


# FECHA DE DEVOLUCION

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

Vencido el plazo, el lector pagará  por cada día que pase.

Plata 151,302

~~4 OCT. 1979~~

~~4 OCT. 1979~~

~~6 NOV. 1979~~

~~28 AGO. 1980~~

~~5 MAYO 1982~~

~~5 MAYO 1982~~

- 6 ABR. 1991



8 DIC. 1978

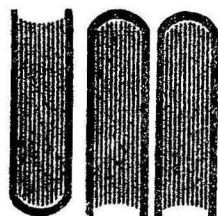
12-10-78  
500-

Vo Bo

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. B. ...', written in a cursive style with a long horizontal stroke extending to the right.

UNIVERSIDAD DE MONTERREY

DIVISION DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



UNIVERSIDAD  
DE MONTERREY

*clasif.*

*040.668*

*C539p*

*1978*

*Título*

PRODUCCION DE OXIDO DE MAGNESIO  
A PARTIR DEL AGUA DE MAR

*Folio*

**801104**

REPORTE DEL PROGRAMA DE EVALUACION FINAL  
*Autor* QUE PRESENTA  
SERGIO CHINCHILLA CERDAN

EN OPCION AL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO ADMINISTRADOR

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1978

**BIBLIOTECA  
UNIVERSIDAD DE MONTERREY**

A mi madre:

Sra. Aurora C. Vda. de Chinchilla.

Con profundo agradecimiento y amor.

A la memoria de mi padre

Dr. Miguel Angel Chinchilla R. (7)

A mis hermanos:  
Con cariño y muy  
en especial a  
Miguel

A todos mis maestros  
Con profundo afecto

A mis compañeros y amigos.

## INDICE

- INTRODUCCION	1
- BREVE HISTORIA	2
- METODO DE OBTENCION	4
- MATERIAS PRIMAS	7
- DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION	11
- PROPIEDADES DEL OXIDO DE MAGNESIO GRADO REFRACTARIO	20
- BALANCES DE MATERIA	22
- BALANCES DE ENERGIA	40
- LOCALIZACION DE LA PLANTA	52
- ANALISIS ECONOMICO	58
- USOS	66
- CONCLUSIONES	69
- APENDICE	70
- BIBLIOGRAFIA	72
- REFERENCIAS	74

## INTRODUCCION

Aunque varios productos han salido del mar, pocos de estos han merecido un interés tan grande como el hecho de poder producir el óxido de magnesio a partir de las sales del agua de mar.

La razón de tal interés, es la necesidad que existía para encontrar una manera de producir sintéticamente el óxido de magnesio, debido a que son muy escasas las fuentes naturales para su producción.

El óxido de magnesio, magnesia o magnesia calcinada, es un polvo blanco muy fino que se presenta raramente en la naturaleza como periclasa ( $MgO$ ), por lo general incluido en yacimientos de caliza cristalina. Su empleo industrial es muy variado y se produce en un gran número de calidades comerciales, fabricadas para diversos fines y que dependen del material, tiempo, temperatura de descomposición y de las impurezas presentes. Es un compuesto de excelentes propiedades refractarias y con él se producen ladrillos básicos que se utilizan en el recubrimiento de hornos para la producción de acero, así como también en los hornos de vidrio y cemento.

El presente estudio tiene como finalidad dar a conocer el proceso de fabricación del óxido de magnesio grado refractario, a partir del agua de mar, así como los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta cuando se está proyectando la instalación de una planta de este tipo.

## BREVE HISTORIA

La extracción de magnesia de agua de mar para aplicaciones refractarias se originó en los países de mayor producción de acero, los cuales no tenían disponibles minas de magnesia natural ( $MgCO_3$ ) de alta calidad. La idea básica para el proceso viene desde 1885 cuando se operaban pequeñas plantas en la costa sur de Francia, pero la falta de equipo adecuado y la dificultad en el manejo del precipitado obtenido, fue la causa de que no se desarrollara en gran escala. Durante los años treinta, grandes esfuerzos fueron hechos para desarrollar el proceso, principalmente en Inglaterra, debido a que no había una fuente natural de óxido de magnesio ó alguna fuente económica adecuada para su producción.

La demanda de alta pureza y alta calidad de óxido de magnesio para satisfacer las demandas del uso refractario, ha llevado a un considerable aumento en el número de países que lo producen a partir del agua de mar.

La Tabla 1 muestra las capacidades aproximadas en varios países.



PAIS	CAPACIDAD/TON
Japón	800,000
U.S.A.	600,000
Reino Unido	300,000
Italia	180,000
USSR	120,000
Islandia	80,000
México	50,000
Canadá	30,000

Desde 1937, la producción de óxido de magnesio a partir de agua de mar, ha aumentado hasta constituir el 40% de la producción total de magnesia para uso refractario.

La primer magnesia grado refractario de agua de mar contenía 85% de óxido de magnesio con impurezas de 6% de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), 2.5% de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), 2% de óxido de fierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y 1.5% de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Ahora por este proceso se dan rendimientos comparados con las mejores calidades de las magnesias naturales.

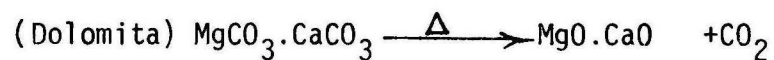
Actualmente en México son cinco las fábricas que lo producen: 1) Química Coyoacán, 2) Magnesia, S. A., 3) Química del Rey, 4) Química del mar y 5) Química Monterrey, todas lo producen en una o varias calidades y solamente Química del mar lo produce a partir del agua de mar.

## METODO DE OBTENCION

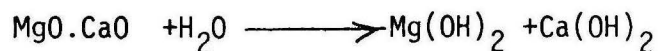
Esta sección tiene como objetivo explicar todas las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de fabricación del óxido de magnesio.

El magnesio en el agua de mar está presente en un grado de 1.3 gr de  $Mg^{+2}$  por litro, el cual es equivalente a aproximadamente 0.2% en peso de óxido de magnesio. Los cationes  $Mg^{+2}$  en el mar están asociados con aniones  $Cl^{-}$  y  $SO_4^{-}$ .

El álcali para precipitar el magnesio del agua de mar se obtiene de la caliza ( $CaCO_3$ ) o de la dolomita ( $CaCO_3.MgCO_3$ ) la cual se descompone a una temperatura suficiente para remover todo el bióxido de carbono ( $CO_2$ ), pero no tan alto como para calcinar el material en una forma químicamente inactiva.



El óxido posteriormente se hidrata y se descarga en agua.



El producto obtenido de esta reacción es una lechada alcalina llamada "Lechada Dolomítica", que se hace reaccionar con el agua de mar

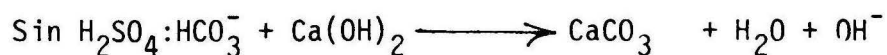
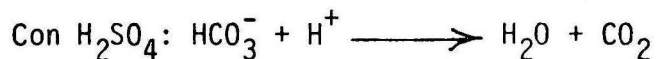
para precipitar las sales de magnesio del agua.



El calcio es removido por un intercambio de iones debido a la relativa insolubilidad ( $9 \times 10^{-4}$  gr/lit) del hidróxido de magnesio comparada con la del hidróxido de calcio (1.8 gr/lit).

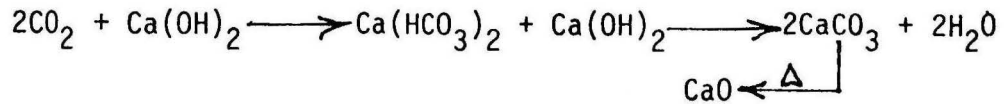
El precipitado coloidal de  $\text{Mg(OH)}_2$  obtenido en la reacción es lavado con agua dulce para bajar la concentración de cloruros ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ) y luego filtrado para finalmente proceder a secarla o calcinarla dependiendo de qué calidad es la que se quiera obtener.

El agua de mar y el agua fresca utilizadas deben ser previamente tratadas con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), con el objeto de eliminar el bicarbonato de calcio presente, ya que resultaría en que el hidróxido de magnesio tendría un alto grado de impureza de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ).



El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que resulta de la reacción, debe ser completamente eliminado del agua, porque si no también resultaría una

impureza en el óxido de magnesio



Uno de los principales problemas en la precipitación del hidróxido de magnesio por este método, es la lentitud de sedimentación y filtración en el producto, para lo cual es conveniente añadir agentes floculantes (aquellos basados en la poliacrilamidas) ó con la recirculación de una parte del precipitado en la zona de precipitación y así aumentar la velocidad de precipitación. Si se extrae todo el magnesio del agua de mar, existe la posibilidad de coprecipitar sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), la solubilidad teórica máxima del sulfato de calcio se alcanza cuando cerca del 75% de magnesio se ha precipitado, pero las soluciones supersaturadas de sulfato de calcio son muy estables y la precipitación no ocurre, por tal motivo no hay contaminación total del precipitado de hidróxido de magnesio con el sulfato.

## MATERIAS PRIMAS

Las materias primas usadas para el proceso de obtención de óxido de magnesio sintético son: 1) Cal dolomítica, 2) Agua de mar y 3) Acido sulfúrico.

A continuación se describirán las propiedades y calidades químicas que deben tener estas materias para que las especificaciones de producto final no se vean afectadas.

### 1) Cal Dolomítica:

La cal dolomítica no se encuentra en estado natural y la fuente para producirla es la piedra dolomítica ( $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ) compuesta por lo menos con 30% de carbonato de magnesio.

La piedra dolomítica se calcina para dar esta cal ( $MgO \cdot CaO$ ), que se hidrata para formar la lechada dolomítica de hidróxido de calcio e hidróxido de magnesio ( $Ca(OH)_2, Mg(OH)_2$ ), la cual es la fuente alcalina para precipitar el magnesio del agua de mar. Es importante que el proveedor seleccione cuidadosamente la piedra para evitar impurezas en el óxido de magnesio. Las impurezas más comunes son las siguientes:  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  y  $CaO$ . Pequeñas cantidades de otras impurezas pueden estar presentes en un porcentaje menor a 0.05 en peso, tales como óxido de manganeso ( $MnO$ ), óxido de boro ( $B_2O_3$ ), lo cual

da como consecuencia una contaminación en el óxido de magnesio (MgO). Un contenido de impurezas de 0.1% en la dolomita da por resultado un contenido de impurezas de aproximadamente 0.25% en el producto final.

En el presente estudio se usará la cal dolomítica con una composición de 38% de óxido de magnesio y 62% de óxido de calcio, con un tamaño de 1/4 de pulgada a finos, como materia prima.

#### AGUA DE MAR

El agua de mar es una materia prima inagotable que contiene sales de magnesio que dan una cantidad equivalente de óxido de magnesio de 2.2 gr/lit.

Un análisis típico del agua de mar contiene:

(en gramos por litro de p. esp. = 1.024)

NaCl	27.319
MgCl <sub>2</sub>	4.176
MgSO <sub>4</sub>	1.668
CaSO <sub>4</sub>	1.268
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.178
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.87

$B_2O_3$	0.029
$SiO_2$	0.008
$Al_2O_3$ y $Fe_2O_3$ ( $R_2O_3$ )	0.022

El agua de mar que se emplea para obtener óxido de magnesio debe tener una composición constante, y además requiere de un control de impurezas que a continuación se mencionan:

Las impurezas de óxido de silicio ( $SiO_2$ ) y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) presentes en forma de arena suspendida ó partículas de fango o barro, se disminuyen hasta un nivel aceptable hidrotutando el agua. La contaminación producida por el  $Ca(HCO_3)_2$  puede ser removida por un tratamiento con ácido o precipitando el carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ). La contaminación de boro (15ppm) en el agua de mar es una impureza crítica en los ladrillos de óxido de magnesio de alta dureza, esta impureza se logra disminuir por un proceso basado en la volatilización: el óxido de boro ( $B_2O_3$ ) contaminante tiende a volatilizarse hasta cierto punto en las temperaturas durante la calcinación y se pueden obtener rangos de 0.1 a 0.2% de  $B_2O_3$  en el óxido de magnesio.

El grado de volatilización decrece con el incremento de la reacción  $CaO/SiO_2$  presente en el óxido de magnesio.

Una volatilización mayor del  $B_2O_3$  se puede obtener agregando álcali (Ej. Sosa Cáustica ) al óxido de magnesio antes de calcinar.

## ACIDO SULFURICO ( $H_2SO_4$ )

Es un líquido corrosivo, ligeramente amarillo y es el ácido mineral más importante.

