupamos de las necesidades de los suelos por fósforo y potasa, se debe solamente a que en este proyecto, se va a tratar solo de las necesidades de nitrógeno y su solución al problema. Se debe también a que estos elementos son parcialmente recuperados por los suelos al quemarse los residuos de las cosechas, así como también al aporte de las aguas de los rios, siendo en el caso del nitrógeno, la extracción por la planta, una pérdida neta para el suelo.

### RECURSOS ACTUALES DE ABONOS.

Tenemos en el Perú abonos, que en realidad no han sufrido ninguna transformación industrial pero que no llegan a abastecer las necesidades del consumo actual, como se ha visto.

Estos abonos son: Guano de Islas Ricas, con un promedio de 13 % de nitrógeno, con un peso total de 117,000 ton. y 15,140 ton de  $N_2$ ; el Guano de Islas Pobres que asciende a un total de 160,000 ton. con un porcentaje de  $N_2$  igual a 1.25 % que nos da 2,000 ton de  $N_2$ ; de la Pasta de Semilla de Algodón que en caso de usarse como abono, se estima en una producción anual de 57,000 ton. con una riqueza promedio de 5 % de nitrógeno, dando así en total 285 ton. de  $N_2$  y por último la Harina de Pescado, cuyo uso es muy reducido, llegando a un máximo de 1,000 tons. con un 7 % de  $N_2$ , dando en total 70 tons. de  $N_2$ .

De estas dos últimas, se puede decir que se dedica exclusivamente a la alimentación animal.

Vemos entonces que si se utilizan todos los recursos naturales que poseemos, solo podríamos disponer de 20,547 tons. de  $N_2$  que restados del mínimo consumo del Perú, estimado en 75,000 tons., nos da un déficit de 55,000 tons.

Para llegar entonces a satisfacer las necesidades del país, se ha necesitado de la importación de productos nitrogenados en forma de abonos nitrados y amoniacales, en tales cantidades, que la importación de abonos al Perú se vuelve tal problema, que es necesario tratar de resolverlo lo más rápidamente.

### COMPARACION Y PROPIEDADES DE LOS ABONOS NITRADOS Y AMONIACALES.-

Los abonos nitrados tienen una acción rápida y un valor especial cuando se trata por ejemplo de producir efectos muy rá-

pidos sobre plantas enfermizas ó eventualmente debilitadas por circunstancias atmosféricas desfavorables o por el ataque de parásitos etc.. favoreciendo su crecimiento en unanépoca avanzada del año o en la que está ya muy avanzada la vegetación. Al emplear estos abonos no se debe dejar de tener presente que estos no son retenidos por el suelo y que por consiguiente pueden ser arrastrados facilmente a las capas profundas por la acción de las lluvias intensas.

Los abonos amoniacales son por el contrario de acción más lenta que los abonos nitrados, pero presentan por el contrario una acción más duradera, ya que el amoniaco es retenido por el suelo. Estos abonos amoniacales son por lo tanto preferibles en las regiones en las cuales abundan las lluvias y especialmente en climas tropicales y subtropicales. Bajo la influencia del calor y la humedad, las transformaciones en el suelo son más rápidas en estas regiones, pues bajo estas condiciones climatológicas, los abonos amoniacales se transforman en el suelo más rapidamente que en los climas frios. También en regiones frias y secas, se cultiva un gran número de plantas para las cuales resulta más ventajoso el nitrógeno en forma amoniacal que en forma nitrada. Como ejemplo se puede tomar el cultivo de papas ( Referencia de la revista: Los Abonos Nitrogenados de la I. G. Farbenindustrie).

De esta comparación es fácil darse cuenta de las ventajas de los abonos amoniacales sobre los nitrados para su uso en el Perú.

#### CUALIDADES Y DIFERENCIAS DE LOS FERTILIZANTES.

Las cualidades generales que deben tener los fertilizantes son las siguientes:



- a) Rápida y fácil transformación para ser asimilables.
- b) Que tengan la mayor retención en el suelo.
- c) Que no dañe a la planta.
- d) Que sea concentrado para su economía en el transporte.
- e) Baja higroscopicidad y facilidad en el manejo para la mezcla.

Nitrato de Sodio.- Debido a que existe en grandes cantidades en Chile, no será necesario hacer un estudio económico de su probable fabricación.

Nitrato de Calcio.- Tiene 13% de  $N_2$ , es higroscópico, deficiente en retentividad y de efectos alcalinizantes. Debido a su bajo contenido de nitrógeno, no es una probable industria para nuestro país.

Nitrato de Amonio.- Con 34 a 35% de nitrógeno en iguales cantidades en forma de nitrato y nitrógeno amoniacal. Podría ser un excelente material fertilizador, pero sus propiedades de absorber la humedad del aire y de formar cake, dando por resultado una masa sólida, interfieren en su uso para este propósito. Se puede por supuesto disminuir su avidéz por el agua, mezclándolo con rosina, parafina y carbonato de calcio, dando así un producto que se utiliza en dinamita, pero sin bajarla tanto como para ser usado como fertilizante. Sin embargo se usa mezclado con otros fertilizantes como Sulfato de Amonio ó si no también con no-fertilizantes como carbonato de calcio. Estas mezclas son vendidas y conocidas con el nombre de Leunasalpeter, Cal-Nitro y Nitro-Chalk. Estas mezclas bajan por lo tanto el porcentaje de nitrógeno.

Cloruro de Amonio.- Tiene 24% de nitrógeno, es higroscópico pero el cloro lo inhabilita para ciertos cultivos como por ejemplo el cultivo de la papa. No es por lo tanto muy recomendable.

Sulfato de Amonio.- El Sulfato de Amonio contiene un 21% de  $N_2$  ; es conocido, reúne todas las condiciones deseables para nuestro suelo. Es el más recomendable.

#### CARACTERISTICAS DEL SULFATO DE AMONIO.

El consumo de Sulfato de Amonio para propósitos fertilizantes, ha excedido en la actualidad al uso del Nitrato de Sodio, el cual por muchos años fué el portador de nitrógeno.

El Sulfato de Amonio es la mayor fuente de nitrógeno usada en la fabricación de fertilizantes mixtos, que a su vez suministra la mitad del nitrógeno consumido en fertilizantes, en el mundo.

El Sulfato de Amonio Comercial, varía de color entre el blanco, amarillo y hasta gris, pero siempre conservando la forma de cristales. En algunos casos toma otros colores, tales como el marrón, azul ó gris, estos colores se deben a las impurezas tales como ferrocianuro férrico y sulfuro arsenioso.- El producto que se encuentra en el comercio está prácticamente libre de ácido.

Los tipos de cristales de mejor calidad tienen un contenido de ácido sulfúrico libre menor de 0.15 % ; aunque algunos tipos de cristales exceden esta cifra, llegando hasta 0.5 % en ciertas oportunidades. Por supuesto, esto sucede rara vez; pues el ácido libre que se queda con los cristales es la causa de la formación de terrones duros que son difíciles de romper.- Esto ha sido ya subsanado por medio de un lavado de los cristales y en muchos casos, neutralizando el ácido libre con amoníaco.

En la fabricación es pues preferible, la obtención de cristales de tamaño grande, siendo este uno de los factores que evita la formación de terrones ó cakes duros, que son molestos en el momento de la aplicación del fertilizante, ya sea directamente o mezclado.

El Sulfato de Amonio puro, contiene 21.2 % de  $N_2$  y 27.5 % de azúfre. El producto comercial se vende como fertilizante y contiene 20 % de nitrógeno garantizado por análisis químico.

El producto es una sal cristalina, casi libre de humedad, sin que requiera un tratamiento de cernido, antes de usarse.

Si se almacena en lugares razonablemente secos, no absorbe humedad. A temperatura ordinaria su solubilidad en el agua es igual a la del  $NO_3Na$ . - En 1932 Tedmore, Williamson y otros investigadores, han demostrado que el nitrógeno del Sulfato de Amonio es retenido por el suelo en forma tal, que no es tan facilmente lixiviable, como sucede con el nitrógeno contenido en el  $NO_3Na$ .

Cuando el sulfato de amonio tiene "Tiocianatos", su presencia se puede determinar añadiendo Cloruro Férrico, y si hay algún Cianato, se obtiene una coloración rojiza. - Estas sustancias son tóxicas para las plantas y se hallan muy rara vez en el sulfato de amonio comercial en cantidad tal como para malograr los cultivos. - Este subproducto se encuentra con mas frecuencia en el sulfato de amonio de origen europeo.

#### INFLUENCIA DEL SULFATO EN LA ACIDEZ Y TOXICIDAD DEL SUELO.-

El Sulfato de Amonio, al igual que todos los fertilizantes amoniacaes es fisiológicamente ácido, como, lo han demostrado Barnett, Hestor y otros investigadores.

Cuando se aplica al suelo, produce un aumento de concentración del  $H^+$ . - Cuando la acidez del suelo se aumenta por medios benéficos, en forma de tratamientos, muchos procesos se interfieren entre sí. - En particular, la razón de nitrificación, disminuye en suelos donde está el  $pH$  menor de 6; la nitrificación no procede en forma extensiva.



El aumento de acidez en el suelo, originado por el uso del sulfato de amonio se <sup>puede</sup> conseguir fácilmente disminuir con la adición de Cal ó otros materiales básicos.

#### INFLUENCIA DEL SULFATO EN LOS REQUISITOS DE CAL DEL TERRENO.-

Holben y White, después de 40 años de experimentos, han demostrado en 1927, que el aumento de cal en la parcelas que usan sulfato de amonio con respecto a lo que reciben de cal al usar  $\text{NO}_3\text{Na}$  es igual a 67 lbs. de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  por cada 100 lbs. de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  aplicado.

Hartwell y Lamond, dicen que se debe aplicar 7 lbs. de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  por cada libra de  $\text{N}_2$  suministrado como  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ , siendo esta la base de la cantidad de cal a echarse para mantener el terreno fértil con la ayuda del Sulfato de Amonio.

Allison y Cook (1917), hallaron que para cada 100 lb. de Sulfato de Amonio aplicado al suelo hay un aumento de acidez neutralizable con 143 lb. de cal como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .- En general se puede decir, que en suelos muy ácidos, se debe aplicar de 1.5 a 2.0 toneladas de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  por tonelada de Sulfato de Amonio.- De todas maneras, para hacer un buen uso del abono y a la vez obtener un gran ahorro en lo referente a su aplicación, se hace a veces necesario hacer un análisis aproximado del suelo, obteniendo el pH y ahorrar en esa forma, en caso que éste sea bajo el factor neutralizante.

#### APLICACION DEL $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ Y SU VALOR FERTILIZANTE CON RELACION AL $\text{NO}_3\text{Na}$ .

La aplicación en los terrenos de cultivo es el mismo que para los abonos que se hallan en forma de nitratos.- El Sulfato de Amonio, como hemos visto al hablar de los Fertilizantes Amoniacales es resistente a ser lixiviado por las lluvias o aguas de riego, teniendo en esto una gran ventaja sobre los nitratos, en los puntos que respectan a su aplicación en nuestro país.-

Se sabe que 75 lbs. de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  equivale a 100 lb. de  $\text{NO}_3\text{Na}$ .- Por lo general se aplica de 50 a 250 libras por acre.

Durante 55 años de experimentos en cultivos, para obtener el resultado comparativo del valor fertilizante del Sulfato de Amonio y Nitrato de Sodio; Noll, Gardner e Irvin, en 1931 han llegado a la conclusión de que el  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  es la mejor vía para el suministro de nitrógeno al suelo de cultivo.

El sulfato de amonio es facilmente absorbido por suelos acidos, por los elementos coloidales del suelo; pero esto no sucede así en suelos de caracter básico, en donde se pierde el amoniaco del sulfato, con el agua de riego o de lluvias, sin que llegue a fijarse bien.

En suelos alcalinos, es preferible usar abonos amoniales, pues se ha comprobado que las plantas absorben con mayor facilidad los iones amonio, según estudios hechos por Pione y Bower en 1943.

000000000000000000000000000000

000000000000

000

0

## FABRICACION DE SULFATO DE AMONIO

### PROCESO MERSEBURG.

Este método que tuvo su origen en Merseburg, Alemania, se basa en la obtención de sulfato de amonio producido por la reacción entre el Sulfato de Calcio y Carbonato de Amonio.



Se puede dividir el proceso en dos partes: la preparación del yeso y la preparación del carbonato de amonio.

Por preparación del yeso se entiende la transformación del yeso de la mina a yeso libre de impurezas y finamente pulverizado, con el objeto de acelerar la reacción con el otro compuesto. El yeso llega de la mina desde bloques de unos 50cms. aproximadamente 18" a 20" de diámetro, hasta pedazos del tamaño del puño de una persona. En la fábrica, pasa primero a un molino primario, que reduce el tamaño de la piedra a  $\frac{3}{4}$ " aproximadamente; luego con el objeto de clasificar el grano con el aparato clasificador, para aprovechar la parte más fina, se mezcla con agua para no hacer la clasificación en seco, pues no sería tan completa, operación que se realiza en un mezclador, pasando luego a los clasificadores, cuyo número será mayor, cuanto mayor sea la finura y limpieza que se desee obtener al final. Luego pasa a un filtro que separa la mayor parte del agua que lleva consigo el yeso y de allí a un secador, que además de separar la humedad restante, puede en algunos casos hasta evaporar también parte del agua de composición del yeso que es de dos moléculas de agua y convertirlo en yeso de media molécula de agua, es decir que se puede realizar una calcinación incompleta. Del secador pasa por último a un molino secundario, donde se vuelve a reducir el tamaño del grano a malla de -40 a -60. Al salir del molino ó pulverizador, el yeso está en condiciones de entrar a reaccionar con el Carbonato



de Amonio.

El Carbonato de Amonio se prepara a partir del Amoniacó Sintético y del Anhidrido Carbónico que se obtiene también como subproducto de la Planta de Amoniacó. La operación se realiza en torres de absorción, ya sea introduciendo estos dos compuestos a la vez ó separadamente, en una cierta cantidad de agua ó también a veces en una solución muy diluída de Sulfato de Amonio. De las torres de absorción sale una solución de Carbonato de Amonio de 39% a 42%, aunque la concentración normal es de 380 grs/lt. estando los compuestos que entran a las torres en una relación de 4 de  $\text{NH}_3$  por 5 de  $\text{CO}_2$ . La solución de carbonato se mantiene a unos  $82^\circ\text{F}$ .

Teniendo ya preparados los reactantes, es decir, el Sulfato de Calcio y el Carbonato de Amonio, se procede a la reacción en un número de tanques que varían de tres a seis. Estos tanques se hallan colocados en serie y cada uno tiene su agitador. La solución de carbonato y el yase son alimentados en el primer tanque, donde comienza la reacción, siguiendo esta en los tanques siguientes, pues los reactantes van pasando por rebose de un tanque a otro. Generalmente la sílice y pequeñas cantidades de yeso se separan en el primer tanque, quedando las demás impurezas para separarse después con el lodo de Carbonato de Calcio, al filtrarse la solución de Sulfato de Amonio formada. Actualmente la temperatura máxima de reacción es de  $120^\circ\text{F}$ , pero esta temperatura relativamente baja en comparación con las usadas antes, se debe solamente a la calcinación menos completa del yeso. Esta temperatura se mantiene así con el objeto de prevenir la formación de sales dobles.

De estos tanques de reacción, sale la solución de Sulfato de Amonio ya formada y mezclada con sólidos que en su ma-

yor parte están compuestos por el producto de la racción o sea el Carbonato de Calcio, siendo los demás sólidos, arcillas, sílice etc.. que son impurezas del yeso, pasan a un filtro, donde se separan la solución de los sólidos. Los sólidos van a los depósitos, donde se almacenan y son despues usados como acondicionadores de los terrenos de cultivo. Por otra parte, la solución despues de pasar a un depósito, donde se mezcla con el Licor Madre, que regresa del filtro que separa los cristales de Sulfato de su solución concentrada ( Licor Madre), pasa a un evaporador y luego a un cristalizador; en este último se forman los cristales de Sulfato de Amonio que son después separados del Licor Madre en un filtro tipo canasta y luego seacados en un secador rotativo. La cristalización se realiza en medio ácido, siendo esta acidez de 1gr./lt. con el objeto de asegurar una producción de cristales de tamaño tal, que no formen costra.

A partir del evaporador, como veremos después, tanto el Proceso Messenburg, como el de Neutralización Directa son iguales y cotinuan siéndolo hasta terminar el proceso.

#### PROCESO DE NEUTRALIZACION DIRECTA.

Este proceso se basa simplemente en la reacción producida por el amoniaco y el ácido sulfúrico puro, que dan como resultado la formación de sulfato de amonio.



Dos son los métodos que se utilizan ( Ind. & Eng. Chemistry. Julio 1927) : el método frio y el caliente.

En el primer método, se usa ó se emplea usualmente, el subproducto de la destilación del coke, que es un gas que contiene de 1% a 2% de Amoniaco. Este es enfriado y pasa a travez de un extractor de alquitrán y luego a un saturador de sulfato de a-

monio que contiene ácido sulfúrico diluido. La sal resultante pasa a unos tanques de sedimentación, mientras que los gases, menos su amoníaco, pasan a travez de una trampa de ácido.

El saturador en este caso es mantenido a  $60^{\circ}\text{C}$ . o sea  $140^{\circ}\text{F}$ . El agua de exeso introducida con el ácido sulfúrico y como agua de lavado, es sacada con gran volumen de gas que pasa a travez del saturador.

En el método caliente y más importante que será discutido aquí, el amoníaco es introducido con prácticamente 100% de  $\text{NH}_3$  gaseoso y el saturador es mantenido a  $100^{\circ}\text{C}$ .. En este caso el exeso de agua sale como vapor.

El flujo es como sigue: primero el ácido sulfúrico fluye de un depósito por gravedad a la torre de absorción. El depósito es un tanque revestido de plomo. De la torre de absorción, pasa al saturador. Por medio de ejectores de vapor, el licor con los cristales pasa a unos recipientes donde es realiza el crecimiento de los cristales y a la vez la separación del Licor Madre que regresa al saturador. Cuando existen ya un número de cristales suficientes, del recipiente pasan a centrifugarse y luegoa secarse. De allí son enviados los cristales a almacenarse.

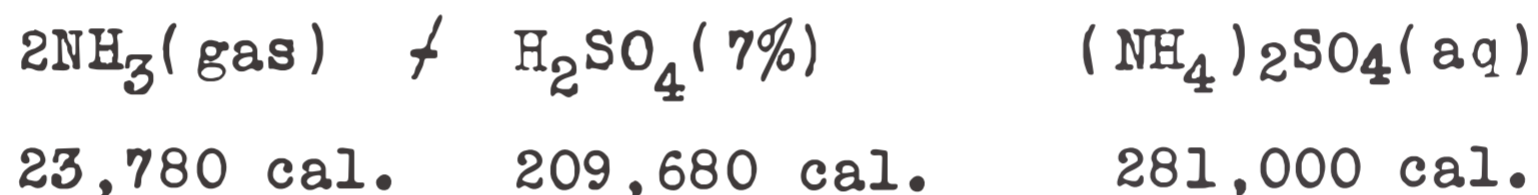
Mas tarde la torre de absorción y el saturador con el tanque de sedimentación, fueron reemplazados por un evaporador y un cristalizador que tenían la misma función. Por último todo esto se ha reemplazado por un cristalizador al vacío, que realiza las operaciones de evaporación y cristalización al mismo tiempo.

Las condiciones de operación, sin embargo son casi las mismas, en lo que se refiere por ejemplo al tamaño de los cristales. Se sabe que el tamaño de los cristales aumenta, cuando la aci-



dez del saturador aumenta, por eso es muy importante, mantener baja la concentración del ácido. En plantas que usan subproductos de la destilación del coke, la acidez se mantiene alrededor de 2.5%. Esto es posible, porque como se ha mencionado antes, el gas tiene bajo porcentaje de amoniaco. Sin embargo, cuando se trabaja con amoniaco 100% puro, se usará una acidez de 4% a 7% de ácido sulfúrico.

Los calores de formación en la reacción, por mol de cada elemento y para la substancia en el estado indicado es como sigue:



Por diferencia tendremos nosotros, que el calor desarrollado será de 47,540 cal. por mol de Sulfato producido. Además, se desarrolla un calor de dilución del exeso de ácido sulfúrico añadido que es de 60°Bé. (77.67%) y que para 7% será de 8,669 cal/mol. Por lo tanto, el calor total desarrollado es de 47,504  $\neq$  8,669 = 56,209 cal/mol de Sulfato.

Ahora, veremos como será necesario añadir agua, antes de realizar la operación de evaporación y cristalización, que será una de las razones, para la preferencia que se le da al proceso combinado de los dos métodos expuestos.