Este ácido se emplea como medio acidificante por ser el ácido de más bajo costo, además de sus cualidades específicas como:

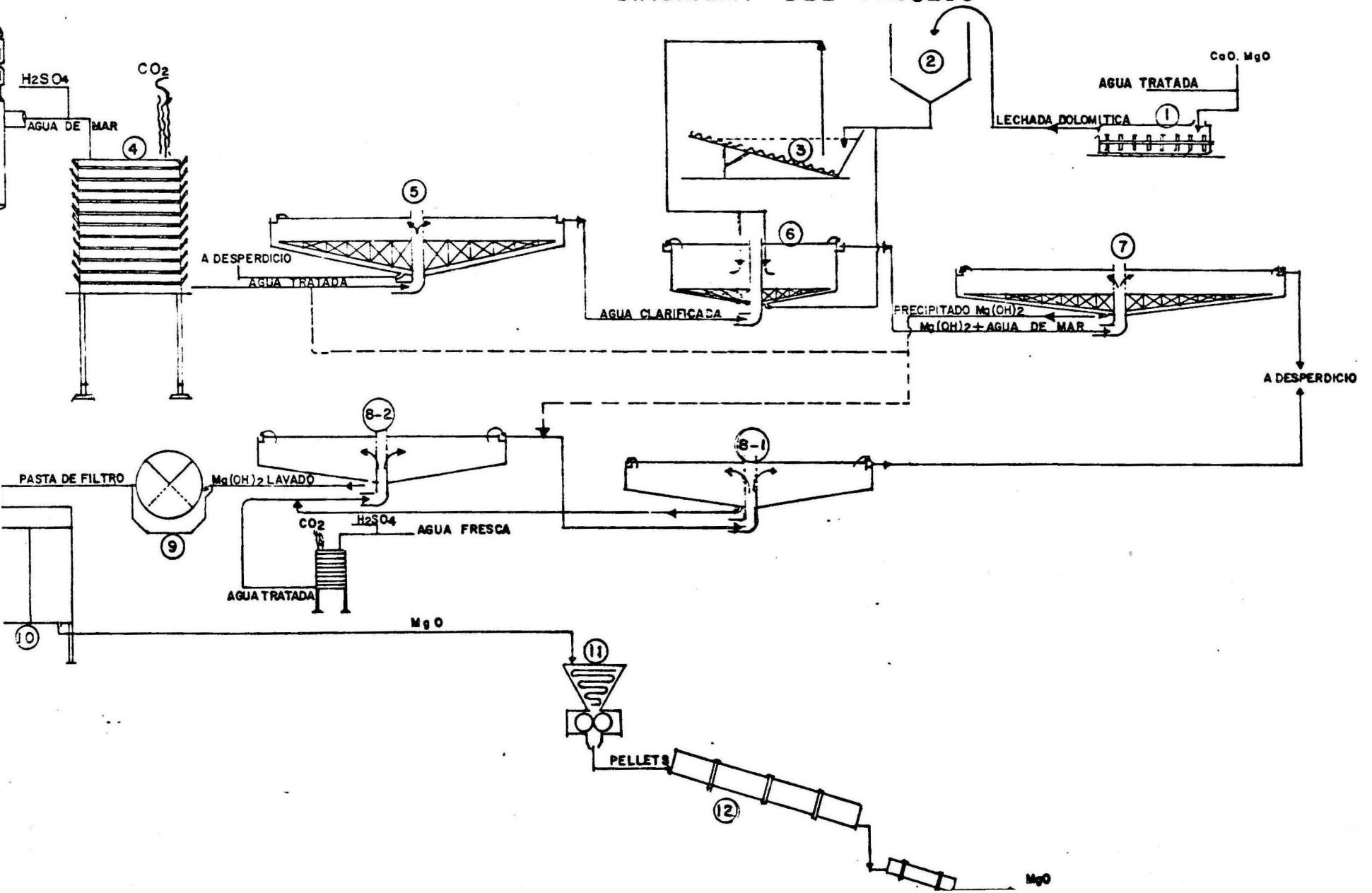
- 1) Neutralización de los álcalis.
- 2) Propiedades catalíticas.
- 3) Avidez por el agua.

Tiene como finalidad eliminar el bicarbonato de calcio contenido en el agua de mar y el agua de lavado.

La calidad del ácido empleado es de 70°Bé (98%).



# DIAGRAMA DEL PROCESO



## DIAGRAMA DEL PROCESO

En el Diagrama del Proceso los números indican:

1o. Hidratador.

2o. Tanque de Retención.

3o. Clasificador.

4o. Torre de Enfriamiento.

5o. Clarificador.

6o. Reactor.

7o. Tanque de Sedimentación.

8o. Tanque de Lavado.

9o. Filtro.

10o. Horno Vertical.

11o. Peletizadora.

12o. Horno Rotatorio.

## DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION

En este capítulo se describe el proceso de transformación de la materia prima desde que llega hasta que sale como producto terminado.

Para simplificar el proceso y comprenderlo con mayor claridad, se dividió en 8 pasos principales:

### 1o.- Recepción e Hidratación de la Cal.

Partiendo de que la cal dolomítica llegará a granel en vagones de ferrocarril del tipo cerrado, de donde es descargada a silos de almacenamiento por medio de un transportador neumático.

El transportador neumático es un sistema de combinación succión-presión, que consiste en un conducto o tubería en la que se mantiene una corriente de aire por la acción de un compresor, en el sistema succión un aspirador succiona la cal de los vagones através de un separador y colector de polvos, de donde sale a un transportador de tornillo sin fin que la distribuye en los silos de almacenamiento. En la parte baja de cada silo hay una descarga por donde la cal pasa al conducto del sistema presión, para ser transportada hasta el silo que alimenta al hidratador. La cal sale de este silo por un alimentador pesador para ser descargada en el hidratador o apagador que no es más que un simple tanque con ras-

trillos o paletas (1), donde se mezcla la cal con agua para formar una lechada dolomítica, que después es descargada a un tanque de retención (2) para que todo el óxido de magnesio que viene con la cal, precipite completamente como hidróxido de magnesio. De aquí sale a un clasificador (3) que separa los sólidos e impurezas, el cual está formado por un recipiente inclinado en cuyo interior hay una hélice o gusano que funciona de tal forma que el sedimento o piedras son descargadas en el extremo superior del recipiente y en el extremo inferior hay un vertedero por el cual la lechada dolomítica ya clasificada va a dar a un tanque de reacción, donde se mezcla con agua de mar para lograr la precipitación del magnesio presente en las sales del agua.

## 20.- Bombeo y Tratamiento del Agua de Mar.

El agua de mar es extraída por una bomba centrífuga através de un conducto que se extiende aproximadamente dos kilómetros mar adentro. El flujo de agua pasa por un proceso preliminar para eliminar moluscos, pescados y plantas marítimas. Al llegar a la planta se le añade una cantidad de ácido sulfúrico por medio de una bomba, para descomponer el bicarbonato de calcio presente. Posteriormente es mandada a una simple torre de enfriamiento de madera (4), donde es aereada para desprender el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), resultante de la reacción entre el ácido y el bicarbonato. En la descarga de la torre, un controlador de PH de acidez automático controla el ácido agregado. Al salir de la torre el agua de mar es neutralizada con una cantidad de hidróxido de magnesio

del sedimentador, que más adelante se describirá.

El neutralizar el agua de mar tiene dos finalidades: una es evitar la corrosión en la tubería y la otra, la más importante, es para remover los sólidos suspendidos.

### 3º.- Clarificación del agua de mar.

El agua de mar neutralizada es descargada por la parte central de un tanque clarificador (5) de forma circular y fondo cónico, de grandes dimensiones y poco profundo, hecho de hormigón con una columna central que soporta un mecanismo rotatorio, que se compone de dos armaduras o brazos radiales movidos por un motor situado en la columna. Los brazos están equipados con paletas que barren los sólidos sedimentados de agua de mar hacia una tolva central de descarga del fondo para ser enviados a desperdicio. Alrededor de la periferia del tanque se extiende un vertedero por donde el flujo superior de agua de mar clara, sale del tanque para pasar por gravedad al reactor.

### 4º.- Precipitación y lavado del hidróxido de magnesio.

En el reactor, que es un tanque equipado con agitadores tipo rejillas, se forma la lechada diluída de hidróxido de magnesio ( $Mg(OH)_2$ ), equivalente aproximadamente a 14 gr/lt de óxido de magnesio.

Esta lechada es descargada por un vertedero alrededor del reactor y enviada por gravedad a un tanque de asentamiento o sedimentador(7), donde se permite que el sólido se concentre.

Normalmente una pequeña cantidad de (1 a 10 ppm) un agente orgánico floculante (aquel basado en las poliacrilamidas) se agrega antes de que entre al tanque de asentamiento, para mejorar la velocidad a la cual se asienta el hidróxido de magnesio.

Los tanques de asentamiento son estructuras grandes con forma de platillo, con capacidades tan altas como 40 millones de litros y diámetros de 100 metros, están equipados con rastrillos pivoteados centralmente, los cuales forzan la lechada al centro y el agua de mar se derrama hacia una batea periférica y se devuelve al mar.

El lodo de hidróxido de magnesio en la parte del fondo del sedimentador es transferido por una bomba dentro del primero de dos tanques espesadores (8-1 y 8-2), que tienen rastrillos mecánicos. Los tanques son usados para lavar a contra-corriente con agua fresca (previamente tratada con  $H_2SO_4$ ) el hidróxido de magnesio, con el objeto de remover las impurezas solubles, tales como iones  $Ca^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^-$ ,  $Cl^-$  que van con el precipitado. Cada espesador tiene una bomba de diafragma para mover el lodo y bombas centrífugas que mandan el flujo superior de lavado de agua a contra-corriente al flujo de los lodos.

El lavado a contra-corriente consiste en bombear el precipitado del primer tanque al segundo, y al mismo tiempo el agua es bombeada del segundo tanque al primero y después es descargada al mar.

#### 5o.- Filtración del precipitado.

El lodo del hidróxido de magnesio ya lavado es mandado por una bomba a bancos de filtros de vacío de tambor rotatorios (9), para dar una pasta conteniendo aproximadamente 50% de sólidos (aprox.35% de MgO), después de filtrado la pasta pasa a una banda transportadora que va a dar al alimentador de un horno vertical de múltiples soleras (10).

#### 6o.- Calcinación y peletización del hidróxido de magnesio.

En el horno vertical la pasta de hidróxido de magnesio se calcina ligeramente a una temperatura de rango entre 750° y 950°C para producir un polvo de óxido químicamente activo (cáustico) que tiene diversas aplicaciones diferentes a las del uso refractario.

El horno vertical está formado por 12 soleras anulares montadas unas sobre otras y en cada una de las soleras hay brazos con rastillos, movidos por un eje central común. La pasta de hidróxido de magnesio entra por la parte superior y los brazos la van moviendo hacia el centro de la solera, por donde cae a la siguiente. En ese punto es

empujada hasta la periferia, cayendo a la solera siguiente y así sucesivamente, hasta llegar a la parte inferior del horno. Los gases producto de la combustión contienen una considerable cantidad de polvo de óxido de magnesio, por lo que son pasados a través de un filtro para recuperarlo.

El óxido de magnesio que sale del horno es descargado por un transportador de tornillo en un sistema de peletización (11), donde se sujeta a presiones de 44,000 lb/plg<sup>2</sup>, para dar pellets con forma de almendra o barritas, con una densidad entre 1.9 y 2.1 gr/cm<sup>3</sup> y un tamaño de 3.2 cm X 2 cm. X 1.2 cm.

La calidad química del óxido de magnesio puede ajustarse agregando agentes (como alúmina, sílica y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) antes de su peletización.

#### 7o.- Calcinación a muerte del óxido de magnesio.

Los pellets formados son descargados por una banda transportadora que los lleva a la tolva de un alimentador de tornillo sin fin suspendido que los introduce a un horno rotatorio (12), pasando antes por un regulador automático. Este horno trabaja a una temperatura cerca de 1900°C, produciendo un óxido inerte de alta densidad y apropiado para uso refractario.

El horno puede tener de 2 a 6 metros de diámetro y 25 a 150 metros de largo, dependiendo de la carga. Está constituido por un cilin-



dro de acero revestido interiormente de ladrillo refractario, que sirve para impedir el calentamiento excesivo de la envoltura de acero. Su movimiento de rotación es muy lento, aproximadamente 2 a 4 RPM y está montado de tal manera que el eje forma con la horizontal un ángulo muy pequeño ( $\tan \alpha = 0.40$  a  $0.60$ ), descansa en una serie de soportes de los cuales algunos son motrices, que llevan un motor con un reductor de velocidad que engrana con una corona dentada que rodea el horno.

Tres son las zonas en que se divide el horno: 1) Zona de Desección: donde se elimina la humedad que puedan traer los pellets; 2) Zona Central: que es la más extensa y donde el pellet de MgO es calentado hasta la temperatura de sinterizado que es aproximadamente  $1900^{\circ}\text{C}$ ; 3) Zona de tratamiento final: en la cual el MgO es recalentado a cierta temperatura.

Los gases de combustión salen del horno por el tiro de una chimenea en la parte superior, donde está un ventilador ó abanico que dirige los gases que contienen polvo de óxido de magnesio a una cámara de polvo por gravedad.

#### 80.- Enfriamiento y Almacenamiento del Oxido de Magnesio.

El óxido de magnesio calcinado entra a un enfriador que está comunicado directamente al horno, este enfriador es un cilindro con un

## PROPIEDADES DEL OXIDO DE MAGNESIO GRADO REFRACTARIO

Las características principales que hacen del óxido de magnesio un excelente material refractario son su elevado punto de fusión (2800°C) y su resistencia al ataque químico y físico de la escoria.

Las magnesias de grado refractario deben tener una alta densidad para maximizar la resistencia a la escoria y las propiedades de resistencia a altas temperaturas y esto depende de varios factores, pero los más importantes se listan enseguida:

1) Se deben reducir las impurezas de óxido de boro ( $B_2O_3$ ) en un porcentaje menor a 0.5%.

2) Es necesario controlar el óxido de calcio (CaO) presente en la magnesia calcinada, porque este se transforma a solución en la fase de MgO.

3) Calcinación y Peletización: la temperatura a la cual el hidróxido de magnesio se calcina antes de la peletización del óxido de magnesio de agua de mar, influye en la densidad. La temperatura de calcinación óptima para maximizar la densidad del óxido de magnesio depende de la pureza química y de las características físicas del precipitado de  $Mg(OH)_2$ . Generalmente se utilizan temperaturas en el rango de 800° a 1000°C.

El óxido de magnesio obtenido en este paso es un polvo muy fino y muy reactivo, de apariencia y propiedades similares a la cal viva.

En el proceso de peletización es importante que la presión esté en el rango de 25,000 lb/plg<sup>2</sup> a 50,000 lb/plg<sup>2</sup>, para maximizar la densidad del pellet no calcinado.

4) Control de temperatura de "Calcinación a Muerte": conforme la temperatura de calcinación aumenta, la densidad también aumenta, pero arriba de los 1800°C aproximadamente el aumento en la densidad con la temperatura es pequeño.

Esta calcinación se llama "Calcinación a Muerte" porque elimina la reactividad del cáustico, formando así un óxido de magnesio inerte y de alta densidad apropiado para el uso refractario.

Una buena calidad de óxido de magnesio de grado refractario debe tener una composición de:

MgO - 94.7%

CaO - 1.5%

SiO<sub>2</sub> - 3%

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0.2%

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0.2%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0.40%

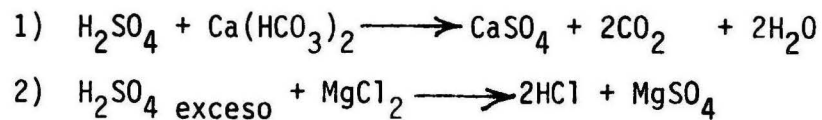
DENSIDAD - 3.3 gr/ cm<sup>3</sup>.

BALANCES DE MATERIA.

En esta parte del estudio se da a conocer la cantidad y composición de todas las corrientes a través del equipo.

- 1.- BALANCE PARA DETERMINAR LA CANTIDAD NECESARIA DE ACIDO SULFURICO PARA ELIMINAR EL BICARBONATO DE CALCIO DEL AGUA DE MAR.

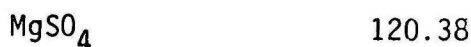
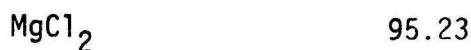
Reacción:



Datos:

- Densidad del agua de mar = 1.024 Kg/lt
- Composición del agua de mar (ver Materias Primas)
- Acido sulfúrico al 98%
- Debido a que la concentración del agua de mar no siempre es constante, se estableció un 5% de exceso de ácido sulfúrico, que reacciona con el cloruro de magnesio del agua de mar.

Compuestos	Pm (Kg/mol Kg)
$\text{H}_2\text{SO}_4$	98
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	162
$\text{CaSO}_4$	136.14
$\text{CO}_2$	44
$\text{H}_2\text{O}$	18



Base de cálculo = 10,000 Lts. de agua de mar.

a) Acido Necesario.

$$\frac{98 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4}{162 \text{ Kg } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} \times 1.78 \text{ Kg } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 1.0768 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 \quad 100\%$$

$$\text{Acido sulfúrico al } 98\% = \frac{1.0768}{0.98} = 1.0987 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 \quad 98\%$$

b) Exceso de Acido.

$$1.0987 \times .05 = .0549 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4$$

c) Acido Total.

$$1.0987 + .0549 = 1.1537 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 \quad 98\%$$

d) Productos Formados en Reacción 1.

$$\frac{136.14 \text{ Kg } \text{CaSO}_4}{162 \text{ Kg } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} \times 1.78 \text{ Kg } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 1.496 \text{ Kg } \text{CaSO}_4$$

$$\frac{88 \text{ Kg } \text{CO}_2}{162 \text{ Kg } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2} \times 1.78 \text{ Kg } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 0.967 \text{ Kg } \text{CO}_2$$

e) Agua que viene con el Acido Total.

$$(1.1537 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 \quad 98\%) (.02) = 0.02307 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}$$

f) Productos Formados con el Exceso de Acido (Reacción 2).

$$\frac{95.23 \text{ Kg } \text{MgSO}_4}{98 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4} \times (.05) (1.0768 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 \quad 100\%) = 0.052 \text{ Kg } \text{MgCl}_2$$

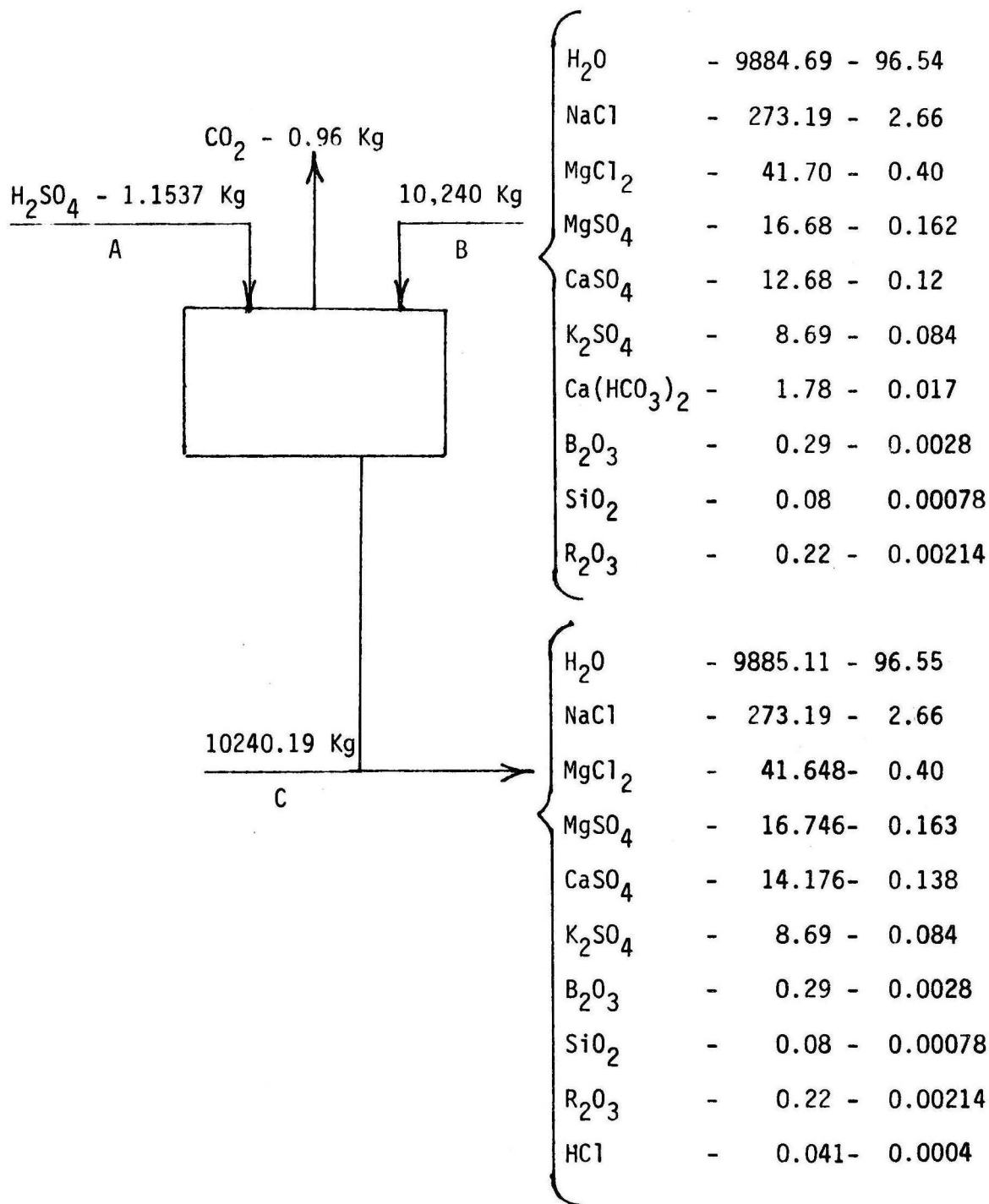
Los 0.052 Kg de  $\text{MgCl}_2$  reaccionan con el exceso de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para dar:

$$\frac{120.38 \text{ Kg MgSO}_4}{98 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4} \times (.05) (1.0768 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4 \text{ 100\%}) = 0.0661 \text{ Kg MgSO}_4$$

$$\frac{73 \text{ Kg HCl}}{98 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4} \times (.05) (1.0768 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4 \text{ 100\%}) = 0.041 \text{ Kg HCl}$$

Datos Obtenidos: 10,000 Lts de agua de mar requiere de 1.1537 Kg de ácido sulfúrico al 98% para eliminar el  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  de agua y obtener 1.496 Kg de  $\text{CaSO}_4$ , 0.967 Kg de  $\text{CO}_2$  y 0.395 Kg  $\text{H}_2\text{O}$ .

El exceso de ácido sulfúrico (0.0549 Kg) reacciona con 0.052 Kg de  $\text{MgCl}_2$  para dar 0.661 Kg de  $\text{MgSO}_4$  y 0.041 Kg de HCl.





2.- BALANCE PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE HIDROXIDO DE  
MAGNESIO REQUERIDO PARA NEUTRALIZAR EL AGUA DE MAR TRATADA  
CON ACIDO SULFURICO

Reacción:



Compuestos	PM(Kg/mol Kg)
$\text{Mg(OH)}_2$	58.34
HCl	36.5
$\text{MgCl}_2$	95.23
$\text{H}_2\text{O}$	18

Datos:

Se agrega 5% de exceso de hidróxido de magnesio

BASE = FLUJO C

a) Hidróxido de magnesio necesario para neutralizar.

$$\frac{58.34 \text{ Kg Mg(OH)}_2}{73 \text{ Kg HCl}} \times 0.041 \text{ Kg HCl} = 0.032 \text{ Kg Mg(OH)}_2$$

b) Exceso de hidróxido de magnesio.

$$(0.032 \text{ Kg})(0.05) = 0.0015 \text{ Kg Mg(OH)}_2$$

c) Hidróxido de magnesio total.

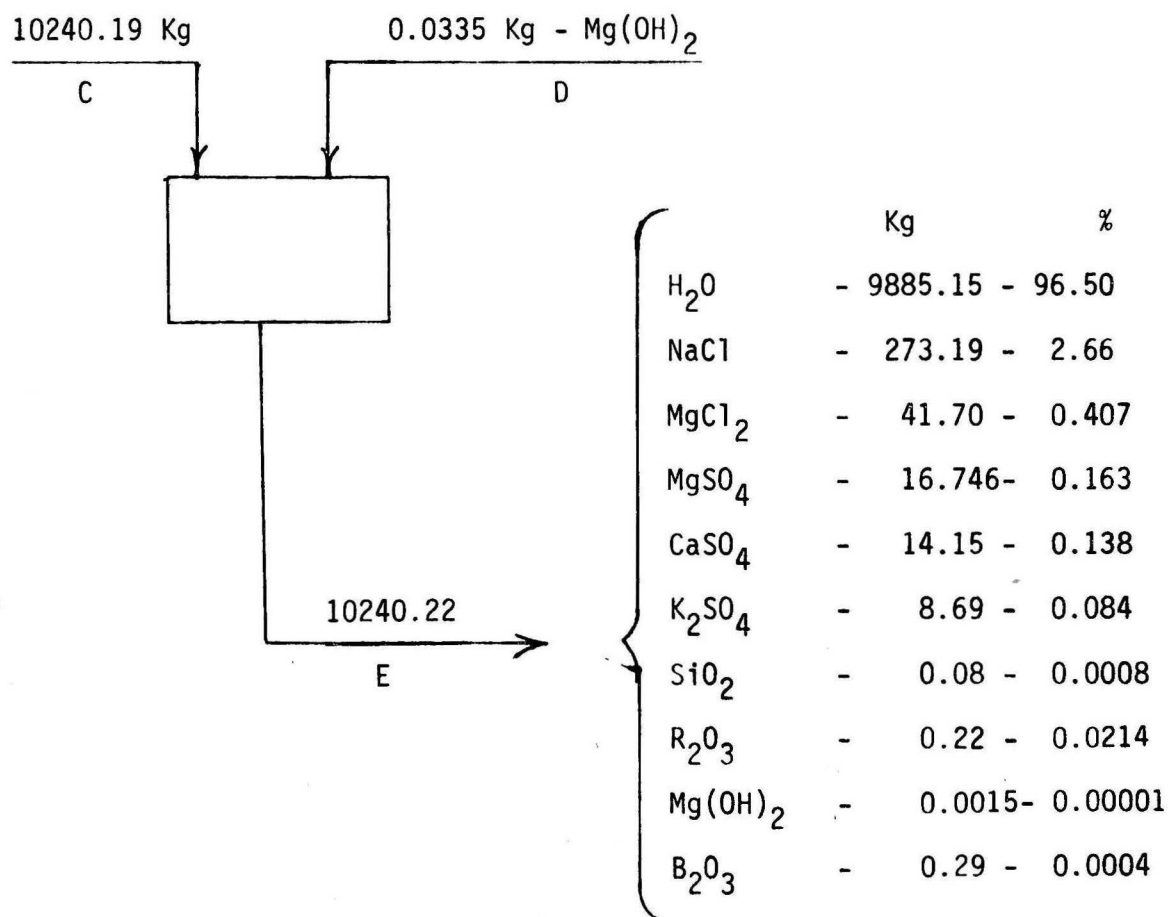
$$0.032 \text{ Kg} + 0.0015 \text{ Kg} = 0.0335 \text{ Kg Mg(OH)}_2$$

d) Productos formados en la reacción.