Consideremos que todo el calor se utiliza en convertir agua de 20°C a 100°C. Cada gramo de agua vaporizada consumirá 80  $\neq$  538.7 (Calor lat. de vaporización),  $\neq$  618.7 cal.

Ahora, 56,209 cal/mol de Sulfato, son equivalentes a 56,209/132 = 426 cal/gr. ~~mol~~, luego los galones de agua que tendrán que ser evaporados por tonelada de Sulfato producido, será

$$\text{igual a: } \frac{426 \times 2,000}{618.7 \times 8.4} = 164 \text{ gal. de agua.}$$

Por relación de pesos, se sabe, que una tonelada de sulfato, equivale a 515 lbs. de amoníaco y 1912 lbs. de ácido sulfúrico 60°Bé. Si se considera que existe una pérdida de ácido, se puede decir que 1 Ton. de Sulfato requiere 1 Ton. de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 60°Bé. Pero como 1Ton. de este ácido tiene aproximadamente 447 lbs. o sea 53 gal. de agua, la diferencia entre lo que se necesita evaporar y el agua que entra con el ácido, será el agua que hay que añadir o sea

$$164 - 53 = 111 \text{ gal. H}_2\text{O.}$$

Con una acidez de 7% como hemos dicho, los cristales que son muy pequeños, son luego centrifugados y como salen con algo de humedad, se hace necesario secarlos, realizándose este proceso en un secador rotativo.

PROCESO A SEGUIRSE EN ESTE PROYECTO  
PARA LA  
FABRICACION DE SULFATO DE AMONIO

Debido a la gran semejanza que existe entre las condiciones favorables, que han sido la causa del diseño de una planta flexible de Sulfato de Amonio en la India ( Travancore) y las condiciones de Chimbote, es que se ha escogido como proceso más ventajoso para el Perú, y sobre todo en Chimbote, por tener a la mano abundancia de piedra yesera y probable instalación de planta de Amoniaco Sintético y Acido Sulfúrico, por tener también condiciones favorables, el Proceso Combinado de Sulfato de Amonio, que consiste en su obtención por los dos métodos antes citados, es decir, el Proceso Merseburg y el de Neutralización Directa.

Es muy ventajoso combinar estos dos métodos, pues por cada método por separado, el costo de la evaporación y cristalización del Sulfato de Amonio, que en realidad es la transformación que más cuesta en cada una de las dos plantas, viene a salir mucho más costosa todavía. Por ejemplo, en el método de Neutralización Directa, es necesario, para evaporar y cristalizar el producto, añadir agua, que es a la vez la que se evapora. En éste método, si se introdujera en el evaporador en vez de agua, una solución de Sulfato de Amonio, es natural que con un costo casi igual, se podría obtener el doble ó la doble cantidad de producto. Por otra parte, tratándose del Proceso Merseburg, la evaporación de la solución de Sulfato, en vez de hacerse sin adición de  $H_2SO_4$  y  $NH_3$  como se hace en el Proceso Combinado, se hiciera sola, el costo sería también casi igual, siendo sin embargo una producción doble de la otra.

Otra razón es también la facilidad de tener una planta flexible, es decir, la facultad de poder producir el Sulfato



por uno de los dos métodos en caso de que no sea posible hacerlo por el otro, ya sea por falta de materia prima ó también en el caso de que por limpieza, se haga necesario parar una parte de la Planta.

El proceso a seguirse será explicado detalladamente, incluyendo los aparatos a usarse y sus propiedades, dejando para después los cálculos de estos.

PROCESO COMBINADO.

Materia Prima.-

a) Yeso.- La facilidad de obtener yeso en el Norte, que puede salir muy barato,,siendo sus propiedades y composición muy favorables para la obtención del Sulfato de Amonio. Sin embargo, por carecer del precio en el norte ( Chimbote), por no explotarse casi las minas, nos basamos en el precio que podría tener la piedra yesera en Chilca. La composición aproximada de la piedra yesera es:

Yeso.....	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	80.2	%
Anhidrita.....	$\text{CaSO}_4$ .....	1.7	
Carbonato de Calcio...	$\text{CaCO}_3$ .....	3.3	
Carbonato de Magnesia.	$\text{MgCO}_3$ .....	0.3	
Sílice.....	$\text{SiO}_2$ .....	2.2	
Sesquióxido de Hierro y Alúmina.....		0.6	
Exeso de sulfatos.....		0.7	
Impurezas.....		11.0	
		100.00	%

b) Amoniacó Sintético.- Debido a las grandes facilidades que se tiene en Chimbote para la fabricación de este compuesto, como son, la fuerza eléctrica barata y la cercanía a los yacimientos de Ancos y Galgada ( Yacimientos de Antracita), explotados por el Banco Minero, se hace muy probable la fabricación de este producto en esa zona. Este tema es tratado detalladamente en el Proyecto de Grafo que presenta el exalumno Pedro A. Figueroa D.

c) Acido Sulfúrico.- Por poderse fabricar también en ese sitio, el Acido Sulfúrico, que complementaría la fabricación del

Sulfato de Amonio. Las condiciones favorables de Cimbote, para la fabricación de Acido Sulfúrico, son también tratadas en el Proyecto que presenta el exalumno Manuel A. Chumbiray Q.

d) Anhidrido carbónico.- Este compuesto se obtiene como subproducto de la fabricación de Amoniaco.

e) Agua.- Por último, la materia prima indispensable como lo es, el agua, es suministrada en grandes cantidades por el Río Santa que pasa muy cerca de la instalación de la Planta.

#### PROCESO Y DESCRPCION DE APARATOS.

Máquina Pesadora.- Antes de comenzar el proceso de transformación del Yeso, se empieza por pesarlo, para luego pasar a la primera trituradora ó molino. Las propiedades y funcionamiento, son bastante conocidas y no necesitan de explicación alguna.

Molino Primario.- Como de la cantera, se manda la piedra yesera en trozos, cuyo tamaño oscila promedialmente entre las dimensiones que un hombre puede levantar comodamente en el carguío, alrededor de 50 cms. y un mínimo de volumen aproximadamente de un puño. Estos trozos son llevados hasta el molino por medio de una máquina transportadora, cuyo extremo final se halla justamente sobre la tolva de carga ó garganta de alimentación del molino cuyas dimensiones son de 22"x24." , dimensiones que aseguran que todos los trozos de yeso puedan entrar al molino para ser triturados. El yeso sale del molino con una dimensión máxima de  $\frac{3}{4}$ ".

El tipo de molino escogido es el de martillo, aunque podía haberse escogido también una trituradora de mandíbula, pero como el yeso es un material muy blando y el tamaño del grano en la salida debe ser pequeño con relación a la entrada, es que se ha preferido en de martillo. Los martillos, que pivotean, están co-

locados en un eje horizontal y rompen el yeso por impacto contra los martillos y contra un plato de material muy duro. En la parte inferior existe un especie de enrejado ó emparrillado, que deja pasar el producto según el tamaño de la abertura, siendo posible la regulación de dicha abertura para controlar el tamaño del producto, así como también el alargamiento ó acortamiento de los martillos para el mismo fin. La velocidad varía de 500 a 1,800 r.p.m. dependiendo del tamaño de la maquinaria.

Entre los molinos de martillo el escogido ha sido del tipo Williams N<sup>o</sup> 2 y de la categoría Jumbo Junior.

Mezclador.- Por medio de un elevador de cangilones, el yeso reducido a  $-\frac{3}{4}$  " es elevado hasta un mezclador que tiene por objeto mezclar el yeso con agua para poder así hacer la clasificación por vía húmeda, que es en este caso más conveniente por no desperdiciar así mucho material de mínimo tamaño.

Esta mezcla se realiza muy fácilmente en un mezclador de brazos o paletas, que en realidad pertenece al tipo más antiguo de mezclador y consiste esencialmente en una o mas paletas horizontales, verticales o diagonales, que rotan axialmente. El mezclador es de forma cilíndrica generalmente y el movimiento de la paleta tiende a arremolinar la mezcla.

Este tipo de mezclador es el mas conveniente para este caso, por ser de costo relativamente bajo, por consumir relativamente poca energía y por ser más conocido.

Clasificador Trommel.- Este clasificador es el primero de una serie de clasificadores que tienen por objeto separar las partículas más pequeñas que irán a reaccionar con el Carbonato de Amonio. Se halla colocado después del mezclador y recibe la mezcla de yeso y agua, para se-



parar las partículas de  $-\frac{1}{4}$  " que pasarán directamente a un filtro Dorrco, que se halla colocado antes del secador de yeso, y la otra parte pasa a otro clasificador tipo rastrillo.

El Trommel consiste en un cilindro rotatorio de metal laminado y perforado. El material avanza por medio de cierta inclinación que se le da al cilindro y además por rotación. Puede ser reemplazado por un simple cernidor.

Clasificador Tipo Rake (Rastrillo).- Este clasificador tiene por objeto terminar la separación de las más pequeñas partículas que no han sido separadas por el Trommel y hacer así una clasificación más efectiva. Recibe el producto más grueso que sale del Trommel y al hacer la separación, envía la parte más pequeña al filtro Dorrco y la mas gruesa a otro clasificador tipo Bowl-Rake, que hará la separación del yeso de condiciones especiales tales, que pueda ser usado en cemento como retardador.

Este aparato comprende un tanque, uno ó mas rastrillos y un mecanismo que hace actuar los rastrillos. Este mecanismo que consiste esencialmente de una exéntrica, que con diversos mecanismos mas hace que el rastrillo describa un rectángulo con uno de los lados paralelo al fondo.

La alimentación se realiza por la parte superior y es distribuída y dirigida hacia un extremo del tanque, cuya altura es mayor. La arena o mejor dicho las partículas más pesadas, sedimentan en la zona de los rastrillos y es rastrillada y llevada por estos hacia arriba por el fondo inclinado que existe, mientras que la parte más fina que queda en suspensión en el agua, sale por el otro extremo.

Clasificador Tipo Bowl-Rake.- Este clasificador puede ó no ser

ser considerado en la Planta de Sulfato de Amonio. Se puede considerar el caso de que se quiera aprovechar una parte del yeso para usarse como retardador de cemento, considerando las cualidades que tiene el yeso para ese efecto, sin tener entonces que desperdiciarlo en forma de lodo.

La alimentación de este clasificador, como hemos dicho, proviene del Clasificador Rake y su objeto es separar una parte, para usarse como retardador de cemento y otra, que conteniendo las impurezas que entran al comienzo del proceso con el yeso, se eliminan en forma de lodo.

El Clasificador Bowl-Rake, es un clasificador que tiene una parte parecida al clasificador anterior y otra, parecida al llamado Hidro-Bowl que tiene un tanque en el que se halla colocado un especie de plato de fondo cónico que gira.

El yeso, para usarse en cemento, es llevado por un transportador para su almacenamiento.

Espesasador.- El espesador, colocado después del clasificador anterior, recibe de él una cantidad de sólidos, que además de yeso, contiene una cantidad de impurezas. Están mezclados con una cierta cantidad de agua, que debe ser separada en su mayor parte, para ser aprovechada de nuevo, recirculándola al tanque de abastecimiento de agua.

El espesador a usarse, será uno del tipo continuo, que además de utilizar la acción de la gravedad para la sedimentación del sólido, tiene un mecanismo para acumular esas partículas y juntarlas cerca del caño de salida. Este mecanismo es generalmente de acción centrífuga.

El tanque del espesador es de poca profundi-

dad en comparación con su diámetro; por la parte superior sale el agua casi libre de sólidos, generalmente por la periferia, saliendo por la parte inferior el lodo. Por medio de unos brazos curvados y a veces en forma de hélice, accionados por un motor y colocados cerca del fondo, los sólidos son conducidos hacia abajo y hacia el centro, sitio por donde salen al exterior.

La descarga por el fondo, no es a veces satisfactoria lo que da lugar a usar, sobre todo en las instalaciones modernas, bombas, para tener u obtener un desplazamiento de un volumen constante.

Filtro Dorrco.- Este filtro, recibe una mezcla de yeso y agua de los dos clasificadores, Trommel y Rake. Tiene por objeto, hacer la separación del sólido y del líquido; el sólido, que pasará al secador de yeso y el líquido, que es agua, recircula de nuevo al tanque de agua.

Este filtro, parecido al Oliver, hace la succión del líquido de adentro hacia afuera, quedando el sólido con muy bajo porcentaje de humedad. El tambor rota alrededor de su eje horizontal, es cilíndrico y uno de sus extremos está cerrado llevando un muñón y el otro extremo se halla abierto. No existe tanque para lodo, pues este es llevado por el espacio comprendido entre el espacio comprendido entre el cilindro interior y la parte del extremo de las paredes. La superficie filtrante, consta de unos paños filtrantes, superpuestos, a veces y colocados sobre uno o mas canales profundos que terminan en una tubería de succión , a través de los cuales el filtrado es llevado a los reservorios. Cuando en la succión, el cake llega a formar un espesor dado, se corta la succión y se insufla aire a pre-

que tiene por objeto, sacar el cake adherido a los paños filtrantes. El cake cae entonces dentro de un conductor de gusano que lo lle-



va al exterior y es recibido por un conductor de faja que lo transporta hasta el horno rotatorio de yeso. El líquido, que como hemos dicho es agua, regresa al tanque de agua,

Secador de Yeso.- El yeso es alimentado a este secador, como hemos dicho por un transpr. de faja que lo trae del Filtro Dorrco. Este yeso tiene generalmente de un 10% a 15% de humedad. Antiguamente, en el horno, además de disminuir esta humedad, el yeso era calcinado en parte en su primera etapa, convirtiéndose la mayor parte el  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , a una temperatura que varía de 230 a 270° F. Actualmente se ha aumentado enormemente la producción y sobre todo la reacción del Sulfato de Calcio con el Carbonato de Amonio, se ha acelerado en los tanques de reacción, por medio de una calcinación menos completa en este horno. Es esa la razón por la cual en el secado, considero solamente la temperatura necesaria para secar el yeso sin eliminar parte del agua de cristalización.

El secador para yeso es cilíndrico y está algo inclinado con respecto al plano horizontal. Puede ser rotativo o también estacionario aunque teniendo un agitador que revuelve el material lentamente. En los dos casos el material es alimentado por la parte superior y avanza progresivamente hacia el otro extremo que se halla en un nivel inferior. La inclinación varía de 1 en 16 a 1 en 30. La masa del material ocupa el 20% a 40% del volumen total y la velocidad del aire o gases calientes varían con el material dependiendo de la finura de este.

En el secador escogido para este caso, el secado se realiza por medio de aire caliente. Este es calentado por vapor, ya que es fácil conseguirlo de la planta anexa de Amoniaco.

El producto que sale del secador, es yeso com-

pletamente seco, algo calcinado y antes de reaccionar, debe pasar por un molino secundario, que pulveriza el yeso, hasta ponerlo en condiciones de reaccionar con el Carbonato de Amonio.

Molino Secundario.- Este molino tiene por objeto, reducir el tamaño del yeso de tal manera que pase por la malla de -60 a -40 que vienen a ser las dimensiones mínimas, para una reacción más favorable con el Carbonato de Amonio.

La baja dureza y la poca consistencia propias del yeso, han indicado en su tecnología, como tipos de aparatos apropiados para la pulverización, a los que sin los refinamientos mecánicos destinados a vencer fuertes resistencias y a compensar rápidos desgastes, fueran capaces de asegurar la obtención de un polvo cuya finura sea la mayor y más homogénea posible. Esta indicación del uso de una maquinaria sencilla y barata, la hago solamente para dar la razón de la maquinaria a usarse.

El molino escogido para este efecto es el **EMERY** de la Sturtevant Company, cuya representación tiene la casa Wiese.

El aparato consta de dos discos chatos de piedra silicosa, revestidos por el lado activo con piedra de esmeril (Emery), en los que se hallan trazados curvas radiales de poca profundidad. Uno de los discos gira con su cara plana haciendo frente al otro y dejando una pequeña luz, en donde la piedra sufre la acción de la fricción como efecto mecánico desagregante.

El producto que sale, como se ha dicho ya anteriormente, pasa al primer tanque de reacción con carbonato de amonio.

Torres de Absorción de Amoniaco y Anhídrido Carbónico.-

Estas torres, como su nombre lo indica sirven para absorber el amoniaco en agua o en una solución débil de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$

como en este caso, absorbiéndose luego el anhídrido carbónico en la solución de  $\text{NH}_3$  formada, reaccionando entonces el  $\text{NH}_3$  con el  $\text{CO}_2$  que es inyectado para formar una solución de  $\text{CO}_3(\text{NH}_4)_2$  con una concentración de 350% a 420 gramos por litro.

Esta solución se forma teniendo como materia prima el  $\text{NH}_3$  y el sub-producto  $\text{CO}_2$  que proviene de la Planta para Amoníaco Sintético que está anexa. La solución 6 % de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  que es también parte de la alimentación a estas torres, proviene del filtro Lurgi, y después a parar a este mismo filtro, es decir que se encuentra en un circuito cerrado juntándose luego con parte del agua que viene del tanque de condensado en el Evaporador-Cristalizador.

Los únicos datos que se han podido obtener para hallar el tipo de torre a usarse en esta absorción los da la Singmaster & Breyer, que ha diseñado una Planta similar, para la India. El proyecto antes mencionado dice "que ~~se~~ se usan tanques de absorción tipo Jet", dando los mejores resultados una relación de  $\text{NH}_3$  a  $\text{CO}_2$  de 0.8 .-

La Torre de absorción para  $\text{NH}_3$  se puede también calcular con un relleno de coke, por ejemplo, pues hay datos suficientes para hacerlo, pero sin embargo es imposible hallar los datos para calcular una torre de absorción para  $\text{CO}_2$  en solución de  $\text{NH}_3$ , por lo tanto se ~~ha~~ ha considerado en este caso, torres de absorción con relleno de coke, con dimensiones aproximadas a los datos que se dispone.

El  $\text{CO}_2$  se inyecta a 5 atmósferas de presión.-

El producto, una solución de  $\text{CO}_3(\text{NH}_4)_2$  al 41 % pasa al primer tanque de reacción, para reaccionar con el yeso y formar una solución de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ .-

#### Tanques de Reacción.-

Estos tanques, colocados en serie, tienen por objeto: mantener la solución de carbonato de amonio con el yeso durante el



tiempo necesario para que se realice la reacción y se forme el Sulfato de Amonio, quedando en forma sólida el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  que se forma según la reacción:



Basándonos también en el proyecto de la Singmaster & Breyer, se tomará para la presente Planta de Sulfato de Amonio, cinco (5) tanques de reacción de 10' de diámetro y 10' de altura.

En la India, los tanque son de madera por ser ésta muy barata, pero en nuestro caso es mejor hacerlos de acero inoxidable 304, que es el tipo de acero recomendado para este proceso.

Cada tanque tiene un agitador con su motor respectivo, pasando la solución de un tanque a otro por un rebose. El lodo de cada tanque se bombea a un tanque general para este efecto.

La agitación se favorece con la introducción de 4 (cuatro) juegos de planchas desviadoras (Baffles) de 8", en el interior de los tanques.

La sílice y pequeñas cantidades de yeso que no reaccionan, se separan en el primer tanque.-

La temperatura máxima de reacción es de  $120^{\circ}\text{F}$  para prevenir la formación de sales dobles.- Esta temperatura mas baja que la usada antes, se debe a la calcinación menos completa en el secador para yeso.

Tanque de Solución.- Después de haber reaccionado el Sulfato de Calcio con el Carbonato de Amonio en los Tanques de Reacción, pasa la solución de Sulfato de Amonio formada y mezclada con el Carbonato de Calcio, a un tanque de solución que almacena esta mezcla para enviarla luego al Filtro Lurgi. Este tanque puede ser de planchas de fierro con revestimiento de plomo, en el caso de que se quie-

ra utilizar un material relativamente barato. Pero, para asegurar un buen rendimiento, se puede usar mejor, acero inoxidable 304 que es el que recomienda actualmente la Singmaster & Breyer . La forma del tanque será mejor cilíndrica y con el fondo cónico, con el objeto de que si las partículas de Carbonato de Calcio sedimentan, puedan ser arrastradas de nuevo por la solución. La alimentación se hace por la parte superior y la salida, por el vértice inferior del fondo cónico.

Filtro Lurgi.- Este Filtro recibe la solución de Sulfato de Amonio mezclada con Carbonato de Calcio, una solución débil que se hace recircular en forma de agua de lavado y por último recibe una cierta cantidad de agua de lavado del tanque de agua. Salen del Filtro, la solución de Sulfato de Amonio que pasa al tanque de solución, el cake o sea el Carbonato de Calcio mezclado con arcilla, sílice etc. y demás impurezas que entran con el yeso y por último, ~~dos~~ soluciones débiles, una de ellas es de 6% de Sulfato de Amonio que es la que pasa a las Torres de Absorción y la otra, más débil, que se recircula como agua de lavado.