$$\frac{95.23 \text{ Kg MgCl}_2}{73 \text{ Kg HCl}} \times 0.041 \text{ Kg HCl} = 0.052 \text{ Kg MgCl}_2$$

$$\frac{36 \text{ Kg H}_2\text{O}}{73 \text{ Kg HCl}} \times 0.041 \text{ Kg HCl} = 0.0202 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

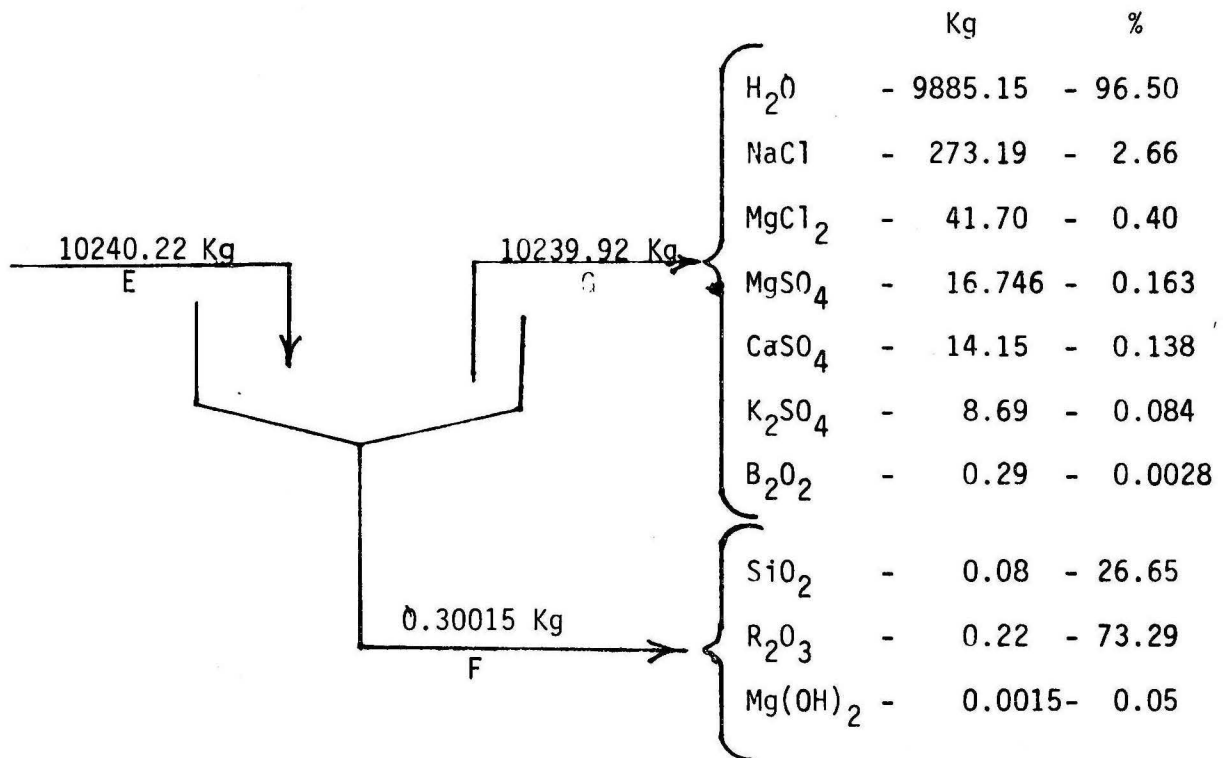
Datos obtenidos: El flujo C requiere 0.032 Kg de  $\text{Mg(OH)}_2$  para ser neutralizado y se obtienen 0.052 Kg de  $\text{MgCl}_2$  y 0.0202 Kg de  $\text{H}_2\text{O}$ . El exceso de  $\text{Mg(OH)}_2$  es 0.0015 Kg.



## 3.- BALANCE EN EL CLARIFICADOR (5)

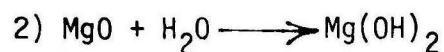
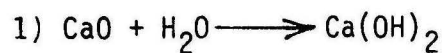
BASE = FLUJO E

Datos obtenidos: En el clarificador precipitan los compuestos insolubles ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$ ) que vienen en el flujo E. El precipitado coloidal del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  se considera que precipita completamente.



## 4.- BALANCE EN EL HIDRATADOR (1)

Reacción:



Compuestos	PM(Kg/mol Kg)
CaO	56
MgO	40.32
Ca(OH) <sub>2</sub>	74.10
Mg(OH) <sub>2</sub>	58.34
H <sub>2</sub> O	18

Datos:

En este balance se cambió la base con el fin de poder determinar el balance en el reactor.

BASE = 100 Kg CAL (MgO 38%, CaO 62%)

$$1) \frac{74.10 \text{ Kg } (\text{Ca}(\text{OH})_2)}{56 \text{ Kg CaO}} \times (0.62)(100) \text{ Kg CaO} = 82.03 \text{ Kg } (\text{Ca}(\text{OH})_2)$$

$$\frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{56 \text{ Kg CaO}} \times (0.62)(100) \text{ Kg CaO} = 19.923 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

$$2) \frac{58.34 \text{ Kg Mg}(\text{OH})_2}{40.32 \text{ Kg MgO}} \times (0.38)(100) \text{ Kg MgO} = 54.1 \text{ Kg Mg}(\text{OH})_2$$

$$\frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{40.32 \text{ Kg MgO}} \times (0.38)(100) \text{ Kg MgO} = 16.965 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

a) Agua necesaria estequiométricamente en ambas reacciones.

$$19.923 \text{ Kg} + 16.965 = 36.885 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

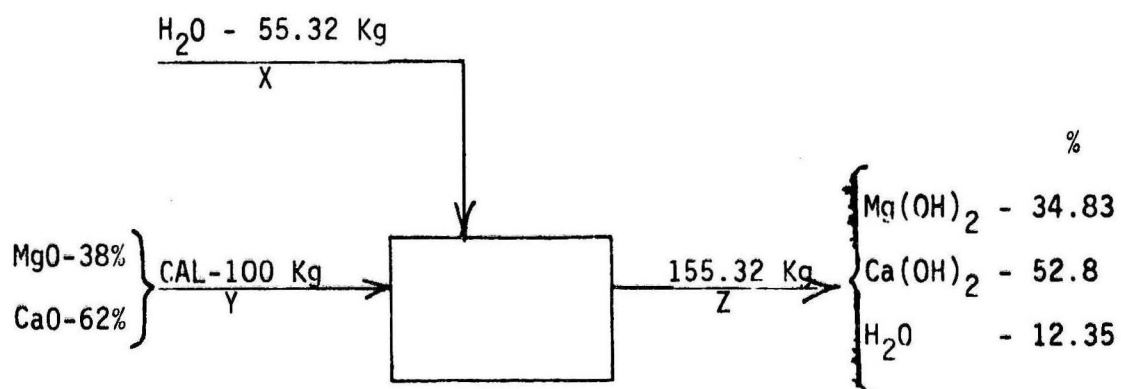
b) Se agrega un 50% de exceso de agua para formar la lechada dolomítica.

$$36.885 \text{ Kg} \times 0.5 = 18.44 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

c) Agua total.

$$36.885 \text{ Kg} + 18.44 \text{ Kg} = 55.32 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

Datos obtenidos: 100 Kg de cal requieren de 55.32 Kg H<sub>2</sub>O para formar una lechada diluída con 54.1 de Mg(OH)<sub>2</sub>, 82.03 Kg Ca(OH)<sub>2</sub> y 18.44 Kg H<sub>2</sub>O.



$$X + Y = 100\% \text{ de Alimentación}$$

$$X = 35.61\% \text{ de la Alimentación}$$

$$Y = 64.39\% \text{ de la Alimentación}$$

## 5.- BALANCE EN EL REACTOR (6)

Reacción:



Compuestos	PM(Kg/mol Kg)
$\text{Ca(OH)}_2$	74.10
$\text{MgCl}_2$	95.23
$\text{MgSO}_4$	120.38
$\text{CaCl}_2$	110.95
$\text{CaSO}_4$	136.14
$\text{Mg(OH)}_2$	58.34

Datos:

El  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{MgSO}_4$  del flujo G reaccionan con el  $\text{Ca(OH)}_2$  de la lechada dolomítica (Flujo Z) para formar un precipitado coloidal de  $\text{Mg(OH)}_2$ .

a) Hidróxido de calcio necesario para precipitar el  $\text{MgCl}_2$  y el  $\text{MgSO}_4$

$$\frac{74.10 \text{ Kg Ca(OH)}_2}{120.38 \text{ Kg MgSO}_4} \times 16.746 \text{ Kg MgSO}_4 = 10.30 \text{ Kg}$$

$$\frac{74.10 \text{ Kg Ca(OH)}_2}{95.23 \text{ Kg MgCl}_2} \times 41.70 \text{ Kg MgCl}_2 = 32.44 \text{ Kg}$$

---


$$\text{Total} = 42.74 \text{ Kg Ca(OH)}_2$$

b) Productos obtenidos:

$$\frac{110.089 \text{ Kg CaCl}_2}{95.23 \text{ Kg MgCl}_2} \times 41.70 \text{ Kg MgCl}_2 = 48.19 \text{ Kg CaCl}_2$$

$$\frac{136.1 \text{ Kg CaSO}_4}{120.38 \text{ Kg MgSO}_4} \times 16.746 \text{ Kg MgSO}_4 = 18.93 \text{ Kg CaSO}_4$$

$$\frac{58.34 \text{ Kg Mg(OH)}_2}{120.38 \text{ Kg MgSO}_4} \times 16.746 \text{ Kg MgSO}_4 = 8.11 \text{ Kg Mg(OH)}_2$$

$$\frac{58.34 \text{ Kg Mg(OH)}_2}{95.23 \text{ Kg MgCl}_2} \times 41.7 \text{ Kg MgCl}_2 = 25.56 \text{ Kg Mg(OH)}_2$$

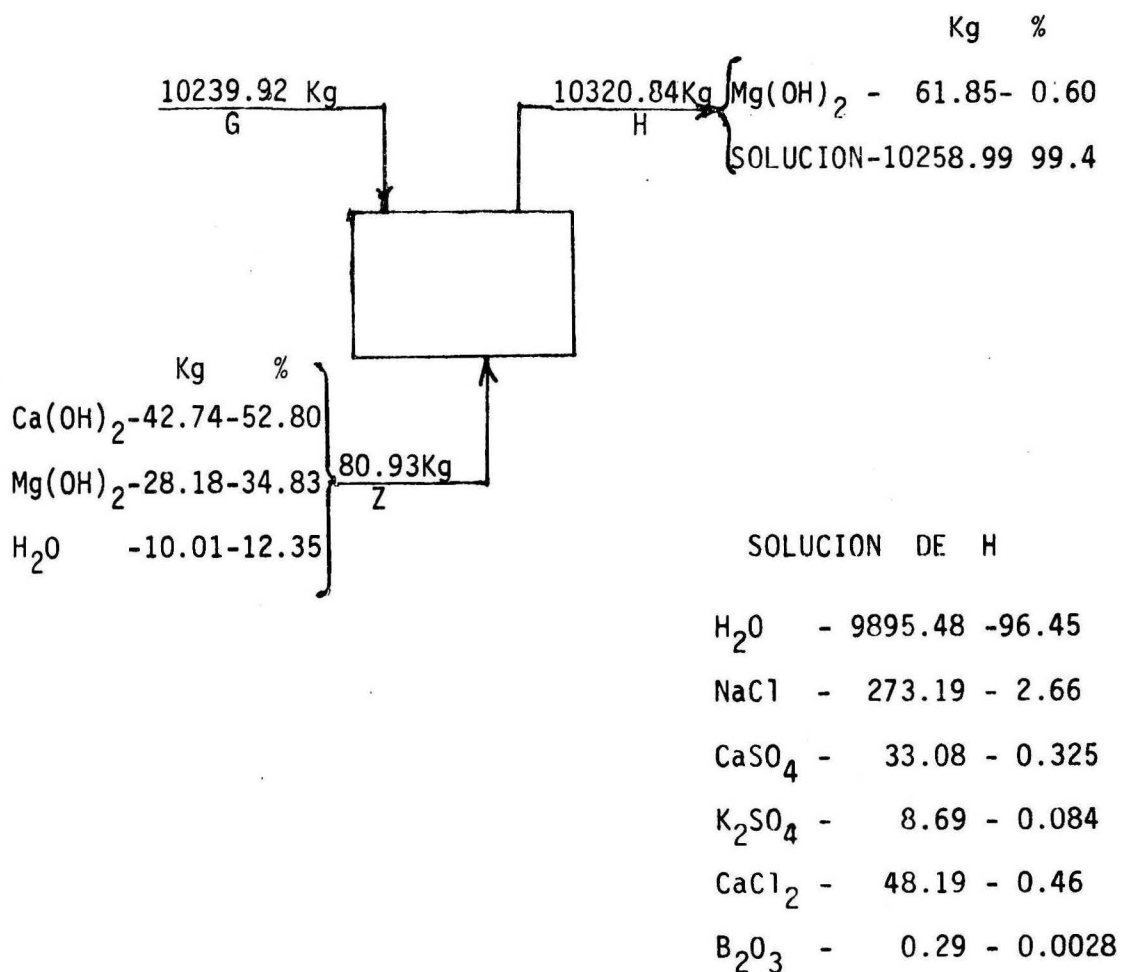
c) Kilogramos de lechada dolomítica (Flujo Z) necesarios para precipitar el  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{MgSO}_4$  del flujo G:

Del balance en el hidratador se sabe que el flujo Z tiene un 52.8% de  $\text{Ca(OH)}_2$ , 34.83% de  $\text{Mg(OH)}_2$ , y 18.44% de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Por lo tanto el flujo Z es igual:

$$\frac{42.74 \text{ Kg Ca(OH)}_2 \text{ (Inciso a)}}{.528} = 80.93 \text{ Kg lechada dolomítica}$$

Datos obtenidos: El flujo G requiere de 80.9 Kg de lechada dolomítica para precipitar todas sus sales de magnesio y obtener 61.85% Kg de  $\text{Mg(OH)}_2$ , 48.19 Kg de  $\text{CaCl}_2$  y 18.93 Kg de  $\text{CaSO}_4$ .

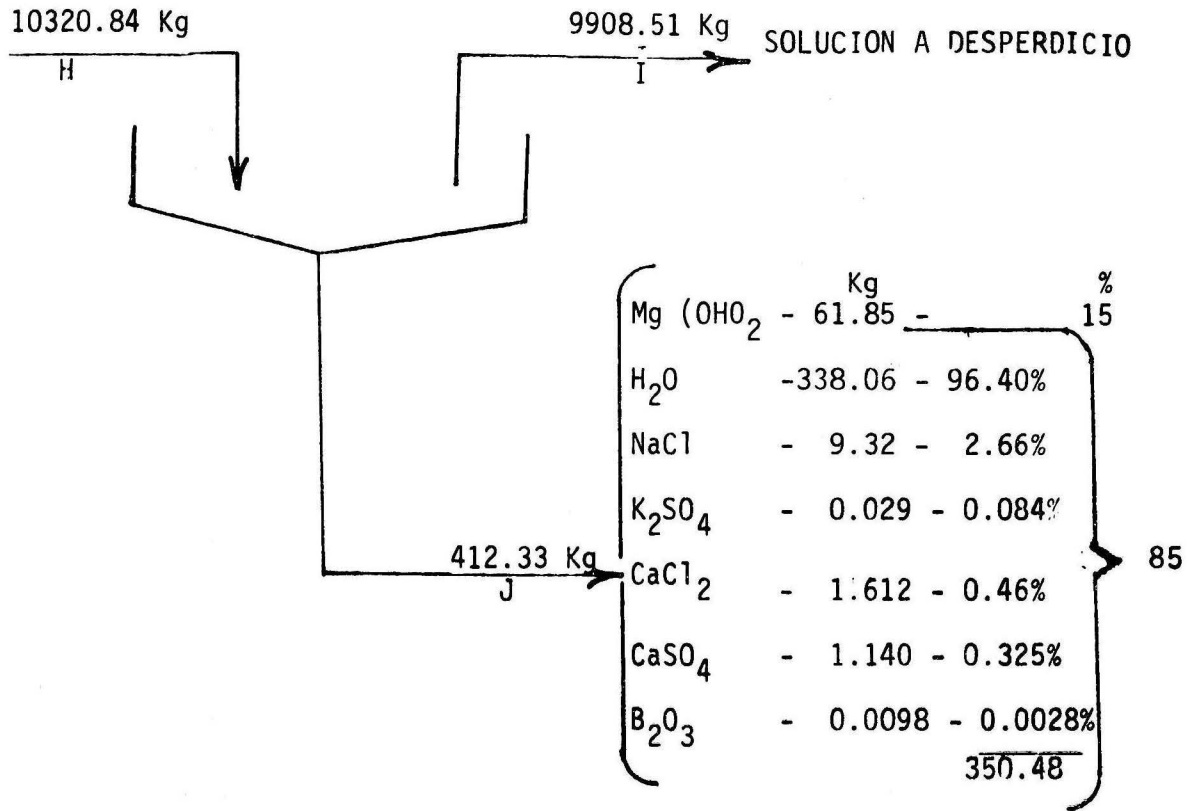


60.- BALANCE EN EL SEDIMENTADOR

BASE = FLUJO H

$$\text{Flujo } J^* = \frac{61.85}{0.15} = 412.33 \text{ Kg}$$





Datos Obtenidos: El mg (OH)<sub>2</sub> del flujo H se sedimenta.

\* Para calcular este balance se consideró que el flujo J en el fondo del sedimentador tiene 15% sólidos y 85% solución (Ref. 3 )

7o.- BALANCE EN LOS TANQUES DE LAVADO ( 8 -1 y 8 -2)

DATOS:

Para calcular el agua de lavado se tomó como base el porcentaje de Na Cl que tiene la solución de J, puesto que al bajar la concentración del que está en mayor proporción las demás impurezas se eliminan.

- El flujo M tiene un 15% de sólidos y 85% solución (Ref. 3)

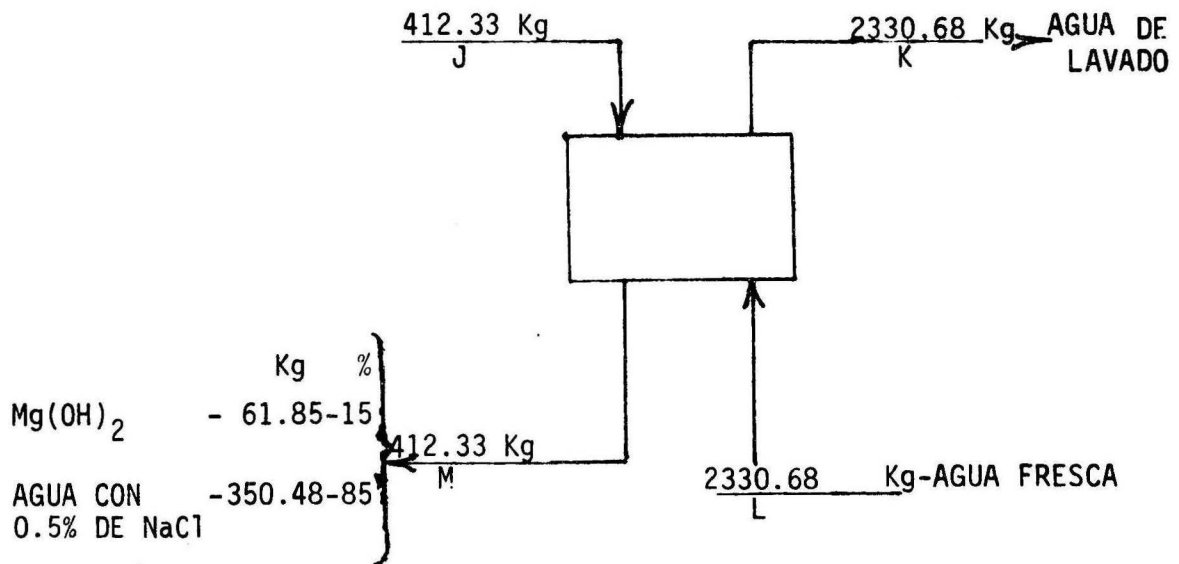
a) Agua requerida para reducir el NaCl de 2.66% a 0.5%.

$$(350.48)(.0266) \text{ Kg NaCl} = (x)(.005) \text{ Kg NaCl}$$

$$x = \frac{(350.48)(.0266)}{.005} = 1864.55 \text{ Kg de H}_2\text{O}$$

Debido a que el coeficiente de retención del precipitado de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  no se encuentra reportado en libros, se consideró un 25% de exceso de agua de lavado, para obtener un dato más exacto sobre el agua necesaria.

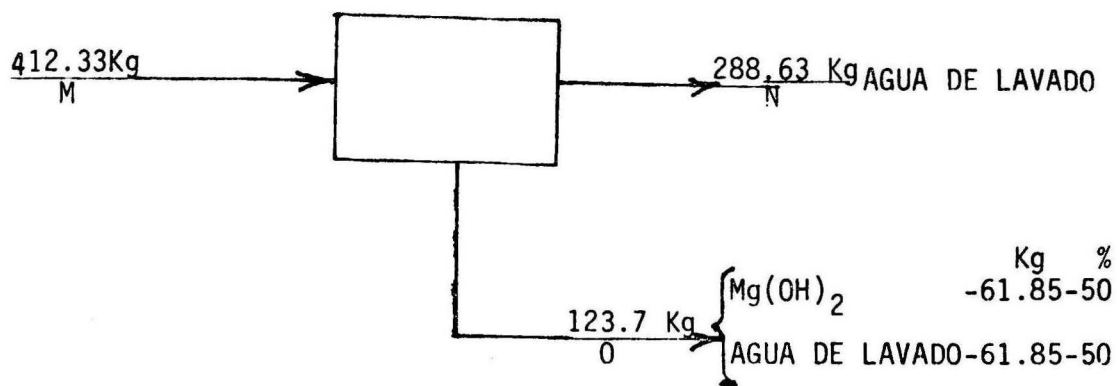
$$1864.55 \text{ Kg} + (1864.55 \text{ Kg})(0.25) = 2330.68 \text{ Kg H}_2\text{O de lavado}$$



8o.- BALANCE EN EL FILTRO (9)

BASE = FLUJO M

$$\text{Flujo D} = \frac{61.85 \text{ Kg Mg}(\text{OH})_2}{0.50 * } = 123.7 \text{ Kg}$$



\* Para determinar los kilogramos de la pasta que sale del filtro (Flujo L) se consideró un 50% agua de lavado y un 50% de sólido (Mg(OH)<sub>2</sub>) (Ref. 3).

### 9a. - BALANCE EN EL HORNO VERTICAL

Reacción:



Compuesto	PM(Kg/mol Kg)
MgO	40.32
Mg(OH) <sub>2</sub>	58.34
H <sub>2</sub> O	18

BASE ≅ FLUJO 0

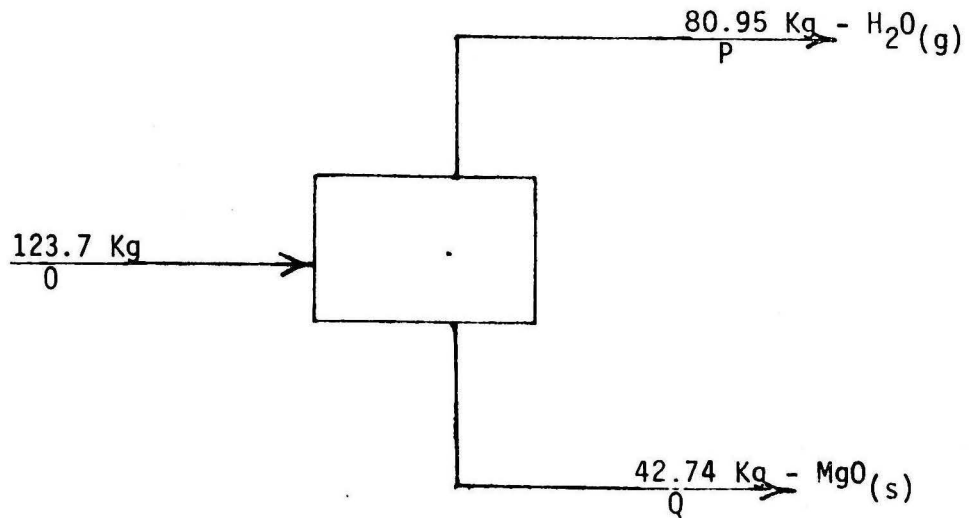
a) Productos de la reacción:

$$\frac{40.32 \text{ Kg MgO}}{58.34 \text{ Kg Mg(OH)}_2} \times 61.85 \text{ Kg Mg(OH)}_2 = 42.74 \text{ Kg MgO}$$

$$\frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{58.34 \text{ Kg Mg(OH)}_2} \times 61.85 \text{ Kg Mg(OH)}_2 = 19.1 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

b) Agua total

$$19.1 \text{ Kg H}_2\text{O}_{\text{Reacción}} + 61.85 \text{ Kg H}_2\text{O}_{\text{de la pasta}} = 80.95 \text{ Kg H}_2\text{O}$$



9b - BALANCE EN EL HORNO ROTATORIO (12)

No hay reacción

BASE = FLUJO Q



10o.- CANTIDAD DE ACIDO SULFURICO PARA ELIMINAR EL  
Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> DEL AGUA DE LAVADO.