El cake que sale del filtro, se puede utilizar como acondicionador para terrenos de cultivo.

El Filtro Lurgi, difiere de los otros filtros continuos y al vacio, en que el filtrado y lavado se hace en una faja sin fin, de jebe y colocada horizontalmente. El filtro corre entonces por el medio de unas cajas de succión, saliendo después el cake por uno de los extremos de la correa. La alimentación de lo que se quiere filtrar, se hace al principio, es decir, por un extremo de la correa sin fin, pasando hacia abajo el filtrado en unas cajas de succión. La velocidad de la correa es de 0.3 a 15 pies

por minuto, dependiendo de la facilidad inherente de filtración. El movimiento de la correa lleva al cake a travez de una zona de lavado, por la cual se inyecta un líquido lavador siendo en nuestro caso agua. Por último, pasa por otra caja de succión que termina de secar el material, siendo descargado el material por un extremo. En el retorno de la correa o sea por la parte inferior, esta es lavada por una lluvia de agua.

Alrededor de un 25% de la longitud de la correa tiene una superficie filtrante efectiva. La correa tiene una vida de  $1\frac{1}{2}$  a 2 años aunque esto depende mucho de las condiciones de filtración. Este filtro, por las muchas ventajas que ofrece en lo que respecta al Sulfato de Amonio y por usarse ya en algunas plantas que fabrican este producto, ha sido escogido en este proyecto.

#### Tanque de Agua de Lavado para el Filtro Lurgi.-

Esta agua de lavado viene ha ser el agua proveniente del tanque general para agua que tambien se utiliza para el lavado de los sólidos, pero que tiene muy poca cantidad de sulfato de amonio en solución. Sirve por lo tanto, ya que tiene algo de sulfato en solución, para utilizarse como agua de lavado a la vez que no se desperdicia el sulfato que contiene.

El puede ser de base rectangular ya que la solución no contiene sólidos, ni hay razón para que el sulfato cristalice por ser la solución muy diluida, pudiendo ser el tanque de plancha de fierro revestida con plomo.-

#### Tanque de solución de $SO_4(NH_4)_2$ , al 6% .-

Este tanque contiene la solución diluida de sulfato de amonio proveniente del lavado de los sólidos o cake. Con el objeto de no desperdiciar tampoco el sulfato que contiene esta



solución, se utiliza para absorber el  $\text{NH}_3$  en la primera torre de absorción, para volver a introducirse de nuevo al proceso y recircular en esta forma hasta el Filtro Lurgi.

El material de que estará construido el tanque será también de plancha de fierro revestido con plomo, teniendo base rectangular.

#### Tanque para Solución que precede al Cristalizador.-

Este tanque recibe dos soluciones de sulfato de amonio, una de ellas es la solución 40 % que viene del Filtro Lurgi y la otra corresponde al licor madre que regresa de las centrifugas, después de haberse separado de los cristales de sulfato de amonio.

En este tanque se juntan estas dos soluciones formando la solución que entrará al Cristalizador para concentrarse y formar los cristales de sulfato.

Debido a que el Licor Madre sale a una temperatura mas o menos elevada de las centrifugas, aproximadamente  $158^{\circ}\text{F}$ , al mezclarse con la solución de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  que llega relativamente fría,  $75^{\circ}\text{F}$ , es necesario tener la última solución a una temperatura baja teniendo al mismo tiempo una concentración baja de manera que permita que el  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  siga en solución en esta mezcla final y a una temperatura dada, tal que el sulfato de amonio no cristalice en el tanque.

Esta solución resultante, pasa al Cristalizador-Evaporador a una temperatura aproximada de  $120^{\circ}\text{F}$ .

#### Cristalizador al Vacío.-

Del tanque de solución, pasa la mezcla del Filtro Lurgi con el Licor Madre a este Evaporador-Cristalizador.

Este aparato tiene por objeto evaporar el agua de la solución concentrándola, sobresaturándola y cristalizando así el sulfato de amonio.

En este caso, se introduce al Cristalizador, además de dicha solución, amoníaco y ácido sulfúrico, que por neutralización directa produce  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ .

Vemos pues en este caso de combinación de los dos métodos, una gran ventaja por la cantidad de cristales que se puede producir con un aparato de esta naturaleza.

Las grandes ventajas del Cristalizador-Evaporador, de este tipo, que en realidad es un aparato bastante moderno, son las siguientes:

- A).- El calor no se transmite a través de una pared sólida, que puede tornarse oxidada, incrustarse de sales que puedan corroerlas;
- b).- La temperatura final del proceso no está limitada por el agua disponible para el enfriamiento;
- c).- La Evaporación no solo enfría la solución, sino que incrementa la cristalización;
- d).- El control y la regulación de las condiciones de trabajo son muy sencillas;
- e).- La construcción de los Cristalizadores, permite el uso de aparatos revestidos con jebe o plomo, para el trabajo con productos corrosivos;
- f).- Posibilidad de operar continua o discontinuamente;
- g).- Pequeños gastos de funcionamiento;
- h).- Poco espacio requerido para la instalación.

El inconveniente que existe estriba en la necesidad de contar con locales de bastante altura.

Entre los tipos de Evaporadores-Cristalizadores, el tipo más conveniente para la producción de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  es el llamado tipo Krystal, que tiene sobre los otros ciertas ventajas que son las que le dan preferencia, estas son:

- a).- Buena economía y utilización del agente de enfriamiento y del vapor, ya que las superficies de intercambio se mantienen cons-

tantemente libre de incrustaciones;

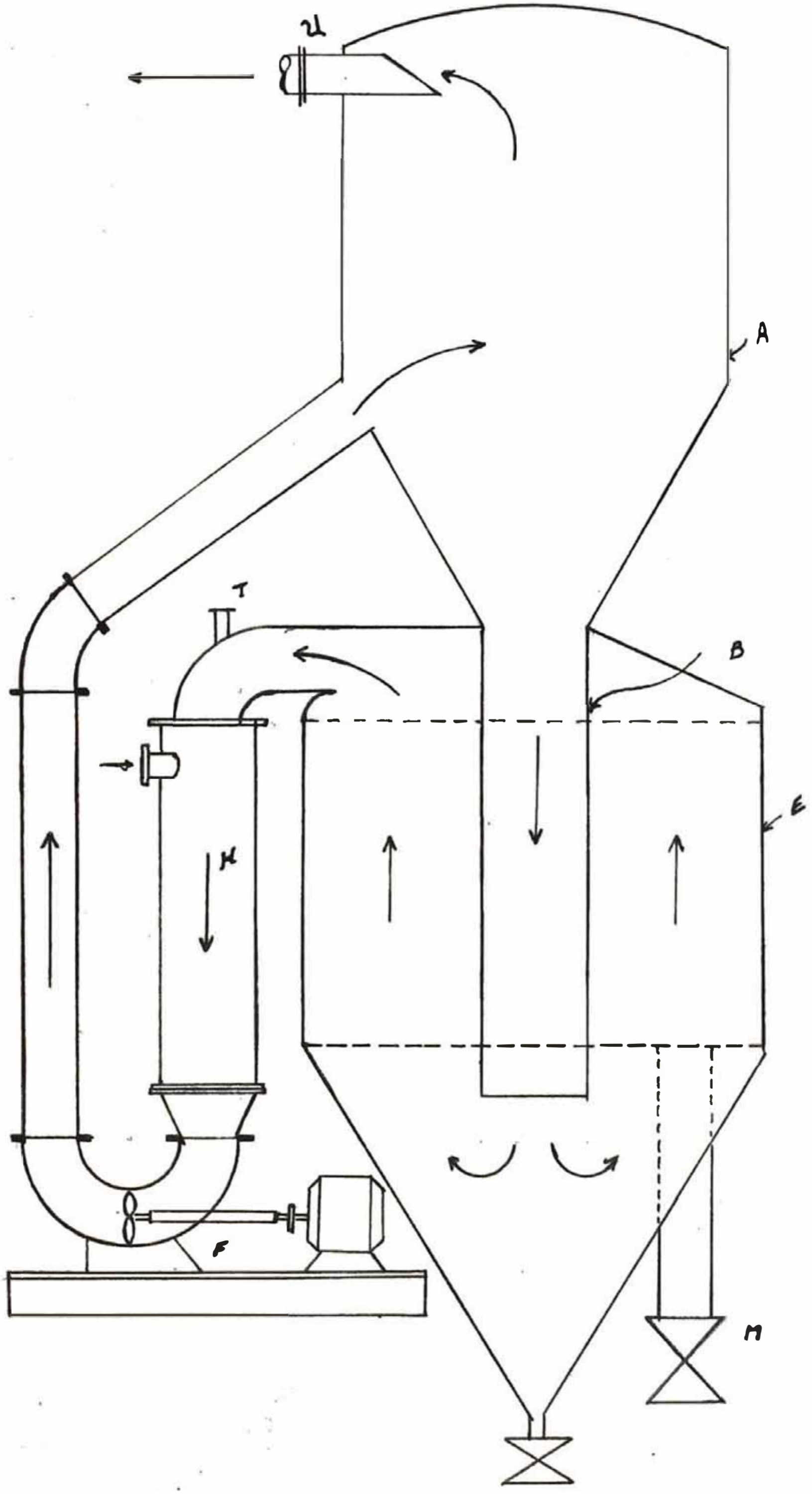
- b).- Producto final de gran pureza y en cristales sueltos y uniformidad de tamaño, puesto que el crecimiento de los cristales tiene lugar en el seno de una corriente, que los mantiene suspendidos, en tanto que ellos no alcanzan el tamaño que provoca la sedimentación, en cuyo momento son evacuados;
- c).- Posibilidad de regular el tamaño de los cristales, lo que permite obtener con el mismo aparato, cristales pequeños o grandes, según las exigencias del mercado; y
- d).- La gran ventaja que su uso da para productos cuya solubilidad se eleva con la temperatura.

Siendo este el aparato mas importante en esta Planta, se hace necesaria una explicación mas o menos detallada que pueda dar idea de su funcionamiento, ayudándonos para esto la figura adjunta, en donde se muestra esquemáticamente el aparato.-

Este aparato que tambien es conocido como el Cristalizador Oslo, se caracteriza porque la sobresaturación se produce en una corriente circulante. En el elemento mismo cristalizante, la solución sobresaturada, fluye hacia arriba a travez de una cama, formando y haciendo crecer los cristales a la vez que ejerce una acción de clasificación.

En la figura se ve que la sobresaturación se obtiene por calentamiento de la corriente circulante, mientras bajo una gran carga estática, suficiente para prevenir su cristalización y evaporación instantánea (flashing) de la solución calentada en el recipiente "A".- El vapor producido por la evaporación instantánea es separada a travez de la tubería "U".- La solución sobresaturada con respecto a la temperatura existente en el recipiente de cristalización "E", sale del recipiente "A" hacia abajo y vuelve a subir pasando a tra-





vez de una parrilla (screen) que se halla en el fondo del vaso "E", siguiendo luego su camino, se pone en contacto con los cristales que se hallan en la parrilla perdiendo así la sobresaturación mientras se halla en contacto con ellos, de tal manera que cuando la solución llega al calentador "H" se halla prácticamente saturada. La solución de alimentación se mezcla con esta solución en "T", siendo la bomba "F" movida por un motor eléctrico, la que hace circular esta mezcla a través del cristizador.

El calentador "H" es calentado con vapor de agua. Los cristales pueden salir en forma continua o intermitente, por la descarga "M".-

Este tipo de Cristizador se usa en casos en donde la sobresaturación debe hacerse enteramente por evaporación y no por enfriamiento.

Para este proceso combinado, además de la solución, como se ha dicho, entra al cristizador  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , para formar por neutralización directa otra cantidad de sulfato de amonio.

El calor que se requiere para concentrar la solución y evaporar el agua, no será solamente suministrada por el vapor de agua, sino por el calor de reacción producido por el amoníaco y ácido sulfúrico y la solución que recircula, el calor que produce la cristalización por ser exotérmica y el calor producido por la dilución del sulfúrico en agua correspondiente a un exceso de ácido que debe existir para la mejor cristalización del producto. Además de esto, hay que tener en cuenta el calor que trae la solución mezclada con el licor madre, antes de entrar al calentador.

El vacío que se produce por medio de un condensador del tipo "Jet" es de 23", con el objeto de dar una seguridad de temperatura en la operación y también con el objeto que no se malogre la cober-

tura de jebe que protege a las paredes del cristalizador, aunque se han producido dificultades en lo que se refiere al equipo protegido con jebe, se ha reemplazado éste por plomo y acero inoxidable 304, especialmente en las bombas centrífugas.

La experiencia ha demostrado que se requiere alrededor de 1 gramo por litro de acidez para la formación de los cristales.

Cuando los cristalizadores trabajan con mayor número de cristales provenientes de la neutralización directa, la capa de cristales se controla en períodos largos, pero cuando trabaja con mas cristales provenientes de la reacción con yeso, el control es mas difícil; es por lo tanto mucho mas recomendable trabajar con productos provenientes mitad de cada método.

A veces se acumulan critales grandes en la base de los cristalizadores, parando así la circulación del licor, esto requiere un lavado (Shut-down) para disolverlos.

En este proceso se dispondrá de 2 (dos) cristalizadores, sobre todo para el momento en que la Planta trabaja por uno solo de los métodos; si es por el de neutralización directa, se necesitará añadir cierta cantidad de agua al critalizador, y si se trata del método Merseburg, solo habrá que añadir al cristalizador una pequeña parte de ácido sulfúrico para favorecer la cristalización.

Los cristales que salen de estos cristalizadores, pasan directamente a dos (2) centrífugas del tipo Continuo, no pasándose a un cristalizador por enfriamiento porque según la Curva de Solubilidades, vs. Temperatura, es fácil darse cuenta que entre rangos muy grandes de temperatura las solubilidades varía muy poco, habiendo en este caso muy pocos cristales foemados por esta vía.

#### Centrífugas.-

Para la separación de los critales y el Licor Madre, se



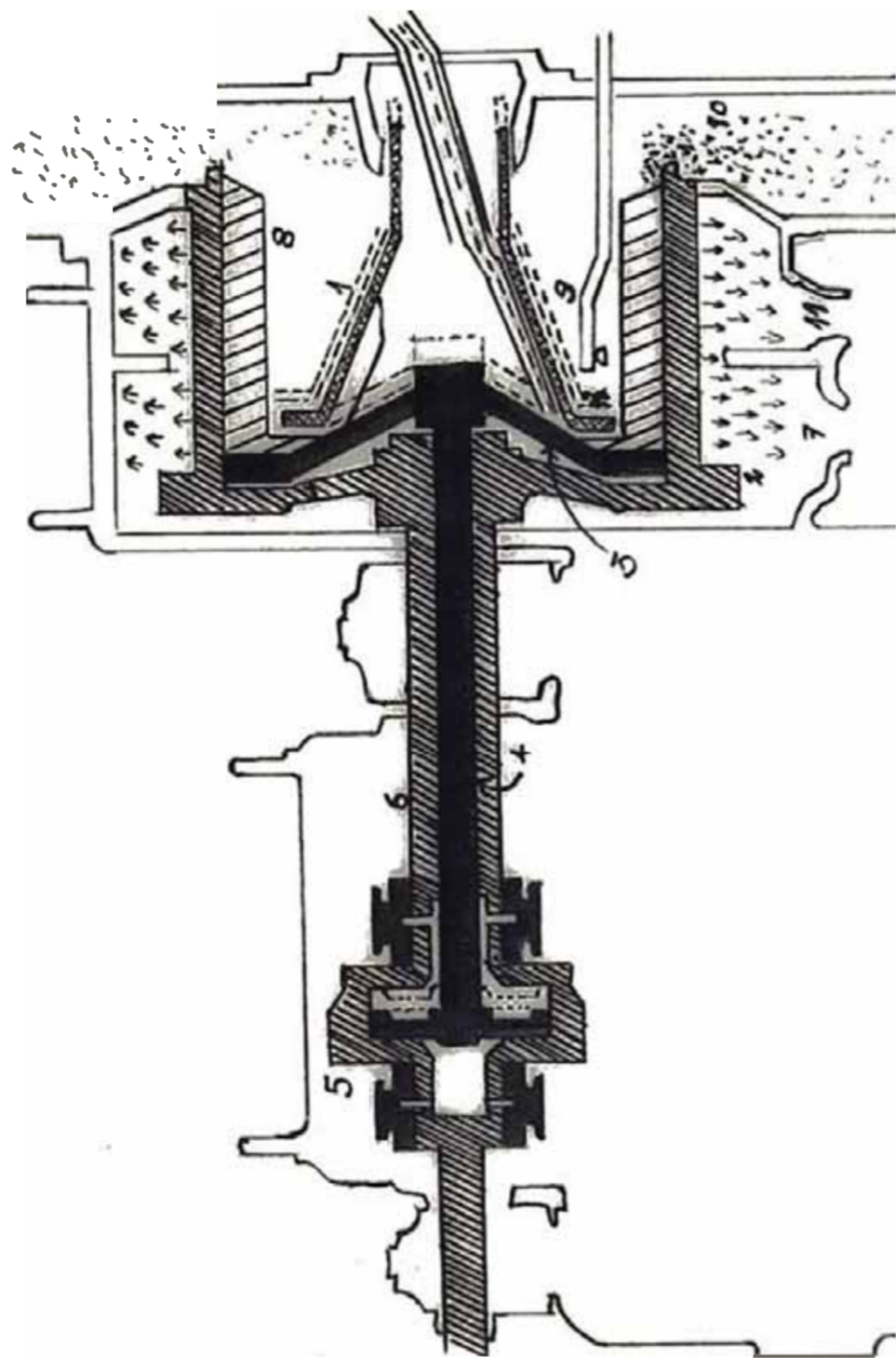
hace uso de 2 (dos) centrífugas del tipo Continuo.- Se suele usar la centrífuga continua "Bird";pero se ha hecho una nueva invención que es ideal por algunos factores que aseguran la conservación de un cristal delicado y de estructura granular.

Hasta el año 1947,solo se había instalado en Europa una 100 máquinas de este tipo y en los Estados Unidos de Norte América había menos todavía. Actualmente se usa mucho,sobre todo para Sulfato de Amonio,Etil-Celulosa,etc..- Esta centrífuga automática es la Baker Perkins ter Meer,teniendo una canasta simple o doble sobre un eje horizontal. No existe carga de arranque.Se halla completamente cerrada.-

El cake se separa en forma continua por medio de un raspador colocado en la caja de acero que forma una pieza con un miembro transversal el cual lo mueve hacia arriba y hacia abajo.

Para conocer mejor el funcionamiento de este tipo de centrífuga,es mejor hacer una explicación del dibujo adjunto. En él se tiene una sección longitudinal del aparato,pudiendose notar (1) un embudo interior,(2)una canasta perforada que solo tiene movimiento de rotación,(3) el empujador que rota junto con la canasta y tiene movimiento reciprocante impartido por una varilla (4),movida por un motor (5) el cual se halla en la parte principal del eje (6).- El cake depositado (8) es gradualmente empujado a travez de la malla o filtro (2) hasta salir fuera y caer dentro de un depósito (10).-El agua para el lavado de los cristales es (9).- El licor Madre se colecta en (7) y la parte de agua que ha lavado los cristales en (11).

Los cristales de sulfato de amonio,son transportados luego por una faja hasta el Secador para Sulfato de Amonio,con una humedad de 1.96 % y el Licor Madre regresa al tanque anterior al Cristalizador,para mezclarse con la solución que viene del Filtro Lurgi.-



Secador para Sulfato de Amonio.-

Este Secador recibe los cristales de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  con 1.96 % de humedad y los seca hasta obtener una humedad final de 0.08 %

Las características de este Secador son similares a las del Secador para Yeso, la operación de secado se lleva a cabo por medio de aire caliente, obtenido a travez de un radiador calentado con vapor de agua, esto se hace con el objeto de no malograr los cristales, porque si el secado se lleva a cabo con gases de combustión habría el peligro de que el producto se descompusiera, debido a la temperatura.-

00000000000000000000000000000000000000

00000000000000

000

0



• GENERALIDADES SOBRE EL YESO

PROPIEDADES.- La piedra de yeso o piedra yesera es el producto natural, usado en casi todas partes y exclusivamente empleado en el país como materia prima, para la preparación industrial de las diversas variedades de yesos vivos empleados en las construcciones y las artes. Estos son los yesos llamados de París, Estuco, yeso para emplastos, yeso para pared, para remates y para pisos.

El hecho de encontrarse el yeso en el terreno, como una masa de caracteres similares a las demás agregaciones minerales que constituyen las rocas, le da a la piedra yesera las características de una roca, pero una roca cuyo componente casi exclusivo es el yeso o sea el Sulfato de Calcio Dihidratado cuya fórmula química es  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , siendo su composición centesimal  $\text{CaSO}_4$  (79.1%), y  $\text{H}_2\text{O}$  (20.9%).

Las propiedades de la piedra yesera corresponden aproximadamente a las del yeso. Esta es una roca clara, aunque puede hallarse ennegrecida, en grado variable, estando su blancura en relación directa con su pureza y valor. Su densidad es de 2.3 aproximadamente, fácil de romper y susceptible de rayarse con la uña a causa de su blandura.

Como minerales accesorios que se encuentran al lado del yeso, en la piedra yesera, se mencionan: la anhidrita que es también sulfato de calcio pero sin agua de cristalización y que posee propiedades que no solo son muy diferentes a las del yeso desde el punto de vista mineralógico, sino que industrial y económicamente, dando a la piedra yesera fisonomía peculiar que la taran en relación con su posibilidad de aprovecharla en algunos usos y que influye en las condiciones de tratamiento tecnológico, así como también en las propiedades físicas y mecánicas que comunica a los yesos ricos; otra impureza es la

• GENERALIDADES SOBRE EL YESO

PROPIEDADES.- La piedra de yeso o piedra yesera es el producto natural, usado en casi todas partes y exclusivamente empleado en el país como materia prima, para la preparación industrial de las diversas variedades de yesos vivos empleados en las construcciones y las artes. Estos son los yesos llamados de París, Estuco, yeso para emplastos, yeso para pared, para remates y para pisos.

El hecho de encontrarse el yeso en el terreno, como una masa de caracteres similares a las demás agregaciones minerales que constituyen las rocas, le da a la piedra yesera las características de una roca, pero una roca cuyo componente casi exclusivo es el yeso o sea el Sulfato de Calcio Dihidratado cuya fórmula química es  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , siendo su composición centesimal  $\text{CaSO}_4$  (79.1%), y  $\text{H}_2\text{O}$  (20.9%).

Las propiedades de la piedra yesera corresponden aproximadamente a las del yeso. Esta es una roca clara, aunque puede hallarse ennegrecida, en grado variable, estando su blancura en relación directa con su pureza y valor. Su densidad es de 2.3 aproximadamente, fácil de romper y susceptible de rayarse con la uña a causa de su blandura.

Como minerales accesorios que se encuentran al lado del yeso, en la piedra yesera, se mencionan: la anhidrita que es también sulfato de calcio pero sin agua de cristalización y que posee propiedades que no solo son muy diferentes a las del yeso desde el punto de vista mineralógico, sino que industrial y económicamente, dando a la piedra yesera fisonomía peculiar que la taran en relación con su posibilidad de aprovecharla en algunos usos y que influye en las condiciones de tratamiento tecnológico, así como también en las propiedades físicas y mecánicas que comunica a los yesos ricos; otra impureza es la

sílice, los sesquióxidos de fierro y de alúmina de la arcilla, la calcita y la dolomita o giobertita.

Composición del Yeso.-

El análisis aproximado de la piedra yesera en los yacimientos del Norte, es la siguiente:

Yeso	$\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$	. . . . .	80.20%
Anhidrita	$\text{CaSO}_4$	. . . . .	1.70%
Carbonato de Calcio	$\text{CO}_3\text{Ca}$	. . . . .	3.30%
Carbonato de Magnesio,	$\text{CO}_3\text{Mg}$	. . . . .	0.30%
Sílice	$\text{SiO}_2$	. . . . .	2.20%
Sesquióxido de Fe y Al ;	$\text{Fe}_2\text{O}_3; \text{Al}_2\text{O}_3$	. . . . .	0.60%
Exceso de $\text{SO}_3$ en otras formas		. . . . .	0.70%
Impurezas . . . . .			<u>11.00%</u>
			100,00 %

Empleo de la piedra Yesera como Retardador del Cemento.-

El efecto de la adición del sulfato de calcio al cemento, cuenta con muchos datos experimentales, ya sea que la adición se verifique en forma de piedra yesera, yeso vivo o también como yeso anhidro.

También se han hecho entre las proporciones y condiciones en que debe añadirse con relación al tiempo de fragua, propiedades físicas y mecánicas. Sin embargo no ha sido posible dar todavía con la relación definitiva en la adición de sulfato de calcio al cemento, por lo tanto hay una gran tolerancia en la variación de dicha adición.

Por ejemplo, Gran Bretaña y Alemania no permiten una adición mayor del 2% de yeso, calculado este como anhidro; las especificaciones de A.S.T.M. señalan en 3 % dicha adición.- Esto se debe a que el efecto del sulfato de calcio sobre el cemento, guarda una estrecha relación con la proporción relativa de los elementos del clinker, en especial



del componente al cual en relación con las ideas de Le Chatelier, los técnicos en cemento le atribuyen el rol preponderante en la velocidad de fraguado, de manera que de conformidad con la composición del cemento será posible alcanzar, con las mismas proporciones, los resultados diferentes. De todo esto se saca como conclusión, que para cada país hay que conocer la composición química de los productos, para obtener con las mezclas resultados iguales. La experiencia sobre cementos bajos en cal no puede ser debidamente comparada con los ricos en cal; y los cementos fabricados en kilns fijos se comportan de manera diferente a los producidos en hornos rotativos.

Para resumir esta discusión, resumiremos que el elemento retardador activo es solamente el  $SO_3$  ó anhídrido sulfúrico, también llamado trióxido de azúfre.

La forma mas apropiada para añadir sulfato de calcio, cualquiera que sea la manera o método empleado, ya sea por medio de yeso calcinado, piedra yesera o sulfato anhídrido, se hará con relación a la cantidad de  $SO_3$  siempre que los pesos empleados de esos cuerpos equivalgan molecularmente al anhídrido sulfúrico. Hay que hacer notar que solo vinculando el  $SO_3$  a la cal en forma anhídrido o en grado de hidratación propia al sulfhidrato o al yeso es válido el concepto de hacer dependiente del  $SO_3$  el efecto retardador dando como comprobación un cuadro correspondiente a las experiencias realizadas sobre la fragua del cemento por Nihoul y Dejossez:

	Iniciación del fraguado		Final del fraguado	
	Hrs.	Min.	Hrs.	Min.
Cemento Puro	0	8	0	13
Cemento con 2 % de $CaSO_4$	2	7	6	32
" " 2 % " sulfde Sr	0	3	0	5
" " 2 % " sulf. de Ba	0	3	0	
" " " "fosf. de Ca	0	8	0	18
" " " "aluminato de Ca;Ohr. 1 min.			0	3

De dichas experiencias, se puede deducir con facilidad que es debido al  $\text{SO}_3$  combinado con base de cal lo que puede producir el efecto retardador y que combinado con base ausente de cal, actúa mas bien como acelerador; pudiendose decir entonces con seguridad que usando sulfato de calcio precipitado y yeso vivo, el retardo en el fraguado es proporcional a la cantidad de sulfato añadido y que con piedra yesera esto es solo cierto mientras no sobre pase del 2 % en el yeso empleado, pues porcentajes mayores causan aceleración en lugar de retardo en la fragua del cemento.

Otra de las propiedades que tiene la adición de yeso al cemento, es el aumento en su resistencia, por supuesto cuando esta adición se hace en cantidades convenientes.-

Datos obtenidos por F.H. Lewis, demuestran dicho aumento de resistencia, como tambien ha sido demostrado por otros varios investigadores.-

A continuación se da un cuadro de datos:

% de piedra yesera	Resistencia a la tensión	
	7 dias neto	7 dias neto 3:1
0 %	444 lbs.	196
2 %	673 lbs.	---
3 %	541 lbs.	179
4 %	533 lbs.	194
5 %	593 lbs.	179

Como consecuencia de este doble efecto del yeso, sobre el cemento, de retardador, y aumentar la resistencia a la tensión hoy es de práctica general en la industria, incorporar al cemento una proporción de yeso que fluctúe entre el 2 y 3 % .-

Empleo Agrícola de la Piedra Yesera.-

La capacidad del yeso crudo para enmendar las tierras de cultivo, especialmente aquellas dedicadas a la producción de leguminosas, se hace radicar en el supuesto que reaccionando este material, que por sí mismo no es un abono, con los nitratos de potasio y magnesio de los minerales contenidos en los detritus de las rocas, se produce la descomposición de aquellas, dando lugar a la liberación de la potasa y magnesio que así puede adoptar la forma de sulfatos para poder ser similes por las plantas.

En los suelos arcillosos, poco permeables, se recomienda la incorporación del yeso, con el objeto de soltar la tierra y dotarle de la porosidad necesaria para que no sea perjudicial la demasiada humedad; mientras que en los suelos arenosos, donde la infiltración del agua se produce con mucha rapidez y en donde hay interés de mantener humedad, se aprovecha de la aptitud del yeso de absorber la humedad de la atmósfera, para retenerla.

Uno de los principales usos, el más eficaz y que ha sido susceptible de ser aprovechado ventajosamente en los nuevos campos irrigados o irrigables de nuestra costa, es el de hacer desaparecer o neutralizar la alcalinidad excesiva, producida en los terrenos de cultivo por la presencia de carbonato de calcio, que con frecuencia sucede en los terrenos vecinos al litoral y que los esteriliza del todo o por lo menos perjudica el buen desarrollo de las plantas.

La base del efecto de enmienda en este caso es la reacción química entre el sulfato de calcio o yeso y el carbonato que dan lugar a la formación de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y  $\text{SO}_4\text{Na}$ , siendo este último inofensivo por ser fácilmente lixiviable.

En los establos, el uso del yeso en polvo, diseminado sobre el piso en las cuadras de animales, a razón de 3 a 4 lbs. por cabeza,





CALCULO Y SELECCION DE LOS APARATOS

Base: 1 hora.

MOLINO PRIMARIO.-

Yeso total que entra al molino:

15,000 lbs. o sea 7.5 Tons.

Dimensiones máximas a la entrada:

18 a 20 " de diám.

Dimensión a la salida: -  $\frac{3}{4}$  "

Tipo de molino recomendable:

Williams Hammer Mills

Categoría Jumbo Junior N<sup>o</sup> 2 (dos)

Abertura de la garganta de alimentación ó tolva: 22" a 24"

Producción de material menor de  $\frac{3}{4}$  " : 12 Tons.

Potencia: 35 HP.

MEZCLADOR.-

Se hará una mezcla de partes iguales de yeso y agua.

Yeso: 15,000 lbs.

Agua: 15,000 lbs.

Gravedad específica del yeso: 2.32

" " " agua: 1

Volumen del yeso:  $\frac{15,000}{2.32 \times 62.4} = 104 \text{ pies}^3$

" " agua:  $\frac{15,000}{62.4} = 240 \text{ "}$

TOTAL: 344 pies<sup>3</sup>

Densidad de la mezcla:  $\frac{30.000}{344 \times 62.4} = 14$

El tanque será cilíndrico y de base cónica.

Vol. del cilindro: base con un diám. de 8 pies  
altura de 7 pies

Vol. =  $8^2 \times 0.785 \times 7 = 352 \text{ p}^3$ .

Volumen del cono: base con un diám. de 8 pies  
altura de 1.5 pies

Vol. =  $8^2 \times 0.785 \times \frac{1.5}{3} = 25 \text{ p}^3$

Volumen total: 377 pies<sup>3</sup>

TROMMEL.-

Entradas:	Yeso	Agua
a) del mezclador 30.000 lbs.	15.000 lbs.	15.000 lbs.
b) agua adicional		10.740 "
<b>TOTAL</b>	<b>15.000 lbs.</b>	<b>25.740 lbs</b>
Salidas:		
a) al clasificador	11.700 lbs.	22.540 lbs.
b) al filtro	33300 "	3.200 "
	<b>15.000 lbs</b>	<b>25.740 lbs.</b>

La parte que se separa debe tener un diámetro menor de 1/4".

Toneladas de alimentación de sólido por hora: 7.5

Tamaño máximo de las partículas: 3/4 "

Agua total: 25.740 lbs. o sea 3.075 gal/hr.



El Trommel requerido tendrá entonces las siguientes condiciones:

Dimensiones: 3' diám. x  $6\frac{1}{2}$  ' de long.

Abertura:  $\frac{1}{4}$  " ( dimensión menor)

Inclinación: 1 pulg/ pié de long.

Velocidad: 15 r.p.m.

Peso: 1,200 lbs.

Potencia requerida: 15 H.P.

PRIMER CLASIFICADOR. @ CLASIFICADOR RAKE.-

Entrada:	Yeso	Agua
Del Trommel:	11,700 lbs.	22,540 lbs.
Salidas:		
a) Al Filtro Dorreo:	7,700 lbs.	4,300 lbs.
b) Al Clasificador Bowl:	4,000 "	18,240 "
TOTAL:	11,700 lbs.	22,540 lbs.

Entrada total: 34,240 lbs. ó 17.1 ton/hr ó 410 ton /día

Porcentaje de sólidos en la alimentación : 34.2 %

" " " " arena separada: 18.0 %

" " " " el yeso fino : 64.0 %

Gravedad específica promedio : 2.4

Malla por la cual deben pasar los solidos: -  $\frac{1}{4}$ "

Ahora, con las características del material, su humedad, y las cantidades a clasificarse, se escoge el clasificador:

Tipo: Rake , de la Door Co.; Modelo "F"

Dimensiones: 6' x 20'

Movimiento por minuto: 24

Potencia requerida : 6 HP      Peso: 3,600 lbs.

SEGUNDO CLASIFICADOR: TIPO BOWL RAKE.-

	Yeso	Agua
<u>Entradas:</u> Del Clasificador Rake:	4,000 lbs	18,240 lbs.
 <b>Salidas:</b>		
a) Al Espesador	3,000 lbs.	17,500 lbs.
b) Para Cemento	<u>1,000</u> lbs.	740 lbs.
	4,000 lbs.	18,240 lbs.

Sólidos que entran: 4,000 lbs. ó 2 ton/hr ó 48 ton/día

Sólidos que salen:

Al Espesador: 3,000 lbs ó 1.5 ton/hr ó 36 ton/día

Para cemento: 1,000 lbs ó 0.5 ton/hr ó 12 ton/día

Entrada total: 22,240 lbs/hr = 11.12 ton/hr = 266 ton/día

% de sólidos en la alimentación: 18 %

de sólidos al Espesador: 14.15 %

% de sólidos para Cemento: 57.50 %

Gravedad Específica: 2.4 (aprox.)

Con estas características, el Clasificador será:

Tipo : Bowl - Rake

Dimensiones: Largo: 26 2/3' , Ancho: 3'0"

Diámetro del Bowl: 6'0"

Movimiento por minuto: 26

Potencia requerida: 4 HP, (cuatro)

ESPESADOR. ‡

	Yeso	Agua
<b>Entradas:</b>		
Del Clasificador Bowl	3,000 lbs	17,500 lbs.
<b>Salidas:</b>		
En el Lodo	3,000 lbs.	4,500 lbs.
Agua que recircula		13,000 lbs.

El área de sedimentación para los productos que forman la mezcla de sulfato de calcio, hidratado, carbonato de calcio y Mg,

sílice, además de otras impurezas que en su mayor parte son arcilla, sera de:

$$10 \text{ pies}^2 / \text{ton.} \times 24 \text{ horas}$$

% de sólidos		14.65 %
Ton/día	1.5 x 24	36 ton/día
% de sólidos en el Lodo		40 %

Con estos datos se escoge el espesador, que tendrá las siguientes características:

Tipo: Espesador de Sedimentación Mecánica de la Door Co.

Dimensiones: Diam.: 26'0" , Profundidad: 16'0"

Potencia requerida: 2 HP (dos) ;

Peso: 16,000 lbs.

FILTRO DORRICO, PARA YESO.-

Entrada:	18,500 lbs. con 40.5 % de H <sub>2</sub> O . . .	7,500 lbs.
Salida:	12,200 lbs. con 10.0 % de H <sub>2</sub> O . . .	1,200 lbs.
		6,300 lbs.

Entradas:	Yeso	Agua
Del Clasificador Rake	7,700 lbs.	4,300 lbs.
Del Trommel	<u>3,300</u> lbs.	<u>3,200</u> lbs.
	11,000 lbs.	7,500 lbs.
Salidas:		
Al Secador para Yeso	11,000 lbs.	1,200 lbs.
Al Tanque para Agua	----	<u>6,300</u> lbs.
	11,000 lbs.	7,500 lbs.

Sólidos: 11,000 lbs. ó 5.5 toneladas

Humedad final: 1,200 lbs. ó 16 %

Filtrado: 6,300 lbs.

Total: 18,500 lbs.

Volúmen del filtrado: 6,300 : 62.4 = 101 pies cub. ó 750 gals.



y aproximadamente: 750 galones/hora = 31.2 galones/min.

Se tomarán las características siguientes:

(De Perry, Tercera Edición, página 1694)

Tipo de Filtro: Continuo y al Vacío;

Capacidad: 400 a 2,000 lbs/ft<sup>2</sup> x día

Vacío: 18 a 25" de Hg.

Para nuestro caso:

Tomando una capacidad mínima de 900 lbs/ft<sup>2</sup> x día, ó sea:  
37.5 lb/ft<sup>2</sup> x día, el area para el filtrado será:

$$\text{Area de filtrado} = \frac{11,000}{37.5} = 293 \text{ pies cuadrados}$$

El rendimiento será:

$$\frac{5.5}{293} = 0.0188 \text{ tons/ft}^2 \text{ x hora ó tambien:}$$

$$\frac{31.2}{293} = 0.106 \text{ galones/ft}^2 \text{ x hora}$$

Con estos datos escogemos el Filtro, cuyas características son las siguientes:

Tipo: Dorrco

Dimensiones: Diam. 8'0" , Long. 14'0"

Velocidad: 6 R.P.M. (seis)

Vacío: 20" de Hg

Bomba tipo: Plunger;

Tamaño: 26" x 11" (Duplex: 6,300 ft<sup>3</sup>/min)

Temperatura: Atmosférica;

Espesor del Cake: 5/8"

Humedad: 10 %

Material: N<sup>o</sup> 26

Peso: 25,000 lbs.

Potencia requerida: 5 HP (cinco)

SECADOR PARA YESO.-

En nuestro caso: Entra: 12,200 lbs. con 10 % de humedad

Salen: 11,000 lbs. con 00% de humedad

Agua Evaporada: 1,200 lbs.

Entradas:	Yeso	Agua
Del Filtro Dorreo	11,000 lbs.	1,200 lbs.
Salidas:		
Al Molino Secundario	11,000 lbs.	-----
A la Atmósfera	-----	<u>1,200 lbs.</u>
	11,000 lbs.	1,200 lbs.

Condiciones del Aire en Chimbote:

Invierno:	Humedad Relativa . . . . .	90 %
	Temperatura minima de Bulbo seco . .	59° F
	Humedad . . . . .	0.095 lbs de H <sub>2</sub> O/lb de aire seco
Verano:	Humedad Relativa . . . . .	65 %
	Temperatura máxima de Bulbo seco . .	86° F
	Humedad . . . . .	0.018 lbs de H <sub>2</sub> O/lb. de aire seco

CONDICIONES PROMEDIO PARA LOS CALCULOS;(DE LA CARTA DE HUMEDAD):

Humedad Relativa . . . . .	73 %
Temperatura de Bulbo Seco . . . . .	75° F
Temperatura de Bulbo Húmedo . . . . .	69° F
Calor Húmedo . . . . .	0.224 BTU/°F x lb. de aire seco
Volúmen Específico . . . . .	13.784 ft <sup>3</sup> /lb. de aire seco
Humedad . . . . .	0.0138 lbs. H <sub>2</sub> O/lb. aire seco

Cálculo de las Dimensiones.-

Datos: Volúmen del Secador ocupado por el material = 20 %

Relación del diámetro a la longitud: 1 a 6 .-

Densidad del material:

Gravedad Específica del Yeso: 2.32.-

Luego:

$$2.32 \times 62.4 = 144 \text{ lb/pié cúbico}$$

$$11,000 \text{ lbs.} \times 144 = 1,582,000 \text{ lb/ft}^3$$

$$\underline{1,200 \text{ lbs.} \times 62.4 = 75,000 \text{ lb/ft}^3}$$

$$12,200 \text{ lbs.} \quad 1,657,000 \text{ lb/ft}^3$$

La densidad será:

$$\frac{1,657,000}{12,200} = 136 \text{ lb/ft}^3$$

Volúmen ocupado por el material:

$$12,200 : 136 = 90 \text{ ft}^3$$

Volúmen Total del Secador:

$$\frac{90 \times 100}{20} = 450 \text{ ft}^3$$

Sea: L = longitud del Secador,

d = diámetro y

r = radio;

$$L = 6 d = 12 r$$

$$r^3 = \frac{450}{12 \times 3.1416} = 11.9, \text{ de donde:}$$

$$r = 2.25 \text{ pies}$$

Luego, el Diámetro se podrá tomar como 5 pies y el Largo 30 pies.