Para calcular este balance se tomó un promedio de 250 ppm  
de Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> en el agua.

Reacción:



Compuesto	PM
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	162

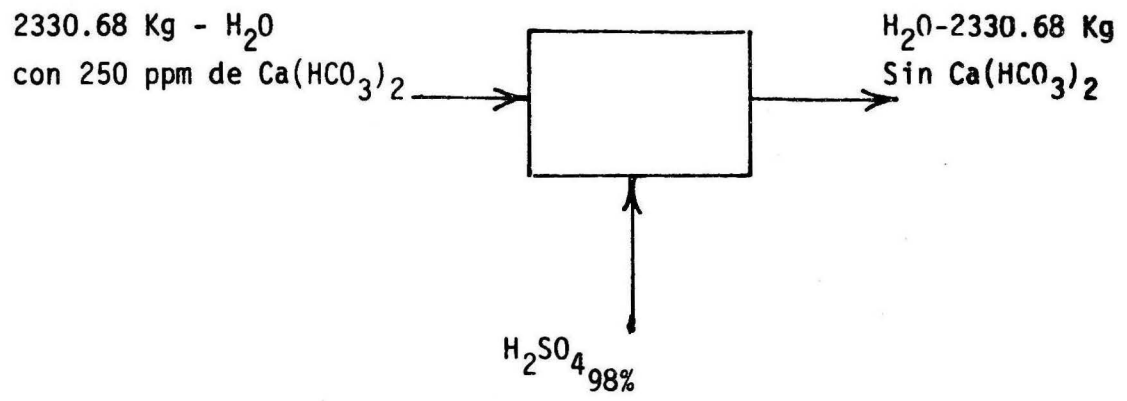
BASE = 2330.68 Kg H<sub>2</sub>O (Flujo L)

$$\frac{2330.68 \text{ Kg H}_2\text{O}}{1000,000 \text{ Kg} - 250 \text{ Kg Ca(HCO}_3)_2} \times \frac{250 \text{ Kg Ca(HCO}_3)_2}{\text{Kg de H}_2\text{O}} = 0.5828 \text{ Kg de Ca(HCO}_3)_2$$

$$\frac{98 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4}{162 \text{ Kg Ca(HCO}_3)_2} \times 0.5828 \text{ Kg de Ca(HCO}_3)_2 = 0.3526 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4_{100\%}$$

$$\text{Acido Sulfúrico al } 98\% = \frac{0.3526 \text{ Kg}}{.98} = 0.359 \text{ Kg}$$

Datos obtenidos: 2330.68 Kg de agua de lavado requieren  
de 0.359Kg. de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sub>98%</sub> para eliminar todo el Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> presente.



BALANCES DE ENERGIA.

## HORNO ROTATORIO (12)

## I.- COMBUSTIBLE:

a) Composición del combustible.

Se usará gas natural cuya composición es:

CH<sub>4</sub> 96.49% en volumenC<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 2.60% en volumenCO<sub>2</sub> 0.46% en volumenN<sub>2</sub> 0.30% en volumenGrav. esp. = (Gas 60°F/H<sub>2</sub>O 60°F) = 0.57

b) Peso molecular del gas:

BASE= 100 molKg de gas

Componente	%V	PM	PM(% molKg) = Kg
CH <sub>4</sub>	96.49	16	1543.84
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.60	30	78.00
CO <sub>2</sub>	0.46	44	20.20
N <sub>2</sub>	0.30	28	8.40
TOTAL=			1650.44 Kg

El peso molecular promedio del gas =  $\frac{1650.44 \text{ Kg}}{100 \text{ molKg}} = 16.5044 \text{ Kg/molKg}$

c) Poder calorífico del gas:

BASE= 1 pie<sup>3</sup>De CH<sub>4</sub> — (21520Btu/lb)(0.04241lb/pie<sup>3</sup>)(0.9649pie<sup>3</sup>) = 880.32 BtuDe C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> — (20432Btu/lb)(0.08031lb/pie<sup>3</sup>)(0.026pie<sup>3</sup>) = 42.65 Btu

TOTAL= 923.0779 Btu

(923.0779 Btu/pie<sup>3</sup>)(0.252 Kcal/Btu)(35.31 pie<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) =



$$8,213.83 \text{ Kcal/M}^3$$

d) Cálculos para el combustible

BASE = 1 mol Kg combustible

Reacciones:



$$\text{mol Kg de O}_2 \text{ necesarios} = \frac{(.9649)(2)}{(1)} + \frac{(2.6)(3.5)}{1} = 2.0208$$

Para fines prácticos se considera el aire compuesto por 21% de  $\text{O}_2$  y 79% de  $\text{N}_2$ .

$$\text{mol Kg de Aire necesarios} = 2.028 \text{ mol Kg O}_2 \times \frac{1 \text{ mol Kg aire}}{0.21 \text{ mol Kg O}_2} = 9.6223$$

Considerando un 15% de aire en exceso recomendado en (Ref. 5).

$$\text{Aire} = (9.6223)(1.15) = 11.0656 \text{ mol Kg Aire}$$

Análisis de los Gases de Combustión:

$\text{O}_2$  exceso

$$(11.0656 - 9.6223) \text{ mol Kg aire} \times \frac{0.21 \text{ mol Kg O}_2}{1 \text{ mol Kg aire}} = 0.3032 \text{ mol Kg de O}_2$$

$\text{N}_2$  total

$$11.056 \text{ mol Kg aire} \times \frac{0.79 \text{ mol Kg N}_2}{1 \text{ mol Kg aire}} = 8.7423 + .003 = 8.7453 \text{ mol Kg N}_2$$

$\text{CO}_2$  total

$$\frac{(0.9649)(1)}{(1)} + \frac{(2)(.026)}{(1)} + .0046 = 1.0215 \text{ mol Kg CO}_2$$

H<sub>2</sub>O

$$(0.9649)(2) + \frac{(3)(.026)}{(1)} = 2.0078 \text{ mol Kg H}_2\text{O}$$

## Condensado de Gases de Combustión.

O<sub>2</sub>            0.3032 mol KgN<sub>2</sub>            8.7452 mol KgCO<sub>2</sub>          1.0215 mol KgH<sub>2</sub>O          2.0078 mol Kg

## II.- BALANCE TERMICO DEL SISTEMA

El requerimiento térmico del sistema será la suma de:

- 1.- Calor de calcinación.
- 2.- Calor perdido en los gases de combustión.
- 3.- Calor perdido en el MgO que sale del horno.
- 4.- Calor perdido por radiación y conducción-convección.

BASE = 1 Kg de MgO

Datos:

Temperatura de calcinación = 1600°C

Temperatura de los gases de chimenea = 600°C

Temperatura de salida del MgO = 150°C

Temperatura media de la corasa = 400°C

Capacidad del sistema = 100 Ton/día

## 1.- CALOR DE CALCINACION:

MgO

$$T_2 = 1600^\circ\text{C} = 1873^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K}$$

$$C_p = 10.86 + 0.001197T - 2.087 \times 10^{-5}T^{-2} \quad (\text{Kcal/molKg } ^\circ\text{K}) \text{ REF 2}$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 10.86 + 0.001197T - 2.087 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$= 10.86T + \frac{0.001197T^2}{2} - \frac{2.087 \times 10^{-5}T^{-1}}{-1} \Bigg|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H = 10.86(1873-298) + \frac{0.001197}{2} (1873^2 - 298^2) + 2.087 \times 10^{-5} (1873^{-1} - 298^{-1})$$

$$\Delta H = 18,562.05 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_1 = (0.025 \text{ molKg})(18,562.05 \text{ Kcal/molKg}) = 464.05 \text{ Kcal/Kg de MgO}$$

## 2.- CALOR PERDIDO EN LOS GASES DE CHIMENEA

Se calculó en base al condensado del apartado I, inciso

(d), y los calores específicos medios a  $T^{\circ}\text{ref} = 77^\circ\text{F} = 25^\circ\text{C}$ .

$$Q = MC_{pm} dT \quad C_{pm} (\text{Kcal/molKg } ^\circ\text{C}) \text{ Ref 1} \quad \begin{matrix} T_2 = 600^\circ\text{C} \\ T_1 = 25^\circ\text{C} \end{matrix}$$

$$Q_{\text{CO}_2} = (1.0215 \text{ molKg})(11 \text{ Kcal/molKg } ^\circ\text{C})(600-25)^\circ\text{C} = 6,460.98 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{O}_2} = (0.3032 \text{ molKg})(7.65 \text{ Kcal/molKg } ^\circ\text{C})(600-25)^\circ\text{C} = 1,333.70 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{N}_2} = (8.7423 \text{ molKg})(7.25 \text{ Kcal/molKg } ^\circ\text{C})(600-25)^\circ\text{C} = 36,444.46 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = (2.0078 \text{ molKg})(8.7 \text{ Kcal/molKg } ^\circ\text{C})(600-25)^\circ\text{C} = 10,044.02 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}_{\text{evap}}} = \lambda M = (2.0078 \text{ molKg})(9717 \text{ Kcal/molKg}) = \underline{19,509.80 \text{ Kcal}}$$

$$Q_2 = 73,782.961 \text{ Kcal}$$

$$73,782.961 \frac{\text{Kcal}}{\text{molKg comb}} \times \frac{1 \text{ molKg comb}}{16.504 \text{ Kg}} \times \frac{0.69 \text{ Kg}}{\text{m}^3} = 3,085.13 \text{ Kcal/m}^3$$

$$\text{Densidad comb} = 0.69 \text{ Kg/m}^3.$$

## 3.- CALOR PERDIDO EN EL MgO QUE SALE DEL HORNO.

$$T_2 = 423^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 298^\circ\text{K}$$

$$C_p = 10.86 + 0.001197T - 2.087 \times 10^{-5}T^{-2} (\text{Kcal/molKg } ^\circ\text{K}) \text{ REF 2}$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 10.86 + 0.001197T - 2.087 \times 10^{-5} T^{-2}$$

$$= 10.86T + \frac{0.001197}{2} T^2 - \frac{2.087 \times 10^{-5}}{-1} T^{-1} \Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H = 10.86(423-298) + \frac{0.001197}{2} (423^2 - 298^2) + 2.087 \times 10^{-5} (423^{-1} - 298^{-1})$$

$$\Delta H = 1,204.48 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_3 = (0.025 \text{ molKg})(1204.48 \text{ Kcal/molKg}) = 30.112 \text{ Kcal/Kg de MgO}$$

4º.- CALOR PERDIDO POR RADIACION Y CONDUCCION-CONVECCION.

Para calcular este calor se harán varias consideraciones:

- Horno con las dimensiones de la Fig #1 del apéndice.
- Horno recubierto con ladrillo HRC (Mg Cr 60%) de 9 plg. a todo lo largo.
- Temperatura media dentro del horno = 100°C
- Temperatura de la coraza = 400°C
- Las pérdidas por radiación y convección son mínimas.
- No hay variación de temperatura en la coraza del horno.
- La caída de temperatura a través de la coraza es de 0°C.

$$D_1 = 6.5 \text{ pies} \quad D_2 = 8 \text{ pies} \quad D_3 = 8.08 \text{ pies}$$

$$k_{m1} = 1.02 (\text{Btu/h pie}^\circ\text{F}) \quad k_{m2} = 22.9 (\text{Btu/h pie}^\circ\text{F})$$

$$T_3 = 752^\circ\text{F} \quad T_1 = 1832^\circ\text{F}$$

$$q = \frac{\pi 2 l (t_1 - t_3)}{1/k_{m1} \ln(D_2/D_1) + 1/k_{m2} \ln(D_3/D_2)}$$

LADRILLO HRC (REF 8)

ACERO (REF 8)

TEMP.    k(Btu/h pie° F)

TEMP.    k(Btu/h pie° F)

1832°F    1.065

752°F    22.9

752°F    0.975

$$km_1 = \frac{1.065 + 0.975}{2} = 1.02 \text{ Btu/h pie}^\circ\text{F} \quad km_2 = 22.9 \text{ Btu/h pie}^\circ\text{F}$$

$$q = \frac{(2)(180 \text{ pies})(3.1416)(1832-752)^\circ\text{F}}{1/1.02 \frac{\text{Btu}}{\text{h pie}^\circ\text{F}} \ln \frac{8 \text{ pies}}{6.5 \text{ pies}} + 1/22.9 \frac{\text{Btu}}{\text{h pie}^\circ\text{F}} \ln \frac{8.08 \text{ pies}}{8 \text{ pies}}}$$

$$= 5.987446 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$$

$$= 1.5088 \times 10^6 \text{ Kcal/hr}$$

Para una producción de 4166.66 Kg de MgO/hr el calor a través de la pared es:

$$(1.5088 \times 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}) \left( \frac{1 \text{ hr}}{4166.66 \text{ Kg MgO}} \right) = 362.12 \text{ Kcal/Kg de MgO}$$

#### REQUERIMIENTO TERMICO DEL SISTEMA:

$$S = m^3/\text{Kg de MgO}$$

$$Q_{\text{comb}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$(S)(8213.83 \text{ Kcal/m}^3) = 464.05 \text{ Kcal/Kg MgO} + (S)(3085.13 \text{ Kcal/m}^3) + 30.112 \text{ Kcal/Kg MgO} + 362.12 \text{ Kcal/Kg MgO}$$

$$(S)(8213.83 - 3085.13) \text{ Kcal/m}^3 = 856.282 \text{ Kcal/Kg MgO}$$

$$S = \frac{856.282 \text{ Kcal/Kg MgO}}{5128.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}}$$

$$S = 0.1669 \text{ m}^3/\text{Kg MgO} \times 100,000 \text{ Kg de MgO/día}$$

$$S = 16,690 \text{ m}^3/\text{día}$$

## HORNO VERTICAL (10)

## I.- COMBUSTIBLE:

- a) Se usará combustible similar al del horno rotatorio
- b) Cálculos para combustible:

Se usarán los datos del condensado (inciso I, apartado C) del horno rotatorio.