Cálculo del Aire.-

Area de la sección transversal del Secador:

$$0.7854 \times 5^2 = 19.635 \text{ pies cuadrados}$$

Area libre para el paso del aire:

$$0.80 \times 19.635 = 15.71 \text{ pies cuadrados}$$

La velocidad del aire debe ser de 10 pies/seg (Riegel pag.367)

Volúmen que pasa en un segundo, por el Secador:

$$10 \times 15.71 = 157 \text{ ft}^3/\text{seg} = 565,000 \text{ ft}^3/\text{hora}$$

Libras de aire seco:

$$\frac{565,000}{13.784} = 41,000 \text{ lbs./hora}$$



Condiciones del Aire a la Entrada y Salida del Secador.-

Diferencia de humedades entre el aire de entrada y el de salida:

$$\frac{1,200 \text{ lbs de agua}}{41,000 \text{ lbs. de aire seco}} = 0.0294 \text{ lb.H}_2\text{O/lb.aire seco}$$

La humedad del aire que sale será:

$$0.0294 \text{ } \neq \text{ } 0.0138 \quad 0.0432 \text{ lb.de H}_2\text{O/lb.de aire seco}$$

Considerando que el aire sale con una Humedad Relativa de 95 % ,podemos hallar las condiciones de salida,que son:

Humedad Relativa	95 %
Humedad	0.0432
Temp.de Bulbo Seco	102° F
Temp.de Bulbo Húmedo	100° F

Si se calienta adiabáticamente,se hallan las condiciones del aire ya precalentado que entra al Secador,este calentamiento se hace hasta llegar a la humedad del aire atmosférico o sea hasta 0.0138 lbs. de agua por lb de aire seco;

Las condiciones serán:

Humedad	0.0138
Temp.de Bulbo Seco	230° F

Ya se han hecho por supuesto,algunos tanteos para obtener dicha temperatura,que es la deseada para obtener en el Secador cierta calcinación del producto para obtener una mayor reacción con el carbonato de amonio.Esto último ha sido comprobado por la práctica.

La pérdida de agua por calcinación no se tomará en cuenta por ser muy pequeña en comparación con la que forma la humedad del material.

Cálculo del Vapor Necesario para el Secador.-

BTU necesarios para evaporar el agua del material.-

NOTA.- Se supone que el material sale del secador a la temperatura de la interfase o sea a la temperatura del bulbo húmedo del aire.

Luego:

a) Para calentar el H<sub>2</sub>O a la temperatura de la interfase:

$$1,200 \times 1 \times (100 - 75) = 30,000 \text{ BTU}$$

b) Para Evaporarla:

$$1,200 \times 1,036.3 = \underline{1,240,000 \text{ BTU}}$$

$$\text{T O T A L . . . . . } 1,270,000 \text{ BTU}$$

B T U que sale con el aire:

a) Con el aire seco:

$$41,000 \times 0.24 \times (102 - 75) = 256,000 \text{ BTU}$$

b) Con el H<sub>2</sub>O:

$$41,000 \times 0.0432 \times 1 \times (102 - 75) = \underline{48,000 \text{ BTU}}$$

$$\text{T O T A L . . . . . } 304,000 \text{ BTU}$$

B T U que sale con el Material.-

Calor Específico del material: 0.265 BTU/lb x °F

a) Con el Material:

$$11,000 \times 0.265 \times (100 - 75) = 71,500 \text{ BTU}$$

b) Con el H<sub>2</sub>O:

$$\underline{0 \text{ BTU}}$$

$$\text{T O T A L . . . . . } 71,500 \text{ BTU}$$

El Vapor de Agua necesario, se puede hallar por los BTU que es necesario suministrar, o sea un total de:

1'270,000	BTU
304,000	BTU
<u>71,500</u>	<u>BTU</u>
1'645,500	BTU

Considerando el suministro de vapor a 85.3 lb/in<sup>2</sup> man. o 100 lb/in<sup>2</sup> absolutas, el Calor Latente será de: 888.3 BTU/lb, luego se necesitará:

$$\frac{1,645,500}{888.3} = 1,970 \text{ lbs de vapor/ hora}$$

Considerando una Eficiencia de 70 % para este caso:

$$\frac{1,970}{0.70} = 2,800 \text{ lb./hora a } 85.5 \text{ lb/in}^2$$

Según los cálculos hecho, el Secador mas conveniente tendrá las siguientes características:

Tipo: Single-Shell

Dimensiones: Diam.: 5'0" Long.: 30'0"

Potencia requerida: 12 HP (doce); Considerando la fuerza que se consume para el Ventilador y para mover el Secador en sí.-

Peso: 28,000 lbs.

MOLINO SECUNDARIO.-

Entradas:	Yeso	Agua
Del Secador para Yeso	11,000 lbs.	-----
Salidas:		
A los Tanque de Reacción	11,000 lbs.	-----

Las características del molino son las siguientes:

Tipo: Jeffrey Swing Hammer Mill

Tamaño de la máquina: 36" x 24"

Producción: 12 a 15 toneladas/hora

Porcentaje que pasa a travez de la malla: - 60: 60 %

Porcentaje que pasa a travez de la malla - 40: 80 %

Velocidad: 1,600 RPM

Potencia requerida: 30 HP (treinta)



ABSORCION DE AMONIACO

Base: 1 hora.-

Datos: Entrada de Agua =  $3,100 - 5,700 = 8,800$  lbs.

Entrada de  $NH_3$  : 1,940 lbs. ;

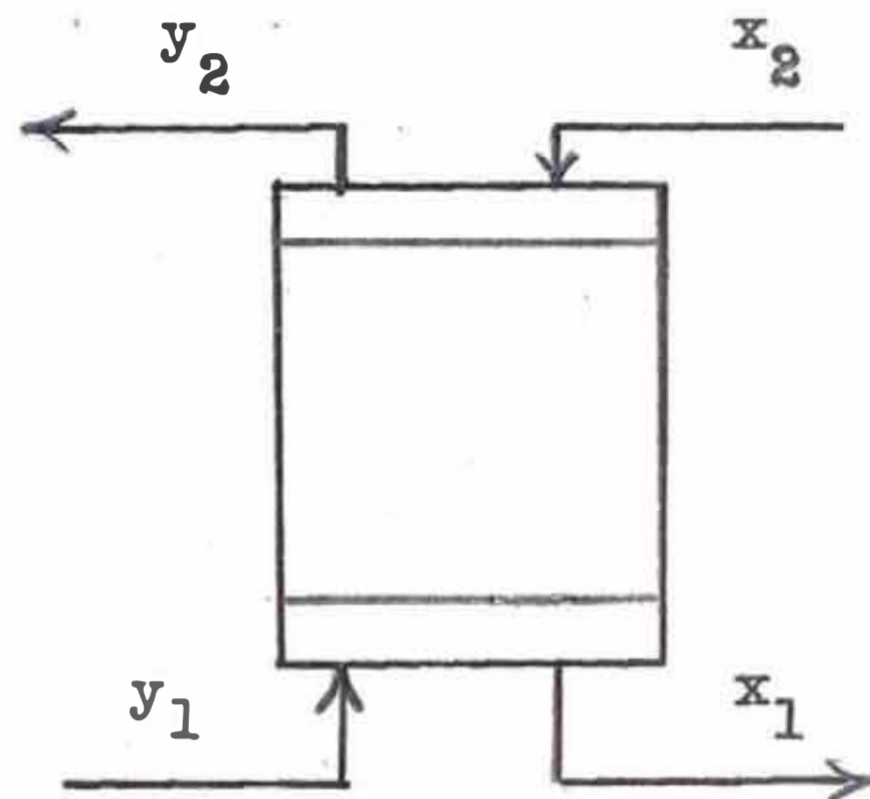
$NH_3$  99 %      Aire 1 %

Suposición: 99.9 % de absorción

Para la reacción se necesita: 1,940 lbs.

de  $NH_3$  puro, si la absorción es 99.9 %; si es 99 % la cantidad de  $NH_3$  será igual a:

$$\frac{1,940}{0.999 \times 0.99} = 1,961 \text{ lbs de } NH_3$$



Luego, en el  $NH_3$  que entra habrá: 1,942 lbs. de  $NH_3$   
y : 19.6 lbs. de Aire

De donde:

$$NH_3 = \frac{1,942}{17} = 114.2 \text{ lb-mol}$$

$$\text{Aire} = \frac{19.6}{29} = 0.676 \text{ lb-mol}$$

$$L = \frac{8,800}{18} = 489 \text{ lb-mol de } H_2O$$

$$G = \frac{19.6}{29} = 0.676 \text{ lb-mol de Aire}$$

$$x_1 = \frac{1,940 \times 18}{8,800 \times 17} = 0.234 \text{ lb-mol de } NH_3 / \text{lb-mol de } H_2O$$

$$x_2 = 0$$

$$y_1 = \frac{99 \times 29}{1 \times 17} = 168.8 \text{ lb-mol de } NH_3 / \text{lb-mol de aire}$$

$$y_2 = 0.001 \times 168.8 = 0.17 \text{ lb-mol de } NH_3 / \text{lb-mol de aire}$$

Comprobación:

$$G ( y_1 - y_2 ) = L ( x_1 - x_2 )$$

$$0.676(168.8 - 0.17) = 489(0.234 - 0) = 114.1$$

Altura de la Torre.-

La Torre será rellena con coke, hallándose su altura por la siguiente fórmula:

$$h = \frac{G (y_1 - y_2)}{K_g a \cdot S (y - y_e)_{\text{prom.}}}$$

$$G = 0.676 \quad ; \quad (y_1 - y_2) = 168.8 - 0.17 = 168.63$$

$$(y - y_e)_{\text{promedio}} = 24.4 \text{ , porque:}$$

$$\text{Si } x = 0 \quad ; \quad y - y_e = 0.17 - 0 = 0.17$$

$$\text{" } x = 0.234 \quad ; \quad y - y_e = 168.8 - 0.3 = 168.5$$

Luego:

$$(y - y_e)_{\text{promedio}} = \frac{168.5 - 0.17}{2.3 \log \frac{168.5}{0.17}} = 24.4$$

$K_g a$

Datos: Perry 1183; Sherwood 174 ; Mc Adams 501.

Para Torres rellenas con coke de 0.35" a 0.63" y con una razón de flujo de agua de 323 lbs/hr x ft<sup>2</sup> se tiene:

$$K_g a = 0.083 (V)^{0.8} \text{ lbs-mol/hora x pié cubico x atmósfera}$$

Para hallar el valor de (V), que es la velocidad-masa del gas, en lbs./ft<sup>2</sup> x hora, tenemos que hallar la sección de la torre:

Siendo 8,800 lbs/hora la entrada de agua, para tener su velocidad igual a 323 lbs./ft<sup>2</sup> x hora, tendremos que la sección será de:

$$S = \frac{8,800}{323} = 27.2 \text{ ft}^2$$

Luego el valor de (V) será:

$$V = \frac{1,962}{27.2} = 72.2$$

$$(V)^{0.8} = 30.1$$

$$K_g a = 0.083 \times 30.1 = 2.5 \text{ lb-mol/hora x ft}^2 \text{ x atmósfera}$$

y siendo la presión de 1 atm.:

$$K_g = 2.5 \text{ lb-mol/hora x ft}^2$$

$$6 \text{ sea} = 2.5 / 168.8 = 0.01485 \text{ lb-mol/hr} \times \text{ft}^3 \times \frac{\text{mols-lb de NH}_4}{\text{mols-lb de aire}}$$

Reemplazando valores en la fórmula, se tiene:

$$h = \frac{0.676 \times 168.63}{0.01485 \times 27.2 \times 24.4} = 11.6 \text{ pies de altura}$$

Siendo la sección de  $27.2 \text{ ft}^2$  y considerándola circular, el diámetro será :

$$d = \sqrt{\frac{27.2}{0.785}} = 5.9 \text{ ft. digamos 6 pies de diámetro.}$$

Las dimensiones de la Torre serán:

Altura: 12'0"

Diámetro: 6'0"

Relleno: Coke de 0.35" a 0.63" de diam.

Número de Unidades: Se dispondrá de 2 (dos) Torres del mismo tipo, con el objeto:

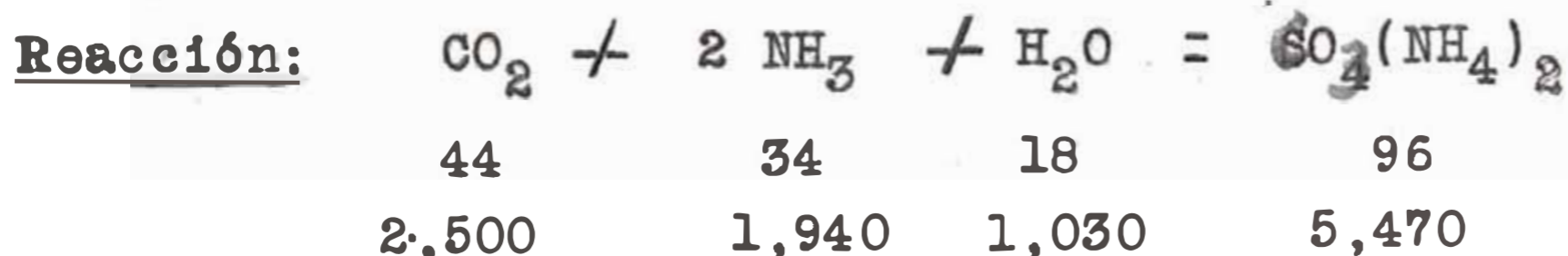
- a) Tener siempre una Torre de reemplazo y
- b) Puede también utilizarse para obtener una mayor eficiencia en la absorción.-

#### TORRES PARA ABSORCION DE CO<sub>2</sub>.

Datos: a) La absorción se hace en una solución de 4,000 lbs de NH<sub>4</sub>OH con 6,740 lbs. de H<sub>2</sub>O que contiene 200 lbs. de SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, formando una solución al 37 %

b) El objeto es formar una solución al 41 % de CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> que reaccionará con el yeso para formar el SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

c) El CO<sub>2</sub> entra a una presión de 5 atmósferas.





La cantidad de CO<sub>2</sub> que reaccionará será:

$$\frac{4,000 \times 44}{70} = 2,500 \text{ lbs. de CO}_2$$

Se obtendrá entonces: 5,470 lbs de CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

Luego:

Entrada: CO<sub>2</sub> : 85.2 % = 2,500/0.852 = 2,940 lbs.

Solución al 37 % de (NH<sub>4</sub>)OH

Salida:

Solución al 41 % de CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

$$\text{CO}_2 = \frac{2,500}{44} = 56.8 \text{ lb-mol}$$

Por datos obtenidos de la práctica, se sabe que se puede utilizar Torres del mismo tipo que las empleadas para la absorción del NH<sub>3</sub> como lo indica el Proyecto llevado a cabo en la India para una planta similar, por la Singmaster & Breyer.

Se dispondrá de 2 (dos) Torres para la absorción del CO<sub>2</sub>, considerando las mismas condiciones que las expuestas para las Torres para la absorción de NH<sub>3</sub>.

TANQUE PARA SOLUCION; ANTES DEL FILTRO LURGI.-

En este Tanque se almacenará una mezcla de sólidos y líquido.

Sólidos: 6,955 lbs. ( Casi todo es CO<sub>3</sub>Ca)

Líquido: 17,570 lbs (7,720 lb de SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y 9,850 lb de H<sub>2</sub>O )

Cálculo del Volúmen Necesario.-

CO <sub>3</sub> Ca	Gravedad específica: 2.93	
	Volúmen = 6,955/62.4 x 2.93 . . . . .	38 ft <sup>3</sup>
SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Gravedad específica: 1.77	
	Volúmen = 7,720/62.4 x 1.77 . . . . .	70 ft <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> O	Gravedad específica: 1.0000	
	Volúmen = 9,850/62.4 x 1.0000 . . . . .	158 ft <sup>3</sup>

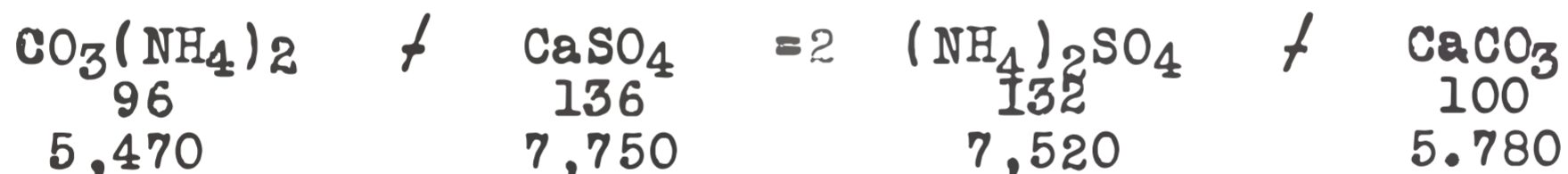
TANQUES DE REACCION.-

Antes del Tanque de Solución que se acaba de ver, se hallan los Tanques de Reacción que estarán dispuestos de tal manera y en número tal, que permitan que el Carbonato de Amonio y el Sulfato de Calcio se hallen en contacto un tiempo determinado y suficiente para que la reacción sea completa.

Entrada:

Yeso	[	CaSO <sub>4</sub> =	7,750 lbs.
		H <sub>2</sub> O =	2,075 lbs.
		Impurezas =	1,175 lbs.
Solución de (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	[	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> =	5,470 lbs
		H <sub>2</sub> O =	7,765 lbs
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> =	200 lbs

Reacción que se produce:



De donde se deduce:

Salida:

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	=	7,520 /	200 =	7,720 lbs.
CaCO <sub>3</sub>	=	5,780 lbs.		
H <sub>2</sub> O	=	9,850 lbs.		
Impurezas		1,175 lbs.		

Por datos obtenidos de la Singmaster & Breyer, se sabe que para una producción de 75 ton./día se utiliza 5 tanques de 9 pies de diám, x 9 pies de altura. Para una producción de 90 ton./día que corresponde a la parte producida por el Proceso Merseburg, se considerará 5 tanques de 10 pies de diám. x 10 pies de altura.

Las dimensiones del tanque serán las siguientes:

Largo: 12' 0"  
Ancho: 6' 0"                      Volumen: 298 pies cúbicos  
Altura: 4' 0"

Se usará por lo tanto, 1 plancha de 6' 0" x 12' 0" y 5 planchas de 4' 0" x 8' 0" siendo estas de acero inoxidable.

FILTRO LURGI.-

Entradas:

Sólidos: 6,955 lbs.  
Solución: 17,570 lbs.  
H<sub>2</sub>O de lavado: 6,240 lbs.  
Recirculación: 7,500 lbs.

---

38,265 lbs.

Salidas:

Cake: Sólidos: 6,955 lbs.  
Humedad: 1,740 lbs. / 20 lbs. de Sulfato  
Sol.concentrada: 18,750 lbs.  
Sol. débil: 3,300 lbs.  
Recirculación: 7,500 lbs.

---

38,265 lbs.

Volumen del filtrado:

Peso: 38,265 - ( 6,955 / 1,740 / 20 ) = 29,550 lbs.

Cantidad de Sulfato: 7,720 - 20 = 7,700 lbs.

" " Agua : 29,550 - 7,700 = 21,850 lbs.

Luego:  $\frac{7,700}{21,850} = 0.3525 \text{ lbs. Sulf./p}^3 \text{ H}_2\text{O}$



La densidad correspondiente en el diagrama adjunto será:  $1.183 \times 62.4$

o sea  $73.8$  lbs. de solución/ pié cúbico de solución.

y como se tiene:  $29,550$  lbs.

el volumen será:  $\frac{29,550}{73.8} = 400 \text{ pies}^3 = 2,992 \text{ gal.}$

aproximadamente  $3,000 \text{ gal/hora} = 50 \text{ gal./min.}$

Las partes más importantes que salen del filtro, son el cake y la solución que nos darán a la vez los datos para la selección del Filtro.

Sólidos:  $6,955 \text{ lbs.} = 3.48 \text{ Tons.}$

Humedad:  $1,760 \text{ lbs.} = 0.88 \text{ Tons.} = 20.1 \%$

Filtrado:  $29,550 \text{ lbs.} = 50 \text{ gal./min.}$

Para el material a filtrar, las características se toman de Perry:

Tipo de filtro: Continuo y al vacío

Capacidad: De  $3,000$  a  $12,000 \text{ lbs./ p}^2 \times \text{día}$

Vacío:  $18''$  a  $25'' \text{ Hg.}$

Para nuestro caso:

Capacidad:  $6,000 \text{ lbs./ p}^2 \times \text{día} = 250 \text{ lbs./ p}^2 \text{ x hr.}$

Luego el área filtrante necesaria será:

$$\frac{6,955}{250} = 28 \text{ pies}^2$$

El rendimiento sería entonces:  $\frac{3.48}{28} = 0.1245 \text{ Tons./p}^2 \text{ x hr.}$   
de sólidos

y  $\frac{50}{28} = 1.79 \text{ gal./p}^2 \text{ x min.}$   
de filtrado.

Se construyen estos filtros de distintos tipos, siendo el más recomendable el Lurgi, que tiene un ancho efectivo filtrante de  $39.5''$  y una área efectiva filtrante de  $21.5$ ,  $32$ ,  $43$ ,  $54$ , y  $121 \text{ p}^2$ .

En este caso, se escogerá el filtro que tenga una area filtrante de 32 pies cuadrados.

El 25 % de la correa corresponde a la superficie filtrante.

La parte que se halla en contacto con la correa y la polea se halla recobierta de jebe.

#### TANQUE PARA AGUA DE LAVADO DEL FILTRO LURGI.-

El tanque debe tener una capacidad para contener:

7,500 lbs. de H<sub>2</sub>O de lavado, ó sea:

$$\frac{7,500 \text{ lbs. de agua}}{62.4 \text{ lbs./pie cúbico}} = 120 \text{ pies cúbicos}$$

Las dimensiones serán:

Largo: 8'0"

Ancho: 4'0"

Altura: 4'0"

Volúmen: 128 pies cúbicos

Se necesitarán: 4 (cuatro) Planchas de acero de 8' x 4' .-

#### TANQUE PARA SOLUCION DE SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> AL 6 % .-

El Tanque debe contener 3,300 lbs. de solución al 6 % de Sulfato de Amonio, teniendo una Gravedad especifica de: 1.77

La Densidad será :

$$\frac{3,100 \times 1 + 200 \times 1.77}{3,300} = 1.05 \text{ lb/ft}^3$$

El Volúmen será:  $3,300 / 62.4 \times 1.05 = 53.5$  pies cúbicos

Las Dimensiones serán:

Largo: 4'0" ; Ancho: 4'0" ; Altura: 4'0"

Volúmen: 64 pies cúbicos

Se necesitará: 3 (tres) Planchas de acero de 4'0" x 8'0".-

TANQUE PARA SOLUCION DE LICOR MADRE Y SOLUCION FILTRADA.-

Por medio de una regla de mezcla, podemos hallar la temperatura a la que se halla la solución en este tanque:

a) Del Filtro 18,750 lbs. a 75°F

b) Del Licor 20,000 lbs. a 158°F

Tendremos: 18,750 x 75°F = 1'407,000

20,000 x 158°F = 3'160,000

38,750 lbs. 4'567,000

La temperatura de la mezcla será:

$$\frac{4'567,000}{38,750} = 118^{\circ}\text{F}$$

Suponiendo que se produzca una disminución de temperatura de 15°F, la temperatura de la mezcla en el tanque será: 103°F

Ahora, por medio del Diagrama de Solubilidad, podemos hallar cual es la temperatura de saturación de la solución existente dentro del tanque:

	Sulfato	Agua
a) Del Filtro	7,500 lbs.	11,250 lbs.
b) Del Licor	<u>9,580</u> lbs.	<u>10,420</u> lbs.
Total . . .	17,080 lbs.	21,670 lbs.

Luego:

$$\frac{17,080}{21,670} = 0.788 \text{ lbs. de sulf. / lb. agua} = 788 \text{ grs / litro}$$

que corresponde en el Diagrama de Solubilidades a una temperatura de 33°C ó sea 55.4°F.-

Por medio de esta temperatura, se demuestra que en el Tanque para Solución no habrá cristalización alguna.

El Volumen de solución que llega al tanque en una hora es:

$$0.788 \text{ lbs. de sulfato / lb. de agua} \times 62.4 \text{ lb. agua / ft}^3 = 49.1 \text{ lb}$$



de sulfato por pié cúbico de agua.

Se halla en el Diagrama correspondiente, que se acompaña, la gravedad específica que es igual a:

Gravedad específica: 1.34

Luego:

$1.34 \times 62.4 = 83.5$  lbs.de solución/p<sup>3</sup> de solución  
y siendo las libras de solución igual a: 38,750 lbs, se tendrá:

$$\frac{38,750 \text{ lbs.de solución}}{83.5 \text{ lbs.de sol./pié}^3 \text{ de sol.}} = 464 \text{ pies cúbicos/hora}$$

Las dimensiones del tanque serán:

Largo:12'0" ; Ancho:6'0" ; Altura:8'0"

Volúmen: 576 pies cúbicos

Se necesitará:9 planchas de acero de 8' x 4' x 3/8" y  
1 plancha de acero de 6'0" x 12'0" x 3/8".-

Este tanque estará revestido interiormente con plomo.-

CRISTALIZADORES AL VACIO .- Base: 1 hora de operación.-

Datos:

- a) Vacío de 23"
- b) Producción de 15,000 lb.de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  con 0.08 % de agua
- c) Acidez de la solución ideal: 1 gramo/litro
- d) Del Filtro Lurgi hay una alimentación de 18,750 lbs.de solución de Sulfato de amonio al 40 %

Suposición:- Licor Madre:20,000 lbs.

álculo del  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_4\text{H}_2$  .-

Sin considerar en este cálculo el licor madre que recircula, se hallan las cantidades de Sulfato de Amonio producido por neutralización, puesto que el agua que entra en la solución es la misma que sale en forma de vapor y como humedad en los cristales y por lo tanto no habrá ninguna cantidad de Sulfato que puede ser después disuelto en alguna cantidad de agua.-

Para cada Cristalizador habrá una alimentación de 9,375 lbs. de solución de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  al 40 % y una producción de 7,500 lbs. de Sulfato de Amonio con 0.08 % de humedad.-

Libras de Sulfato a producirse:  $7,500 - 0.0008 \times 7,500 = 7,494$  lbs.

" " " que provienen del Filtro:  $0.4 \times 9,375 = 3,750$  lbs.

Libras de Sulfato producidas por Neutralización = 3,744 lbs.

Reacción:



$$\underline{\text{NH}_3} \quad \frac{3,744 \times 34}{132} = \dots \dots \dots 965 \text{ lbs.}$$

$$\underline{\text{SO}_4\text{H}_2} \quad \frac{3,744 \times 98}{132} = \dots \dots \dots 2,785 \text{ lbs.}$$

$$\underline{\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2} \quad \dots \dots \dots 3,750 \text{ lbs.}$$

Considerando el  $\text{NH}_3$  con 99 % y el  $\text{SO}_4\text{H}_2$  con 98.5 % de pureza, se tendrá:

$$\text{NH}_3 = 974.5 \text{ lbs.}$$

$$\text{SO}_4\text{H}_2 = 2,841.0 \text{ lbs.}$$

Estas cantidades son para cada Cristalizador, en total se tendrá:  $(974.5 + 2,841.0) \times 2 = 7,631$  lbs.,

El  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  total producido por Neutralización Directa será:

$$2 \times 3,750 = 7,500 \text{ lbs. en cada Cristalizador}$$

Cálculo del Licor Madre.-

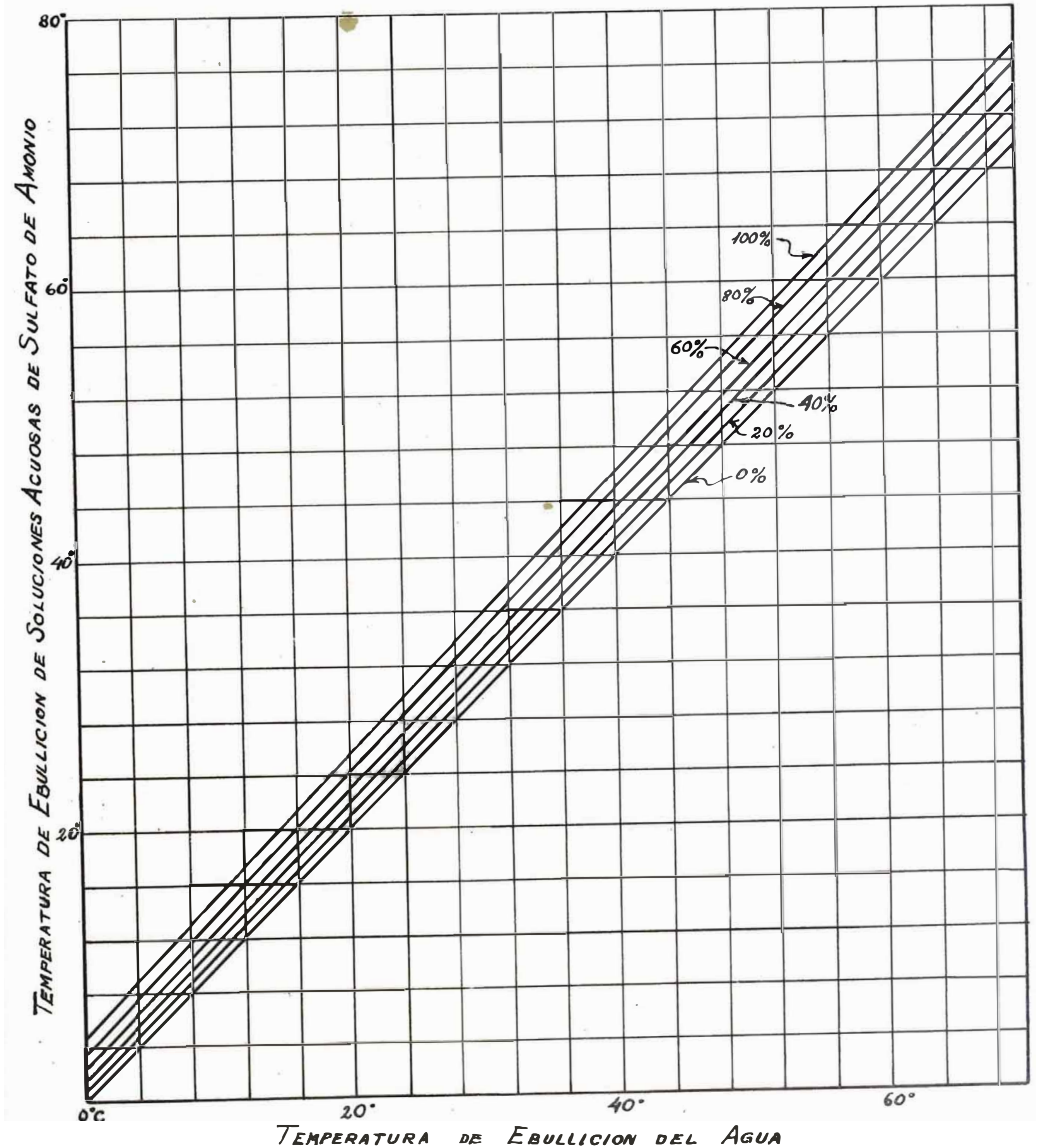
En realidad lo único que interesa en el Licor Madre es la relación que existe entre el soluto y el solvente; es decir, la solubilidad a la temperatura que sale del Cristalizador.

Esta temperatura hay que calcularla a base de la tem-





ELEVACION DEL PUNTO DE EBULLICION PARA  
SOLUCIONES DE SULFATO DE AMONIO



Cálculo del exceso de Acido Sulfúrico 98.5 %, para mantener la acidez de 1 gramo/litro en el Cristalizador.-

Datos:

Ya conocidos;

a) Acido Sulfúrico en la solución alimentada 1 gr/litro;

b) Temperatura del Licor: 70°C .-

NOTA.- Estos calculos están relacionados con la acidez que debe tenerse en los cristales producidos, que no debe exceder de 0.2 % en peso, de acidez.-

Entradas al Cristalizador:

Sea "x" las libras de agua añadidas;

Solución: 9,375 lbs	SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 3,750 lbs.	H <sub>2</sub> O 5,625 lbs
Licor Madre: 10,000 lbs.	4,790 lbs.	5,210 lbs.
Neutralización	3,750	
H <sub>2</sub> O con el Acido Sulfúrico	1.5 (3,750 / x )	100

Total de Sulfato de Amonio: 12,290 lbs.

Agua: 10,835 / 0.015 ( 3,750 / x ) ó sea:

10,891.5 / 0.015 x

Hallamos las lbs. de Sulfato/lb. de agua:

$$\frac{12,290}{10,891.5 / 0.015x} = 1.13 \text{ lb. de sulfato/lb. de agua;}$$

porque siendo la cantida 0.015 x , muy pequeña se puede despreciar.

1.13 lb. de sulfato/lb. de agua X 62.4 = 70.5 lbs. sulfato/ft<sup>3</sup> de agua

Vemos entonces en el Diagrama que nos dá las Gravedades Específicas que corresponde a soluciones dadas y se halla que para una solución de 70.5 lb. de sulfato/pié<sup>3</sup> de agua, corresponde una gravedad específica de 1.67 ó sea:

$$1.67 \times 62.4 = 104.2 \text{ lbs. de solución/pié}^3 \text{ de solución}$$



Como el peso total de la carga es:  $12,290 - 10,891.5 = 23,181.5$  lbs.

El volúmen será:

$$\frac{23,181.5}{104.2} = 231.5 \text{ pies cúbicos} = 6.275 \text{ litros}$$

Siendo la acidez de 1 gramo/litro se tiene:

1 gramo/litro X 6,275 litros de sol. = 6,275 gramos de  $\text{SO}_4\text{H}_2$   
que equivale a:  $6,275 : 453.6 = 14$  lbs. de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  por cada Crista-  
lizador.-

Luego, el Acido Sulfúrico total que entra será:

$$5,570 - 28 = 5,598 \text{ lbs. de } \text{SO}_4\text{H}_2 \text{ puro}$$

Agua que entra con el Acido Sulfúrico:

$$0.015 \times 5,598 = 84 \text{ lbs. de agua}$$

La cantidad de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  98.5 % será: 5,682 lbs.

Ahora: como la producción será de 15,000 lbs. de sulfato y te-  
niendo siempre el Licor Madre una acidez de 1 gramo/litro, el máximo  
de acidez que puede tener el producto, sin considerar las pérdidas,

será:  $\frac{28 \times 100}{15,000} = 0.19 \%$  lo que nos asegura que el producto

no será demasiado ácido.

Calentamiento de la masa que circula y alimenta al Cristalizador.-

El calentamiento de dicha masa se puede hallar por medio  
de un balance de calor entre el calor que entra con la solución y con  
la reacción del  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_4\text{H}_2$  y el que sale con el calor de cristali-  
zación y el del Licor Madre.

El balance se puede hacer como sigue:

Calor sensible de la solución que entra - Calor producido por la  
criatalización (exotérmica) - Calor de reacción entre el  $\text{NH}_3$  y el  
 $\text{SO}_4\text{H}_2$  - Calor de dilución del exceso de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  = Calor necesario  
para vaporizar el agua a la temperatura de ebullición o sea el calor



- a) Calor proporcionado por la solución que entra:  $(W_o / H_o) \cdot C \cdot \Delta T$
- b) Calor producido por la cristalización:  $q_c \cdot W_o$
- c) Calor de reacción:  $q_r \cdot N$  lbs. de  $SO_4(NH_4)_2$  producido por neutralización
- d) Calor de vaporización:  $E \cdot L_w$

Luego:

$$E \cdot L_w = (W_o / H_o) \cdot C \cdot \Delta T + q_c \cdot W_o + q_r \cdot N$$

y

$$\Delta T = \frac{E \cdot L_w - q_c \cdot W_o - q_r \cdot N}{(W_o / H_o) \cdot C}$$

donde:

- E = Evaporación durante el proceso,
- $W_o$  = Peso del soluto anhidro en la carga original,
- $H_o$  = Peso total del solvente al comienzo del proceso,
- S = Solubilidad, lb. de soluto/lb. de agua,
- C = Calor específico de la solución de alimentación,
- $q_c$  = Calor de cristalización en BTU/lb.,
- $L_w$  = Calor latente de evaporación,
- $\Delta T$  = Caída de temperatura,
- $q_r$  = Calor de reacción del  $NH_3$  y el  $SO_4H_2$  en BTU/lb. -/ Ca-  
lor de dilución del exceso de  $SO_4H_2$  en BTU/lb.
- N = Peso del Sulfato de amonio producido por neutralización,-

\*\*\*\*\* \_ \_ \_ \_ \_ \*\*\*\*\*

- S = 0.917 lb. de sulfato/lb. de agua
- $W_o$  = a) De la solución 3,750 lbs.
- b) Licor Madre 4,790 lbs.
- c) De la Neutralización 3,750 lbs.

$$W_o = \dots \dots \dots 12,290 \text{ lbs.}$$

H<sub>0</sub> .- a) Del Filtro Lurgi 5,625 lbs.  
 b) Licor Madre 5,210 lbs.  
 c) Del SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> 42 lbs.  
 H<sub>0</sub> = . . . . . 10,877 lbs.

E .- Agua evaporada = (H<sub>2</sub>O que entra con la solución + H<sub>2</sub>O que entra con el Licor Madre + H<sub>2</sub>O que entra con el SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>) - (H<sub>2</sub>O que sale con el Licor Madre + H<sub>2</sub>O que sale con los cristales), o sea:

$$10,877 - (5,210 + 156) = 5,511 \text{ lbs}$$

$$E = 5,511 \text{ lbs.}$$

.- El calor específico de la solución de alimentación, por no hallarse en el Diagrama hecho para el caso, se puede calcular del siguiente modo:

Calor específico del SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> = 0.34 BTU/lb x °F  
 Calor específico del H<sub>2</sub>O = 1.0000 BTU/lb x °F

Ahora:

El número de BTU que se necesita para levantar 1° F será:

Para el SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> : 12,290 x 0.34 = 4,175 BTU/°F  
 Para el H<sub>2</sub>O : 10,877 x 1.0000 = 10,877 BTU/°F

---

BTU necesarios para elevar 1° F la temperatura = 15,052

Peso de la solución: 23,167 lbs.

Luego: El Calor específico será:

$$\frac{15,052}{23,167} = 0.65 \text{ BTU/lb. x } ^\circ\text{F}$$

L<sub>w</sub> .- En este caso, el calor latente de vaporización de la solución, se toma no a la temperatura correspondiente a la presión bajo la cual trabaja el Cristalizador, sino a la co-

respondiente a la temperatura de ebullición de la solución, debido a la elevación de temperatura de ebullición, por la disminución de la presión de vapor que se tiene al disolver una sal inorgánica en H<sub>2</sub>O.