## II.- BALANCE TERMICO DEL SISTEMA:

- 1.- Calor de calcinación.
- 2.- Calor perdido en los gases de chimenea.
- 3.- Calor necesario para elevar el agua que viene en la pasta del filtro, hasta la temperatura de los gases de chimenea.
- 4.- Calor perdido en el producto ( MgO ) que sale del horno.
- 5.- Calor perdido en el agua de la reacción a la temperatura de los gases de chimenea.

BASE = 2 Kg de pasta del filtro

## DATOS:

- Las pérdidas por conducción-convección y radiación son mínimas, por lo tanto se pueden despreciar.
- Temperatura de calcinación = 900°C
- Temperatura de los gases de chimenea = 300°C

- Temperatura de salida de MgO del horno = 450°C
- Capacidad del sistema 290 Ton de pasta de filtro.

1.- Calor de Calcinación:

$$\Delta H_{900^\circ\text{C}} = \Delta H_{298^\circ\text{K}} + \left( \sum (\eta \int C_{p_p}) - (\eta \int C_{p_R}) \right)$$

$$\Delta H_{\text{reacc}} = \sum \Delta H_{f_p} - \sum \Delta H_{f_R} \quad (\text{Ref 3})$$

$$\Delta H_{\text{reacc}} = \left( (0.0171 \text{ mol Kg})(-143.84 \text{ Kcal/molKg}) + (0.0171 \text{ molKg}) \right. \\ \left. (-57.79 \text{ Kcal/molKg}) \right) - \left( (0.0171 \text{ molKg})(-221.9 \text{ Kcal/molKg}) \right) \\ = \underline{0.339 \text{ Kcal}}$$

a) MgO de la reacción.

$$T_2^\circ = 1173^\circ\text{K} \quad C_p = 10.86 + 0.001197T - 2.087 \times 10^{-5} T^{-2} \quad (\text{Kcal/molKg}^\circ\text{K}) \quad \text{REF 2}$$

$$T_1^\circ = 298^\circ\text{K}$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dt = \int_{T_1}^{T_2} \left( 10.86T + \frac{0.001197T^2}{2} - 2.087 \times \frac{10^5 T^{-1}}{-1} \right) dt$$

$$\Delta H = 10.86(1173-298) + \frac{0.001197}{2} \left( (1173)^2 - (298)^2 \right) + \\ 2.087 \times 10^5 (1173^{-1} - 298^{-1})$$

$$\Delta H = 9,750.428 \text{ Kcal/mol Kg}$$

$$Q_{\text{MgO}} = (0.0171 \text{ molKg})(9,750.428 \text{ Kcal/mol Kg}) = \\ 166.73 \text{ Kcal/2 Kg Pasta}$$

b) AGUA DE REACCION (H<sub>2</sub>O)

$$T_2^\circ = 1173^\circ\text{K} \quad C_p(\text{g}) = 8.22 + 0.00015T + 0.00000134T^2 \quad (\text{Kcal/molKg}^\circ\text{K}) \\ T_1^\circ = 298^\circ\text{K} \quad \text{REF. 2}$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_{pdt} = 8.22T + \frac{0.00015T^2}{2} + \frac{0.00000134T^3}{3} \Bigg|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H = 8.22(1173-298) + \frac{0.00015}{2} \left( (1173)^2 - (298)^2 \right) + \frac{0.00000134}{3} \left( (1173)^3 - (298)^3 \right) = 7,998.2 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_{H_2O} = (0.0171 \text{ mol Kg})(7,998.2 \text{ Kcal/molKg}) = 136.76 \text{ Kcal/2Kg Pasta}$$

c)  $Mg(OH)_2$  de la reacción.

$$T_2^\circ = 1173^\circ K$$

$$C_p = 18.2 \text{ Kcal/molKg}^\circ K \text{ (Ref. 2)}$$

$$T_1^\circ = 298^\circ K$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_{pdt} = 18.2T \Bigg|_{T_1}^{T_2} = 18.2(1173-298) = 1,592 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_{Mg(OH)_2} = (0.0171 \text{ molKg})(1592 \text{ Kcal/molKg}) = 272.31 \text{ Kcal/2 Kg Pasta}$$

$$\Delta H_{\text{reacc}} = (0.339 \text{ Kcal}) + (136.7 \text{ Kcal} + 166.73 \text{ Kcal}) - (272.31 \text{ Kcal})$$

$$= 31.46 \text{ Kcal/2 Kg Pasta}$$

2.- Calor perdido en los gases de Chimenea:

$$Q = MC_{pmdt} \quad C_{pm} = \text{Kcal/molKg}^\circ C \text{ (REF 1)}$$

$$T_2^\circ = 300^\circ C$$

$$T_1^\circ = 25^\circ C$$

$$Q_{CO_2} = (1.02 \text{ molKg})(10.15 \text{ Kcal/molKg}^\circ C)(300-25)^\circ C = 41.175 \text{ Kcal}$$

$$Q_{O_2} = (0.3032 \text{ molKg})(7.3 \text{ Kcal/molKg}^\circ C)(300-25)^\circ C = 608.67 \text{ Kcal}$$



$$Q_{N_2} = (8.7423 \text{ molKg})(7.09 \text{ Kcal/molKg}^\circ\text{C})(300-25)^\circ\text{C} = 17,045.30 \text{ Kcal}$$

$$Q_{H_2O} = (2.0078 \text{ molKg})(8.20 \text{ Kcal/molKg}^\circ\text{C})(300-25)^\circ\text{C} = 4,527.60 \text{ Kcal}$$

$$Q_{H_2O \text{ evap}} = \lambda m = (2.0078 \text{ molKg})(9717 \text{ Kcal/molKg}) = 19,509.79 \text{ Kcal}$$

$$Q \text{ TOTAL} = 41,732.53 \frac{\text{Kcal}}{\text{molKg}_{\text{comb}}}$$

$$Q_2 = 41,732.53 \text{ Kcal/molKg} \times \frac{\text{molKg}}{16.504 \text{ Kg}} \times \frac{0.69 \text{ Kg}}{\text{m}^3} = 1,744 \text{ Kcal/m}^3$$

### 3.- CALOR REQUERIDO POR EL AGUA.

a)  $T_2 = 373^\circ\text{K}$   
 $T_1 = 298^\circ\text{K}$   
 $C_p \text{ H}_2\text{O} (l) = 18.04 \text{ Kcal/molKg } ^\circ\text{K} \text{ (REF 2)}$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 18.04T \Big|_{T_1}^{T_2} = 18.04(373-298) = 1353 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q \text{ H}_2\text{O} (l) = (0.055 \text{ molKg})(1,353 \text{ Kcal/molKg}) = 74.42 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

b)  $C_p \text{ H}_2\text{O} \text{ evap} = 9717 \text{ Kcal/molKg}$

$$Q \text{ H}_2\text{O} \text{ evap} = (0.55 \text{ molKg})(9717 \text{ Kcal/molKg}) = 534.435 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

c)  $T_2 = 573^\circ\text{K}$   
 $T_1 = 373^\circ\text{K}$   
 $C_p \text{ H}_2\text{O} (g) = 8.22 + 0.00015T + 1.34 \times 10^{-6} T^2 \text{ (Kcal/molKg}^\circ\text{K)}$  (REF 2)

$$\Delta H \text{ H}_2\text{O} (g) = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 8.22T + \frac{0.00015T^2}{2} + \frac{1.34 \times 10^{-6} T^3}{3} \Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H = 8.22(573-373) + \frac{0.00015}{2} (573^2 - 373^2) + \frac{1.34 \times 10^{-6}}{3} (573^3 - 373^3) =$$

$$\Delta H = 1,846.75 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_{H_2O(g)} = (0.055 \text{ molKg})(1,846.75 \text{ Kcal/molKg}) =$$

$$101.57 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{H_2O(l)} + Q_{H_2O(\text{evap})} + Q_{H_2O(g)}$$

$$Q_3 = 74.42 + 534.435 + 101.57 = 710.43 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

4.- Calor perdido en el MgO que sale del horno:

MgO

$$T_2 = 723^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 298^\circ\text{K}$$

$$C_p = 10.86 + 0.001197T - 2.087 \times 10^{-5}T^{-2} \text{ (Kcal/molKg } ^\circ\text{K)} \\ \text{(REF 2)}$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 10.86T + \frac{0.001197T^2}{2} - \frac{2.087 \times 10^{-5}T^{-1}}{-1} \Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H = 10.86(723-298) + \frac{0.001197}{2}(723^2 - 298^2) + 2.087 \times 10^5$$

$$(723^{-1} - 298^{-1}) = 4,463.526 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_4 = (0.0171 \text{ molKg})(4,463.526 \text{ Kcal/molKg}) = 76.32 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

5.- Pérdida de calor del agua de la reacción:

H<sub>2</sub>O

$$T_2 = 573^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 298^\circ\text{K}$$

$$C_{p_{H_2O(g)}} = 8.22 + 0.00015T + 1.34 \times 10^{-6}T^2 \text{ (Kcal/molKg } ^\circ\text{K)} \\ \text{(REF 2)}$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 8.22T + \frac{0.00015T^2}{2} + \frac{1.34 \times 10^{-6}T^3}{3} \Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$\Delta H = 8.22(573-298) + \frac{0.00015}{2} (573^2 - 298^2) + \frac{1.34 \times 10^{-6}}{3} (573^3 - 298^3)$$

$$\Delta H = 2350.67 \text{ Kcal/molKg}$$

$$Q_5 = (0.0171 \text{ molKg})(2350.67 \text{ Kcal/molKg}) = 40.196 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

#### REQUERIMIENTO TERMICO DEL SISTEMA

$$S = m^3/2 \text{ Kg de pasta}$$

$$Q \text{ comb} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$(S)(8213.83 \text{ Kcal/m}^3) = 31.46 \text{ Kcal/2 Kg pasta} + (S)(1744 \text{ Kcal/m}^3) + 710.43 \text{ Kcal/2 Kg pasta} + 76.32 \text{ Kcal/2 Kg pasta} + 40.196 \frac{\text{Kcal}}{2 \text{ Kg pasta}}$$

$$(S)(8213.83 - 1744) \text{ Kcal/m}^3 = 858.4 \text{ Kcal/2 Kg pasta}$$

$$S = \frac{858.4 \text{ Kcal/2 Kg pasta}}{6469.83 \text{ Kcal/m}^3} = 0.131 \text{ m}^3/2 \text{ Kg pasta}$$

$$0.131 \frac{\text{m}^3}{2 \text{ Kg pasta filtro}} \times 290,000 \frac{\text{Kg pasta filtro}}{\text{dfa}}$$

$$= 18,995 \text{ M}^3/\text{dfa}$$

## LOCALIZACION DE LA PLANTA

Una de las decisiones más difíciles durante el desarrollo de un proyecto es la determinación del sitio para ubicar una planta ya que de la correcta determinación de este, depende en gran parte el éxito de la planta.

A continuación se agrupan los factores que tienen mayor importancia en la determinación de la ubicación de la planta de óxido de magnesio:

- F<sub>1</sub> Suministro de materia prima.
- F<sub>2</sub> Servicios (gas, agua y energía eléctrica).
- F<sub>3</sub> Proximidad de mercados.
- F<sub>4</sub> Medios de transporte.
- F<sub>5</sub> Disponibilidad de mano de obra.
- F<sub>6</sub> Costo del terreno.

De todos los factores mencionados el más importante es el suministro de materia prima y en base a éste se seleccionarán las regiones o comunidades probables para la instalación de la planta. Debido a que se usarán grandes volúmenes de agua de mar, la ubicación se limita a una región próxima al mar, ya sea en el Océano Pacífico ó en el Golfo de México. En cuanto a la cal dolomítica las fábricas que lo pueden surtir con una calidad aceptable son:

- 1) Calcinados del Sureste en Teapa, Tabasco
- 2) Caolines de Guerrero en Iguala, Guerrero.
- 3) Minerales del Norté en Bustamante, Nuevo León.
- 4) Refractarios Básicos en Monclova, Coahuila.