En este caso el Calor Latente no se toma a 63.84°C sino a 70°C; Luego:

$$L_w = 1,003 \text{ BTU/lb.}$$

$q_c$  .- El Calor de Cristalización viene a ser el valor negativo del Calor de Solución y está también relacionado con el Calor de Dilución, pero este último es tan pequeño que casi no tiene influencia en el calor total de cristalización. (Perry 1761

Por lo tanto:

$$\text{Calor de Solución} = - 2,750 \text{ cal/gr-mol}$$

$$\text{Peso Molecular del Sulfato} = 132.14$$

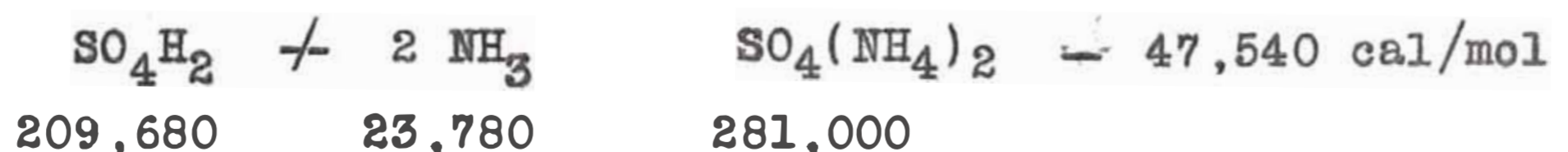
Luego:

$$q_c = \frac{2,750 \times 1.8}{132.14} = 37.5 \text{ BTU/lb.}$$

Delta T .- Este viene a ser el valor que se va a hallar y por medio del cual se obtendrá la temperatura de entrada de la solución de alimentación, o mejor dicho: el calor sensible que debe tener la carga total que entra al Cristalizador, después de pasar por los calentadores respectivos.-

$q_r$  .- La reacción entre el NH<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> es exotérmica y su reacción

es:



$$C_p \text{ del SO}_4\text{H}_2 = 0.339 + 0.00038 t \quad \text{cal/gr. ; } t = ^\circ\text{C ; (Hougen \& 118)}$$

$$C_p \text{ del NH}_3 = 2(6.7 + 0.0063 T) ; \quad T = ^\circ\text{K ; (Hougen pag. 113)}$$

$$C_p \text{ del SO}_4(\text{NH}_4)_2 = 51.6 \text{ cal/mol ; (Perry, pag. 520)}$$



Para hallar el Calor de Reacción a la temperatura que se realiza, es decir a  $70^{\circ}\text{C}$ , se aplica la Ley de Kirchoff (Prutton pag.283)

$$\Delta H = \int \Delta C_p \cdot dT + \Delta H_0$$

Buscamos el  $C_p$  del  $\text{SO}_4\text{H}_2$  a  $18^{\circ}\text{C}$ , temperatura a la cual se dan todos los  $C_p$ ;

$$0.339 + 0.00038 \times 18 = 0.407 \text{ cal/gramo}$$

de donde:

$$0.407 \text{ cal/gr.} \times 98.08 \text{ gr/gr-mol} = 39.8 \text{ cal/gr-mol}$$

Ahora:

$$\Delta C_p = 51.6 - (40 + 13.4 + 0.0126 T)$$

$$\Delta C_p = -1.8 - 0.0126 T \quad ; \text{ luego:}$$

$$\Delta H = -1.8 \int dT - 0.0126 \int TdT + H_0$$

Se halla primero la constante de integración a la temperatura base o sea a  $298^{\circ}\text{K}$ ;

Integrando se tiene:

$$\Delta H = -1.8 T - 0.0063 T^2 + \Delta H_0$$

$$\Delta H = -(1.8 \times 298) - \left\{ 0.0063 \times (298)^2 \right\} + \Delta H_0$$

Como  $\Delta H = 47,540 \text{ cal/mol}$  reemplazando se tiene:

$$-47,540 = -536 - 560 + \Delta H_0$$

$$y \quad \Delta H_0 = -46,444 \text{ cal/gr-mol}$$

Ahora se calcula el Calor de Reacción a  $70^{\circ}\text{C} = 343^{\circ}\text{K}$

$$\Delta H = -1.8 \times 343 - 0.0063 \times 343^2 - 46,444$$

$$\Delta H = -618 - 740 - 46,444 = -47,802 \text{ cal/mol-gr de SO}_4$$

Ahora, el Calor de Dilución del exceso de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  es también exotérmico, siendo igual a:  $-8,670 \text{ cal/mol}$ ; luego el calor total producido

será:

$$-47,802 - 8,670 = -56,472 \text{ cal/gr-mol}$$

Y reduciendo a : BTU/lb-mol , se obtiene:

$$- 56,472 \times 1.8 = - 101,500 \text{ BTU/lb-mol de } \text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$$

Y por último, reduciendo a BTU/lb :

$$\frac{- 101,500 \text{ BTU/lb-mol}}{132.14 \text{ lbs./lb-mol}} = 770 \text{ BTU/lb de } \text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$$

Luego, el valor de:  $q_r$  será:

$$q_r = 770 \text{ BTU/lb.}$$

Ahora, teniendo todos los valores necesarios, pasamos a calcular el valor de "Delta T", o sea la diferencia de temperatura de entrada y salida del Cristalizador.

Balance de Calor para hallar Delta T .-

a) Calor sensible proporcionado por la solución que entra:

$$(W_o - H_o) \cdot C \cdot \Delta T = (12,290 - 10,877) \cdot 0.65 \cdot \Delta T = 15,050 \cdot \Delta T \text{ BTU}$$

b) Calor producido por la cristalización:

$$W_o \cdot q_c = 12,290 : 37.5 = 461,000 \text{ BTU}$$

c) Calor de Reacción, considerando el Calor de Dilución del exceso de Acido Sulfúrico.-

$$q_r \cdot N = 770 \times 3,750 = 2'887,500 \text{ BTU}$$

d) Calor necesario para evaporar el H<sub>2</sub>O a 70°C :

$$E \cdot L_w = 5,511 \times 1,003 = 5'527,500 \text{ BTU}$$

Luego, en total:

$$5'527,500 - 15,050 \cdot \Delta T - 461,000 - 2'887,500$$

$$15,050 \cdot \Delta T = 5'527,500 - (461,000 - 2'887,500)$$

$$\Delta T = \frac{2'179,000}{15,050} = 145^\circ\text{F}$$

Siendo la temperatura de salida = 158°F ,

la temperatura de entrada será: 145 -/ 158 = 303°F

De donde se deduce que la carga debe ser calentada en el Calentador, que se halla en la tubería de circulación, hasta:  $303^{\circ}\text{F}$

NOTA.- La solución puede ser calentada a esta temperatura sin que se descomponga, pues la descomposición del  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  no se realiza hasta llegar a los  $500^{\circ}\text{C} = 923^{\circ}\text{K}$  .-

#### Cálculo del Vapor Necesario.-

Este cálculo se puede hacer por medio de un balance de calor, basándose en el cálculo anterior.

Se sabe que para que se realice la vaporización de 5,511 lbs. de  $\text{H}_2\text{O}$ , considerando los calores de cristalización, reacción y solución, se necesita: 2'179,000 BTU; pero se ha considerado una temperatura base de  $75^{\circ}\text{C}$  ó sea  $158^{\circ}\text{F}$ , a la cual se supone que entra la solución, pero como éste entra a una temperatura menor, puesto que el Licor Madre sale a  $158^{\circ}\text{F}$ , se mezcla con la solución que viene del Filtro Lurgi que se halla solo a  $75^{\circ}\text{F}$ .-

Para hacer el cálculo del vapor necesario para el calentamiento, basta considerar solo los BTU necesarios para calentar la solución de la temperatura a la cual sale del Tanque de Solución hasta  $158^{\circ}\text{F}$  y añadirlo a los 2'179,000 BTU.-

Temperatura de la solución:  $103^{\circ}\text{F}$

Se dispone de vapor a  $100 \text{ lb/in}^2$  abs. que corresponde a una temperatura de  $328^{\circ}\text{F}$  y a un calor latente de 888.8 BTU/lb.

Si llamamos "W" las libras de vapor a  $100 \text{ lb/in}^2$  abs. ó sea a  $85.3 \text{ lb/in}^2$  man., se tendrá:

a) Calor que cede el vapor, (Se considera solo el latente):

$$888.8 \cdot W \text{ BTU}$$

b) Calor necesario para levantar la temperatura de  $103$  a  $158^{\circ}\text{F}$  :

$$12,290 \text{ -/ - } 10,877 \times 0.65 \times (158 - 103) = 827,500 \text{ BTU}$$



Suponiendo que el vapor se condensa a la temperatura de 328°F, se podrá hacer el siguiente balance de calor:

$$888.8 W = 2'179,000 - 827,500 = 3'006,500 \text{ BTU}$$

$$W = \frac{3'006,500}{888.8} = 3,400 \text{ lbs.de vapor a } 85.3 \text{ lb/in}^2 \text{ man. para cada Cristalizador.-}$$

Cálculo del Agua para Condensamiento y Succión del Vapor en los Cristalizadores.- (Fórmula: Kent, Tomo II ; 9-08 )

$$Q = \frac{W (H - h)}{T_c - T_i}$$

donde: Q = Cantidad de agua de condensamiento, lbs/hora;

W = Peso del vapor, lb/hora;

H = BTU a la temperatura de salida del vapor;

h = BTU a la temperatura del condensado;

T<sub>c</sub> = Temperatura del condensado, °F;

T<sub>i</sub> = Temperatura inicial del agua, °F .-

Se supone frecuentemente: (H - h) = 1,000 BTU

$$W = 5,511 \text{ lbs/hora}$$

$$T_c = 158 - 15 = 143^\circ\text{F} \text{ (Se toma casi siempre } 10^\circ \text{ menos de la temperatura del vapor)}$$

$$T_i = 70^\circ\text{F} \text{ .-}$$

Luego, reemplazando se tendrá:

$$Q = \frac{5,511 \times 920}{143 - 70} = 69,500 \text{ lbs./hr., de agua o tambien:}$$

$$69,500 : (8.3 \times 60) = 138.5 \text{ galones/minuto por cada Cristalizador.-}$$

Los Cristalizadores serán del tipo "Oslo", al vacío.

Número de unidades: 2 (dos)

#### CENTRIFUGAS PARA SULFATO DE AMONIO.-

La centrífuga mas conveniente para la conservación de los cristales de sulfato de Amonio, es la del tipo Baker Perkins ter Meer,

Es relativamente moderna y se usa en especial para el

Sulfato de Amonio, usándose de preferencia en Plantas de esta especie.

Se necesita en la Planta, una producción de 15,000 lbs/hr para lo cual se requieren 2 (dos) cada una con una capacidad de 7,500 lb/hr.-

Sus características son las siguientes:

Tipo: S - 30

KW consumidos: 2 1/2 por ton. de sólido seco ó sea 3.35 HP/ton. de sólido

Porcentaje de humedad a la salida: 1.96 % ó 300 lb de H<sub>2</sub>O/15,300 lbs. totales

HP por cada centrífuga:  $\frac{3.35 \times 7,650}{2,000} = 15$  HP

Las centrífugas vienen incluyendo motor, bomba y demás accesorios.-

#### SECADOR PARA SULFATO DE AMONIO.-

Condiciones del Aire en Chimbote: Ver Secador para Yeso.-

La humedad máxima que puede tener el material a la entrada al Secador es de: 1.7 % saliendo con 0.08 % (Perry 1505; Kent N<sup>o</sup> 3, pág. 51)

Consideramos: 1.96 % a la entrada y 0.08 % a la salida.

Material:	Entrada al Secador	15,300 lbs.
	Salida del Secador	15,000 lbs.
	H <sub>2</sub> O a evaporar	300 lbs.

#### Cálculo de las Dimensiones del Secador.-

Datos: a) Densidad del material: 112 lbs./pié cúbico;

b) Volúmen del Secador ocupado por el material: 18 %

c) Relación del Diámetro a la Longitud: 2 a 15 (Perry, 1505)

Luego: Volúmen ocupado por el material:

$$\frac{15,300 \text{ lbs.}}{112 \text{ lb/p}^3} = 136.7 \text{ pies cúbicos}$$

Volúmen total del Secador:

$$\frac{136.7 \times 100}{70} = 760 \text{ pies cúbicos}$$

Llamando: L = longitud del Secador,

D = diámetro del Secador,

r = radio;

$$L = 15/2 D = 15 r \quad ; \quad \text{tendremos:}$$

$$\pi r^2 \times 15 r = 15 \pi r^3 = 760$$

$$r^3 = \frac{760}{15 \times 3.1416} = 16.15$$

$$r = 2.5 \text{ pies}$$

Luego:

$$D = 5'0'' \quad \text{y} \quad L = 37.5' \quad , \quad \text{digamos: } 38'0''$$

#### Cálculo del Aire.-

Area de la sección transversal del Secador:

$$\frac{5^2 \times 3.1416}{4} = 0.7854 \times 25 = 19.635 \text{ pies cuadrados}$$

Area libre para el pason del aire:

$$0.82 \times 19.635 = 16.0 \text{ pies cuadrados}$$

Velocidad del aire: 4 pies/seg. (Riegel, pág. 367)

Volúmen de aire que pasa en un segundo:

$$4 \times 16 = 64 \text{ pie cúbicos}$$

y reduciéndolo a horas:

$$64 \text{ p}^3/\text{seg} \times 3,600 \text{ seg/hr} = 230,000 \text{ p}^3/\text{hora}$$

Libras de Aire Seco:

$$\frac{230,000 \text{ p}^3/\text{hr}}{13.784 \text{ p}^3/\text{lb. de aire seco}} = 16,700 \text{ lbs./hora}$$



BTU que salen con el aire:

- a) Con el aire seco:  $16,700 \times 0.24 \times (92 - 75) = 68,000$  BTU  
b) Con el H<sub>2</sub>O :  $16,700 \times 0.03176 \times 1 \times (92-75) = \underline{9,000}$  BTU
- BTU Totales 77,000 BTU

BTU que salen con el material:

Calor específico del material:  $0.34$  BTU/lb.  $\times$  °F

- a) Para el material:  $14,988 \times 0.34 \times (90.5-75) = 79,400$  BTU  
b) Para el H<sub>2</sub>O :  $12 \times 1 \times (90.5 - 75) = 169$  BTU
- BTU Totales 79,569 BTU

El vapor necesario se halla por los BTU que se necesita suministrar, es decir:

$$316,960 - 77,000 - 79,569 = 473,529 \text{ BTU}$$

Considerando vapor a  $85.3 \text{ lb/in}^2$  man. se tiene que el calor latente es igual a  $888.8 \text{ BTU/lb}$ , luego tendremos:

$$473,529 : 888.8 = 535 \text{ lbs. de vapor}$$

Se considera un  $70 \%$  de eficiencia térmica, dando:

$$535 : 0.70 = 760 \text{ lbs. de vapor}$$

Potencia requerida para el Secador:  $20 \text{ HP}$  (veinte); (Perry, 1503-05)

Tipo de Secador: Rotatorio (Single Shell with Bank of Steam Coils)

Dimensiones: Long.:  $40'0''$  , Diam.:  $5'0''$  (Taggart 17-10)

Potencia:  $20 \text{ HP}$ ; (Considerando el ventilador para el aire)

Eficiencia:  $70 \%$

Peso:  $30,000$  libras

TANQUE PARA AGUA DE CONDENSACION DE LOS CRISTALIZADORES.-

Capacidad:  $140,000$  lbs de agua/hora o sea:  $2,250$  pies cúbicos/hr.

Material: Planchas de acero de  $6'0'' \times 12'0'' \times 3/8''$

Número de Planchas:  $10$  planchas de  $6' \times 12' \times 3/8''$

Condiciones del Aire de Salida y Entrada al Secador.-

Diferencia de humedad entre el aire de salida y el de entrada:

$$\frac{300 \text{ lbs. de H}_2\text{O}}{16,700 \text{ lbs. de aire seco}} = 0.01796 \text{ lb.H}_2\text{O/lb.aire seco}$$

Humedad del aire que sale:  $0.01796 + 0.0138 = 0.03176$

Ahora, consideramos que el aire sale con una Humedad Relativa de 95 %, pudiendo hallarse las condiciones del aire que sale, estas son:

Humedad Relativa                      95 %

Humedad                                      0.03176

Temperatura de Bulbo Seco:    92° F

Temperatura de Bulbo Húmedo: 90.5° F

Calentando el aire en forma adiabática, se hallan las condiciones de aire ya precalentado que entra al Secador; este calentamiento adiabático se hace por supuesto hasta llegar a la ~~tem~~ humedad correspondiente al aire atmosférico, o sea hasta 0.0138 lb.H<sub>2</sub>O/lb.aire seco. Las condiciones que se hallan son:

Humedad                                      0.0138

Temperatura de Bulbo Seco            165° F

Temperatura de Bulbo Húmedo        90.5° F

CALCULO DEL VAPOR.-

BTU necesarios para evaporar el agua del material:

Nota.- Se supone que el material sale del Secador a la temperatura de la interfase o sea a la temperatura de Bulbo Húmedo del aire.

Luego: a) Para calentar el H<sub>2</sub>O a la temperatura de la interfase:

$$300 \times 1 (90.5 - 75) \qquad 4,660 \text{ BTU}$$

b) Para evaporarla:

$$300 \times 1,041 \qquad 312,300 \text{ BTU}$$

TOTALES                                      316 960 BTU

Cálculo del Agua necesaria.-

Agua que sale del Tanque:

a) Al Mezclador	15,000 lbs.
b) Al Trommel	10,740 lbs.
c) Al Cristalizadores al vacío	139,000 lbs.
d) A la Torre para absorción de $\text{NH}_3$	5,700 lbs.
e) Al Filtro Lurgi	<u>6,240 lbs.</u>
	176,680 lbs.

Agua que regresa al Tanque:

a) Del Espesador	13,000 lbs.
b) Del Filtro Dorrco	<u>6,300 lbs.</u>
	19,300 lbs.

Agua Necesaria:

$$176,680 - 19,300 = 157,380 \text{ lbs.}$$

o también:

$$\frac{157,380 \times 7.48}{62.4} = 18,900 \text{ galones/hora}$$

que igual a:  $157,380 : 62.4 = 2,520$  pies cúbicos/hora

El Tanque para Agua tendrá las siguientes dimensiones:

Largo:20'0" ; Ancho:18'0" ; Altura:7'0" y una

Capacidad total de:2,520 piés cúbicos.-

Cálculo del Vapor Total Necesario.-

El vapor de agua se usa a 85.3 lb/in<sup>2</sup> manométricas,

a) Para el Secador para Yeso	2,800 lb/hr
b) Para el Secador para Sulfato de Amonio	760 lb/hr
c) Para los Cristalizadores al Vacío	<u>6,800 lb/hr</u>
	10,360 lb/hr

o sea:

$$10,360 \times 24 = 248,640 \text{ lbs/día}$$



CALCULO DE LA POTENCIA DE LAS MOTO-BOMBAS.-

1) Del Río al Depósito:

Altura: 100.pies

Capacidad: 187,380 lbs./hr. = 3,000 p<sup>3</sup> = 374 gal./min.

HP.: 15

2) Del Clasificador Bowl-Rake al Espesador:

Altura: 21 pies

G.P.M.: 37.4 Grav. esp.: 1.1

HP.: 1

3) Del Espesador al Tanque de Agua:

Altura: 66 pies

G.P.M.: 26 Grav. esp.: 1

HP.: 1½

4) Tanque de Sol. 6% a la Torre de Absorción:

Altura: 43 pies

G.P.M.: 6.25 Grav. esp.: 1.05

HP.: 1/2

5) Tanque de Agua de Lavado al Filtro Durgi:

Altura: 26

G.P.M.: 15 Grav. esp.: 1

HP.: 1/2

6) Tanque de Sol. al Filtro Lurgi:

Altura: 20 pies

G.P.M.: 33 Grav. esp.: 1.48

HP.: 1/2

7) Del Tanque de Solución al Cristalizador:

Altura: 40 pies

G.P.M.: 58 Grav. esp.: 1.38

HP.:  $1\frac{1}{2}$

8) Torre de Absorción de  $\text{NH}_3$  a Torre de Absorción de  $\text{CO}_2$  .

Altura: 20 pies

G.P.M.: 20 Grav. esp.: 1.1

HP.:  $1/2$

9) Del Filtro Dorrco a la Torre de Agua:

Altura: 60 pies

G.P.M.: 13 Grav. esp.: 1

HP.:  $1\frac{1}{2}$

10) Lodo del Espesador al Tanque de Depósito o al exterior.

Altura: 15 pies

G.P.M.: 11.2 Grav. esp.: ~~1~~<sup>1/4</sup>

HP.:  $1/4$

11) Pasta Aguada ó  $\text{CaSO}_3$  con agua, afuera en caso de no utilizarse:

Altura: 15 pies

G.P.M.: 20 Grav. esp.: 1.2

HP.:  $3/4$

12) Para el Condensador del Cristalizador:

Altura: 67 pies

G.P.M.: 140 Grav. esp.: 1

HP.: 5

13) Recirculación de la Solución dentro del Cristalizador al Vacío:

Altura: 12 pies

G.P.M.: 6,000 Grav. esp.: 1.4

HP.: 40

14) Bomba para Acido Sulfúrico:

HP.: 1

CALCULO DE TRANSPORTADORES Y ELEVADORES

TRANSPORTADORES.-

1) Yeso, del Depósito al Molino Primario.- Transp. de faja.

Capacidad: 7.5 Tons./hr.

Densidad :  $2.32 \times 62.4 = 145 \text{ lbs./pié}^3$

Tamaño máximo del material: 18"

" mínimo " " :  $2\frac{1}{2}"$

En Badger, pág. 604 se encuentra que la velocidad de la faja debe ser de 30 pies/min.

Ancho de la faja: 50"

Longitud de la faja: 60'

Diferencia de alturas entre sus extremos: 10 pies

HP.: 3

2) Yeso, del Secador al Molino Primario.- Transportador de faja.

Capacidad: 5.5 Tons/ hr.

Densidad :  $2.32 \times 62.4 = 145 \text{ lbs./pié}^3$

Tamaño máximo del material:  $\frac{3}{4}"$

" mínimo " " :  $-\frac{1}{8}"$

Longitud de la faja: 30'

Ancho de la faja : 14"

Dif. de alturas: 10'

La potencia se puede hallar también por la fórmula que se encuentra en Perry pág. 1355:

HP. = T.P.H. x C (  $0.002H \neq 0.001Y$  )

HP.: =  $5.5 \times 2 (0.002 \times 30 \neq 0.001 \times 10) = 0.77$

Luego: HP. = 1

Velocidad: 20 pies/min.



3) Cake, del Filtro Lurgi al Depósito.-

Capacidad: 8,7 Tons.

Densidad : 80 lbs./pie<sup>3</sup>

Material: Cake de Carbonato de Calcio e impurezas.

Longitud de la faja: 60 pies

Ancho " " " : 12 pulg.

Velocidad: 20 pies/min. Dif. de alturas: 10'

HP.: 1½

4) Transportador de Gusano: Del Clasificador Bowl-Rake al Depósito.

Capacidad: 1,740 lbs./hr.

Densidad :  $\frac{1,740}{\frac{1,000}{2.4 \times 62.4} \times \frac{740}{62.4}} = 93 \text{ lbs./pie}^3$

Diámetro : 4 "

R.P.M. : 18

HP. =  $1 \text{ / (ALN / 116,000) } 10^{-6} = 1.17$

HP. = 1.5

Material de que está construido el gusano: Hierro blanco, usualmente no lubricado; a veces acero endurecido.

#### ELEVADORES.-

5) Yeso, del Molino Primario al Mezclador.-

Capacidad: 180 Tons./día.

Altura de elevación: 40 '

Ancho del elevador: 16"

Velocidad : 450 pies/min.

Capacidad de cada cangilón :  $14 \times 18 \times 7\frac{1}{2} \text{ pulg.}^3$

Espacio entre cada cangilón: 18 "

Motor de 5 HP.

6) Yeso, del Molino Primario a los Tanques de Reacción.-

Capacidad : 134 Tons./día.

Altura de elevación : 23 '

Ancho del elevador: 14 "

Velocidad: 360 pies/min.

Capacidad de cada cangilón:  $12 \times 6\frac{1}{2} \times 7$  pulg.<sup>3</sup>

Espacio entre cada cangilón: 24"

Motor de 4 HP.

7) Transportador de Sulfato de Amonio de la Centrifuga al Secador.-

Capacidad: 7.65 Tons./hr.

Densidad : 105 lbs./pie<sup>3</sup>

Longitud de la faja: 30 '

Velocidad: 20 pies/min.

Ancho de la faja: 12"

HP. : 1.5

8) Transportador de Sulfato de Amonio del Secador al Depósito.

Capacidad: 7.5 Tons./hr.

Densidad : 110 lbs./pie<sup>3</sup>

Longitud de la faja: 60'

Ancho de la faja: 12"

Velocidad: 20 pies/min.

HP. : 2

CALCULO ECONOMICO

PRECIO DE LA MAQUINARIA

	\$
Una Máquina pesadora para Yeso.....	1,500.00
Un Molino Primario.....	3,200.00
Un Mezclador para Yeso y Agua.....	3,500.00
Un Clasificador tipo Trommel.....	500.00
Un Clasificador tipo Rake.....	1,800.00
Un Clasificader tipo Bowl-Rake.....	1,300.00
Un Espesador.....	2,500.00
Un Filtro Dorreo.....	5,500.00
Un Molino Secundario.....	2,800.00
Dos Torres de Absorción de Amoníaco.....	3,500.00
Dos Torres de Absorción de Anhidrido Carbónico.....	3,500.00
Un Filtro Lurgi.....	6,500.00
Dos Cristalizadores al Vacío.....	80,000.000
Dos Centrífugas Continuas.....	28,000.00
Un Secador para Yeso.....	8,500.00
Un Secador para Sulfato de Amonio.....	9,500.00
Una Máquina Pesadora para Sulfato de Amonio.....	1,500.00
Válvulas, tuberías etc.....	8,000.00
Instrumentación y Aparatos de Control.....	5,000.00
Distribución Eléctrica.....	10,000.00
	186,600.00

Nota: En estos precios está incluido el de los motores.



PRECIO DE ELEVADORES Y TRANSPORTADORES

Una Faja Transportadora de 60' de largo x 50" de ancho.....	1,500.00
" " " " 30' " " 14" " " .....	800.00
" " " " 60' " " 12" " " .....	800.00
" " " " 60' " " 12" " " .....	800.00
" " " " 30' " " 12" " " .....	700.00
Un Elevador de Cangilones 440' " " 16" " " .....	2,000.00
" " " " 23' " " 14" " " .....	1,200.00
Un Transportador de Gusano 80' " " y 4" de Diámetro.....	600.00
	8,400.00

PRECIO DE LOS TANQUES

Dos Tanques para Acido Sulfúrico 12' diám. x 12' de longitud a \$ 1,350.00 c/u.....	\$ 2,700.00
Cinco Tanques de Reacción de 10' diám. x 10' de altura a \$ 1,180.00 c/u.....	5,900.00
Un Tanque de Solución con Sólidos en Suspensión de 7' de diám. x 8' de altura.....	700.00
Un Tanque de Agua de Lavado 4' x 8' x 4'.....	400.00
Un Tanque de Solución 6% (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> de 4'x4'x4'.....	250.00
Un Tanque de Solución 6'x 12'x 8'.....	1,200.00
Un Tanque de Agua de Condensación de 4'x 4'x 4'.....	250.00
Un Tanque de Concreto para Agua de 20'x 18'x 7': s/.	54,000.00
	15,000.00

MOTO-BOMBAS. (Precio en Chimbote)

	S/.
Dos Bombas de 1/4 HP.....	2,600.00
Ocho Bombas de 1/2 HP.....	14,800.00
Dos Bombas de 3/4 HP.....	5,000.00
Dos Bombas de 1 HP.....	6,400.00
Seis Bombas de 1 1/2 HP.....	22,400.00
Cuatro Bombas de 5 HP.....	22,400.00
Dos Bombas de 15 HP.....	18,000.00
Cuatro Bombas de 40 HP.....	90,000.00
Dos Bombas para Acido Sulfúrico de 1 HP.....	32,000.00
	S/.
	213,600.00

Con un total de 229 HP.

Considerando el cambio del dolar a 15 soles, se tendria un total de 14,240.00

POTENCIA REQUERIDA PARA EL FUNCIONAMIENTO  
DE LA MAQUINARIA.

Transportador para Yeso.....	3	HP.
Molino Primario.....	35	"
Elevador para Yeso.....	5	"
Mezclador.....	5	"
Trommel.....	15	"
Clasificador Rake.....	6	"
Clasificador Bowl-Rake.....	4	"
Espesador.....	2	"
Transportador para Lodo.....	1.5"	
Filtro Dorrco.....	5	"
Secador para Yeso.....	12	"
Transportador.....	1	"
Molino Secundario.....	30	"
Transportador.....	4	"
Cinco Tanques de Reacción con 1 agitador c/u. de 1 HP.....	5	"
Filtro Lurgi.....	4	"
Transportador.....	1.5"	
Transportador.....	1.5"	
Dos Centrífugas con motor de 15 HP. c/u.....	30	"
Transportador.....	2	"
Moto- Bombas.....	229	"
Alumbrado etc.....	8.5"	

410. HP.

$410 \times 0.746 \times 24 = 7,350$  kw-hr por día  
a S/. 004 por kw-hr tendremos:  $0.04 \times 7,350 =$  S/. 294.00



CALCULO DEL CAPITAL SOCIAL

CALCULO DEL ACTIVO FIJO.-

Terreno: 35 mts. x 75 mts. = 2,625 mts.<sup>2</sup>  
a S/. 10.00 mt.<sup>2</sup> : S/. 26,250.00

Edificio: \$ 100,000.00

Estructuras: \$ 50,000.00

---

\$ 150,000.00

O sea: 150.000 x 15 = S/. 2.250,000.00

Tendremos por lo tanto:

Terreno:	S/.	26,250.00		
Edif. y Estructuras:		<u>2.250.000.00</u>		
		2.276,250.00	=	S/.
				2.276,250.00

Equipo:

Maquinaria: \$ 186,600.00

Elevadores y

Transportadores: 8,400.00

Moto-Bombas: 14,240.00

Tanques: 15,000.00

Instalaciones: 60.000.00

---

\$ 284,240.00

O sea: 284,240. x 15 = 4.263,600.00

Considerando ahora un 25% de Fletes, derechos,

Seguros etc. de la maquinaria importada:

0.25(186,600 / 8,400 / 15.000 / 50.000) = \$ 65,000.00

O sea: 65,000 x 15 =

TOTAL ACTIVO FIJO

975,000.00

S/.

---

7.514,850.00

CALCULO DE JORNALES Y SUELDOS

EMPLEADOS:

1 Ingeniero Jefe		S/.	
a S/. 100.00 por día			100.00
3 Jefes de Turno			
a S/. 70.00 por día c/u			210.00
1 Jefe de Oficina			
a S/. 40.00 por día			40.00
6 Empleados			
a S/. 25.00 por día c/u			150.00
1 Mecánico Jefe de Mantenimiento			
a S/. 35.00 por día			<u>35.00</u>
		S/.	535.0

OBREROS:	45 hombres a 15 por Turno y		
	a S/. 20.00 por día c/u		900.0

Total de Sueldos y Jornales:	S/.	1,435.0
25% Leyes Sociales:		358.7
Gerencia, gastos de oficina etc.		206.2
	S/.	2,000.0

Por lo tanto, el gasto en empleados y obreros cada día será de S/. 2,000.00

COSTO DE OPERACION POR DIA

Producción de 180 toneladas cortas.

Acido Sulfúrico:	5,682 lbs./hr. = 61.86 Ton.met/día	S/.	
	a S/. 500.00 Ton. met.		30,930.00
Amoniaco:	3,910 lbs./hr. = 42,63 Ton.met/día		
	a S/. 650.00 Ton. met.		27,709.00
Yeso:	180.Ton. cortas = 163.3 Ton.met/día		
	a S/. 50.00 Ton. met.		8,165.00
Anhidrido Carbónico:	2,500 lbs/hr. = 60.000 lbs/día		
	a S/. 0.10 por libra		6,000.00
Vapor de Agua:	248,640 lbs/día = 112,883 Kgrs/día		
	a S/. 0.03 por Kg.		3,386.49
Agua:	18,900 gal/hr. = 453,600 gal/día		
	a S/. 0.37 por cada 1,000 gal		167.83
Fuerza Eléctrica:	7,350 Kw-hr		
	a S/. 0.04 por Kw-hr		294.00
Sueldos y Jornales:			2,000.00
Lubricantes:			20.00
Laboratorio:			25.00
Seguros: 4% sobre el Capital			726.00
Gastos Generales:			76.68
		S/.	
	TOTAL		79,500.00

Costo de la Tonelada Métrica:

$$\frac{79,500}{163.3} = \text{S/. } 480.71$$



CAPITAL DE TRABAJO:

Base: 60 días de operación

$$79,500.00 \times 60 = \text{S/} 4.770,000.00$$

CAPITAL SOCIAL DE LA COMPAÑIA.

a) Activo Fijo	S/.	7.514,850.00	
b) Capital de Trabajo		4.770,000.00	
c) Inversión en materiales, repuestos etc.		715,150.00	S/.
			13.000,000.00

---

ANALISIS DE VENTAS.- Base:24 horas

Sulfato de Amonio: 180 Tons. cortas= 163.3 Tons.métricas		
a S/.	700.00 por Ton. métrica	S/.
		114,310.00
Yeso para Cemento: 1,000 lbs/hr. = 24,000 lbs/día		
a S/.	0.05 por libra:	1,200.00
Carbonato de Calcio, como acondicionador de terrenos de cultivo: 8,715 lbs/hr. = 209,160 lbs./día		
a S/.	0.01 por libra:	2,092.00
		S/.
		117,602.00

Entrada por Tonelada Métrica de Sulfato de Amonio  
producida:  $\frac{117,602}{163.3} = \text{S/} 720.16$

AMORTIZACIONES AL AÑO

a) Maquinaria: 6% durante 20 años.

$$a = \frac{Ar(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = \frac{4.263,600 \times 0.06 \times 1.06^{20}}{1.06^{20} - 1} = \text{S/} \cdot 372,000.00$$

b) Construcciones: 2% durante 70 años.

$$a = \frac{Ar(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = \frac{2.276,250 \times 0.02 \times 1.02^{70}}{1.02^{70} - 1} = 73,500.00$$

S/ · 445,500.00

Por tonelada métrica y por día será:

$$\frac{445,500}{360 \times 163.3} = \text{S/} \cdot 7.60$$

CALCULO DE LA UTILIDAD BRUTA.-

Ventas:	S/.	720.16
Costo :		480.71
Utilidad Bruta:	S/.	<u>239,45</u>

CALCULO DE LA UTILIDAD NETA.-

Utilidad Bruta:	S/.	239,45
Amortizaciones:		7,60
Utilidad Neta:	S/.	<u>231,75</u>

O sea:

$$231,75 \times 163.3 = \text{S/} \cdot 37,844.78 \text{ por día.}$$

Y:

$$37,844.78 \times 360 = 13.624,120.80 \text{ por año.}$$

NOTA.- Esta ganancia neta no considera impuesto a las utilidades; los precios, son puestos en fábrica y por último, el precio del Sulfato de Amonio se compara muy favorablemente con el precio del importado, cuyo promedio en 1948 fué de \$ 102.00 por tonelada métrica o sea de S/. 1,530 por tonelada métrica, y con el precio de los Nitratos Chilenos que eran de \$ 65,75 ó de S/. 986.00 por tonelada métrica.

Los precios del Amoniaca Sintético y del Acido Sulfúrico, así como los Sub-productos de la Planta de  $NH_3$  que son el  $CO_2$  y el vapor, corresponden a los de las plantas anexas de  $NH_3$  y  $H_2SO_4$ , sin cuya cooperación sería imposible obtener precio tan bajo. Estos proyectos son llevados a cabo, por los exalumnos Pedro A. Figueroa D. y Manuel A. Chumbiray Q. respectivamente.-

00000000000000000000000000000000

0000000000000000

000000

0000

0





## BIBLIOGRAFIA

- 1 .- Una Planta de Sulfato de Amonio.- Ind. & Eng. Chemistry (1927)
- 2 .- Ammonia Synthesis at T.V.A.- Chem. & Met. 50,N<sup>o</sup>8,152 (1943)
- 3 .- Planta de Amoniaco en la India.-Chem.& Met.54,N<sup>o</sup>18,92 (1947)
- 4 .- Amoniaco y Sulfato de Amonio en la India.-Chem.& Met.Junio(1950)
- 5 .- El Yeso en Lima( Boletín del Cuerpo de Ings. de Minas).N<sup>o</sup>110
- 6 .- Chemistry of Coal Utilization por H. H. Lowry ( Tomo II)
- 7 .- Roger's Manual of Industrial Chemistry por C. C. Furnas.
- 8 .- Manual del Ingeniero Químico por Hutte
- 9 .- Chemical Engineer's Handbook, por J. H. Perry ( 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> Edición)
- 10.- Chemical Machinery, por Riegel
- 11.- Industrial Chemistry, por Riegel
- 12.- Chemical Processes Industries, por Shreve
- 13.- Elements of Chemical Engineering, por Badger & Mc Cabe
- 14.- Principles of Chemical Engineering, por Walker, Lewis, Mc Adams.
- 15.- Mechanical Engineer's Handbook, por Kent (Tomos II y III)
- 16.- Handbook of Mineral Dressing, por Taggart
- 17.- Inorganic Chemical Technology, por Badger & Baker
- 18.- Chemical Process Principles, por O. Hougen y K. Watson
- 19.- Chemical Engineering Plant Design , por Vilbrandt
- 20.- Heat Transmission, por W. H. Mc Adams
- 21.- Chemical Engineering Thermodynamics, por Dodge
- 22.- Fixation of Atmospheric Nitrogen, por F. A. Ernst
- 23.- Manual of Process Engineering, por Clarke
- 24.- Absorption and Extraction, por Sherwood
- 25.- Extracto del Comercio Exterior del Perú
- 26.- Abonos Nitrogenados.- Folleto de la I. G. Farbenindustrie.
- 27.- Crane, Catálogo N<sup>o</sup> 49.
- 28.- ~~...~~

29.- International Critical Tables

30.- Principles of Physical Chemistry por Prutton y Maron.

Lima, 2 de febrero de 1951  
Pase a la Comisión formada por los señores  
Profesores Ingenieros Germán E. Pflucker,  
Alfonso Montero y Antonio Barnaviecki, para  
que se sirva revisar este proyecto

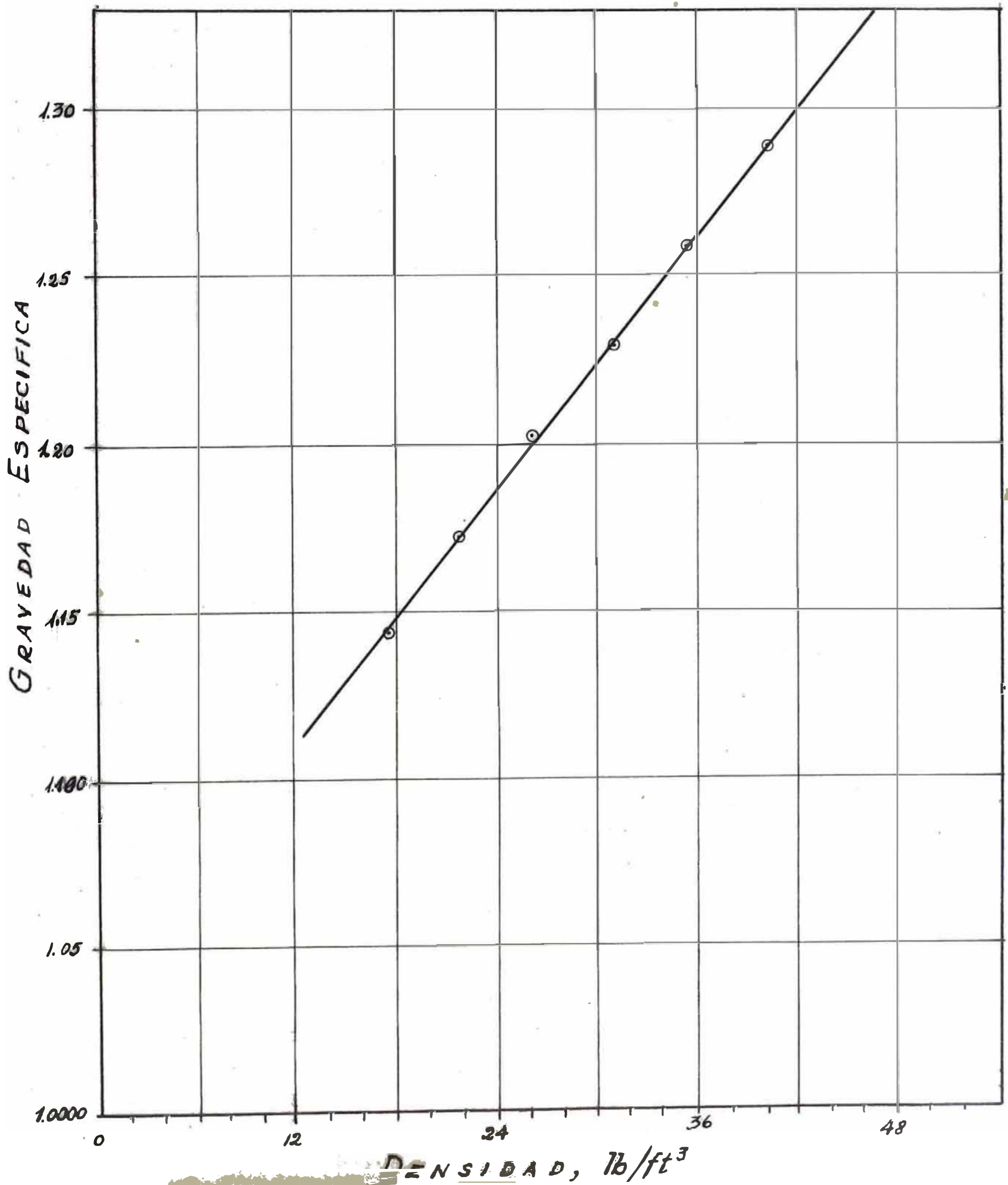


Reunidos en el local de la Escuela Nacional de Ingenieros, en Lima, a los veintisiete días del mes de febrero de mil novecientos cincuenta y uno, los profesores que forman parte del Jurado designado, habiendo estudiado el proyecto presentado por el egresado Juan José Ibarra Panizo, y después de la exposición hecha por éste, y de contestar las objeciones del Jurado, este acordó aprobarlo con el Calificativo diecisiete (17.) cuando a continuación.



DENSIDAD DE SOLUCIONES ACUOSAS

DE SULFATO DE AMONIO, A 19°C



CALOR ESPECIFICO DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS

DE SULFATO DE AMONIO