De acuerdo a los lugares de suministro de materia prima, además de considerar también los factores restantes, las comunidades probables son: Matamoros, Tamps. (A), Tampico, Tamps. (B) y Coatzacoalcos, Ver. (C).

Ahora se verá para cada una de las comunidades la forma en que satisfacen las necesidades de cada uno de los factores de localización, asignándoles una calificación con base 100, correspondiendo ésta a la satisfacción perfecta, pero antes se dará a los factores una puntuación de 0 a 100 en forma ponderada, según su importancia relativa en el proceso. Estas calificaciones se establecen con el fin de elaborar una Tabla de Localización, para elegir el sitio más adecuado.

Los datos que a continuación se enlistan son los que se emplearon como referencia para fijar la calificación en cada alternativa.

(1) El 70% del mercado de óxido de magnesio se encuentra en Monterrey, N.L. y el resto en México, D.F. y Pachuca, Hgo.

(2) Las tres alternativas cuentan con medios de transporte terrestre (ferrocarril y autotransportes), marítimo y aéreo.

(3) Matamoros:

- a) Salario mínimo \$122.00
- b) Transportación de materia prima y producto terminado (ferrocarril).

Cal dolomítica= \$74.65/ton

Monterrey-Matamoros (333 Km)

Oxido de magnesio= \$95.50/ton

Matamoros-México(1258 Km) Oxido de magnesio= \$320.05/ton

Matamoros-Pachuca (1258 Km) Oxido de magnesio=\$320.05  
ton

- c) Cuenta con todos los servicios
- d) Precio por m<sup>2</sup> de terreno: \$120.00

(4) Tampico:

- a) Salario mínimo: \$118.00
- b) Transportación de materia prima y producto terminado (ferrocarril).

Cal dolomítica=\$102.95/ton

Monterrey- Tampico(521 Km)

Oxido de magnesio=\$169.85/ton

- c) Cuenta con todos los servicios
- d) Precio por m<sup>2</sup> de terreno:\$110.00

(5) Coatzacoalcos:

a) Salario Mínimo \$124.00

b) Transportación de materia prima y producto terminado  
(ferrocarril).

Teapa Tabasco-Coatzacoalcos (280Km) Cal Dolomítica=<sup>\$</sup>69.30/Ton

Coatzacoalcos-Monterrey(1630Km) Oxido de Magnesio=402.86/Ton

Coatzacoalcos-México (700Km) Oxido de magnesio=206.20/Ton

Coatzacoalcos-Pachuca (700Km) Oxido de Magnesio=206.20/Ton

c) Cuenta con todos los servicios

d) Precio por M<sup>2</sup> de terreno \$80.00

\*Todos los datos fueron obtenidos por medio de oficinas gubernamentales.

	CAL.	CRITERIO
F <sub>1</sub>	90	Muy importante porque se usarán grandes cantidades.
F <sub>2</sub>	100	Muy importante debido a que son primordiales en el funcionamiento de la planta.
F <sub>3</sub>	80	Importa por el menor costo de transportar tanto la materia prima como el material fabricado.
F <sub>4</sub>	80	Importa debido a que si no los hay se dificultan las ventas.
F <sub>5</sub>	55	Poco importante, puesto que se consigue fácilmente.
F <sub>6</sub>	20	Importa muy poco

#### ASIGNACION DE LAS CALIFICACIONES A LAS ALTERNATIVAS:

FACTORES	A	B	C	RAZONAMIENTO
F <sub>1</sub>	90	70	90	El suministro de materia prima se encuentra más retirado de Tampico.
F <sub>2</sub>	90	90	90	Es igual en las tres.
F <sub>3</sub>	90	75	90	El mercado está concentrado en su mayor parte en Monterrey, N. L.
F <sub>4</sub>	80	100	70	Tampico cuenta con mejores medios de transporte.
F <sub>5</sub>	90	100	80	Es más barata en Tampico.
F <sub>6</sub>	70	80	100	Es más barato en Coatzacoalcos.



TABLA DE LOCALIZACION (BASE 100)

FACTORES ANALIZADOS	CALIFICACION DEL PROCESO	A		B		C	
		CALIF.	PROD.	CALIF	PROD.	CALIF.	PROD.
F <sub>1</sub> = Materia Prima	90	90	8100	75	6650	90	8100
F <sub>2</sub> = Servicios	100	90	9000	90	9000	90	9000
F <sub>3</sub> = Mercado	80	90	7200	80	6400	60	4800
F <sub>4</sub> = Transporte	80	80	6400	100	8000	70	5600
F <sub>5</sub> = Mano de Obra	55	90	4950	100	5500	80	4000
F <sub>6</sub> = Terreno	20	70	<u>1400</u>	80	<u>1600</u>	100	<u>2000</u>
TOTAL			37050		37150		33500

Como se puede observar la alternativa B tiene mayor promedio, por lo tanto la localización óptima para la planta será en un lugar de Tampico, Tamaulipas. Cabe hacer notar que un estudio más detallado en esta ciudad nos llevaría a elegir el sitio exacto.

## ANALISIS ECONOMICO

En este análisis se usarán porcentajes de las partes que componen el capital fijo necesario como inversión inicial, tomando como base el costo del equipo principal y siguiendo el método establecido en el libro Plant Design and Economics for Chemical Engineers (Ref. 6).

## ESTIMACION DEL COSTO DE EQUIPO PRINCIPAL

1 Horno rotatorio de 2.45 x 54.90 mts. (Capacidad 100 ton/día).	\$22,000,000.00
1 Horno vertical de 12 soleras y 7 mts diam. (Capacidad 300 ton/día)	6,500,000.00
2 Filtros de vacío rotatorios de 2.45 x 8.55 mts.	3,300,000.00
2 Pêletizadoras (capacidad 5 Ton/Hr)	1,000,000.00
1 Hidratador (capacidad 200 Ton/día)	1,500,000.00
1 Tanque de reacción de 18.5 mts. diam.	4,000,000.00
1 Tanque clarificador DORR de 67 mts. diam.	13,600,000.00
2 Tanques de lavado DORR de 55mts. diam.	16,590,000.00
1 Tanque sedimentador DORRR de 85.4 mts. diam.	21,247,000.00
	<hr/>
TOTAL =	\$88,937,000.00

Estimado de inversión para una planta de 36,000 Ton/Año  
de Oxido de Magnesio.

INVERSION INICIAL = \$ 294,397,219.50

COSTOS DIRECTOS:

- Maquinaria y equipo adquirido	30.21%	= \$ 88,937,400.00
- Instalación de maquinaria y equipo	12.14%	= 35,739,822.45
- Instalación de instrumentos y controles	1.95%	= 5,740,745.78
- Tuberías instaladas	3.50%	= 10,303,902.68
- Electricidad instalada	2.51%	= 7,418,809.93
- Edificios (60% Oficinas, 40% Planta)	4.50%	= 13,247,874.88
- Mejoras de terreno libre	1.50%	= 4,415,958.29
- Terreno	1.85%	= 5,446,348.56
- Servicios auxiliares (Bombas, suministro de gas, etc.)	16.50%	= 48,575,541.22

COSTOS INDIRECTOS:

- Ingeniería y supervisión	9.23%	= 27,172,863.36
- Gastos de construcción	8.05%	= 23,698,976.17
- Honorarios del contratista	2.19%	= 6,447,299.10
- Contingencias	5.85%	= 17,222,237.34

---

TOTAL = \$ 294,397,219.50

## ESTIMADO DEL COSTO DE OPERACION

## 1) Materias Primas por año:

Cal dolomítica (44,000 Ton a \$550/Ton)	\$ 24,200,000.00
Acido Sulfúrico (1228 Ton a \$1000/Ton)	1,22-,000.00
Emulsificante (42,200 Kg a \$112/Kg)	4,726,400.00
	<hr/>
TOTAL=	\$ 30,154,400.00

## 2) Mano de Obra por año:

## a) Mano de obra directa:

120 obreros (40 obreros por turno)  
a \$118.00 por día.

Total al año \$ 5,097,600.00

## b) Mano de obra indirecta:

1 Jefe de mantenimiento mecánico

(a \$11,000.00 por mes) \$ 132,000.00

1 Jefe de mantenimiento eléctrico

(a \$11,000.00 por mes) \$ 132,000.00

1 Jefe de laboratorio y control de

calidad (a \$11,000.00 por mes) \$ 132,000.00

3 analistas de laboratorio

(a \$7,500.00 por mes) \$ 270,000.00

2 Ingenieros de proceso

(a \$18,000.00 por mes) \$ 432,000.00

3 Jefes de turno

(a \$11,000.00 por mes) \$ 396,000.00

3 Almacenistas	\$ 180,000.00
(a \$5,000.00 por mes)	
1 Gerente de Producción	
(a \$25,000.00 por mes)	\$ 300,000.00

---

TOTAL = \$ 1,974,000.00

---

TOTAL MANO DE OBRA = \$ 7,071,600.00

3) Gastos generales de fabricación por año:

- Depreciación	
3% de Edificios Planta	\$ 158,974.50
10% de maquinaria y equipo	\$ 19,671,622.21
- Energía Eléctrica (Ref. 7)	
(13,330,000 Kw a \$0.45 c/u)	\$ 5,998,515.00
- Gas (11,800,000 M <sup>3</sup> a \$0.26 c/u)	\$ 3,088,800.00
- Agua (1,987,434.1 M <sup>3</sup> a \$5.00 c/u)	\$ 9,937,158.00
- Mantenimiento y reparaciones	
(10% costo del equipo)	\$ 8,893,740.00
- Prestaciones (1.5) (Salario del mes)	\$ 883,950.00
Incluye: Infonavit	
Seguro Social	
Vacaciones	
Gratificaciones	
- Seguros Planta (1% del capital de inversión)	\$ 2,943,972.19

Total = \$ 51,576,728.90

---

TOTAL DE COSTO DE OPERACION = \$ 88,802,728.90

### PRODUCCION ANUAL

La producción anual de óxido de magnesio es de 36, 000 toneladas con un costo de \$5, 500.00 por tonelada (precio en que está cotizado en el mercado).

### ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

Para el estado de Pérdidas y Ganancias se supondrá que las ventas son el 100% de lo producido en el año, a un precio de \$5,500.00 por tonelada de óxido de magnesio a granel.

#### 1) Ventas anuales:

36,000 Ton/Año x 5,500 Ton = \$198, 000,000.00

#### 2) Gastos administrativos y comerciales anuales:

- Amortización (5% de costos indirectos) \$3,727,068.79

- Sueldos a empleados administrativos:

1 Gerente General

(a \$32,000.00 por mes) \$ 384,000.00

1 Jefe de Personal

(a \$18,000.00 por mes) \$ 216,000.00

1 Gerente de Ventas

(a \$22,000.00 por mes) \$ 264,000.00

6 Secretarias

(a \$5,500.00por mes) \$ 396,000.00

1 Recepcionista

(a 5,500.00 por mes) \$ 66,000.00

6 Vigilantes (2 por turno)	
(a \$5,00.00 por mes)	\$ 396,000.00
10 Empleados	
(a (\$8,500.00 por mes)	\$ 1,020,000.00
	<hr/>
Total Sueldos=	\$ 2,742,000.00
- Comisión de ventas (6% de las ventas)	\$12,096,000.00
- Publicidad (3% de las ventas)	\$ 6,048,000.00
- Prestaciones (1.5)(El sueldo del mes)	\$ 342,750.00
- Impuestos:	
4% Ingresos Mercantiles	\$ 8,064,000.00
- Otros gastos administrativos	\$ 850,000.00
(Teléfono, papelería, material para oficina, etc.)	
	<hr/>
Total de Gastos Administrativos =	\$33.869,818.80
3) Reparto de utilidades (8% de las utilidades antes de im- puestos).	
4) Impuestos sobre la renta (42% sobre utilidades antes de impuestos)	

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS  
CONDENSADO PARA EL AÑO 19XX.

Ventas anuales	\$198,000.000.00	
-) Costo de ventas	\$ 88,802,728.90	
Utilidad Bruta		\$ 109,197,271.10
-) Gastos administrativos y comerciales	\$ 33,869,818.80	
Utilidad antes de Impuestos		\$ 75,327,452.30
-) Reparto de utilidades	\$ 6,026,196.18	
-) Impuesto sobre la renta	\$ 31,637,529.97	
Utilidad neta		\$ 37,663.726.15

Punto de equilibrio:

El punto de equilibrio indica el número de toneladas de óxido de magnesio que deberán venderse, para operar en el año sin tener pérdidas ni ganancias.

$$N = \frac{CF + (V \times N)}{P}$$

N = Número de toneladas que deben venderse para salir a mano.

CF = Costos fijos totales.

V = Costos variables por tonelada de producción

P = Precio de venta por tonelada de producción.



Datos:

$$CF = \$ 47,285,677.69$$

$$V = \$ 1,870.07$$

$$P = 5,500.00$$

$$N = \frac{47,285,677.69 + (1870.07 N)}{5500}$$

$$5500 = 47,285,677.69 + 1870.07 N$$

$$(5500 - 1870.07) N = 47,285,677.69$$

$$N = \frac{47,285,677.69}{3629.93} = 13,026.6 \text{ Ton/Año}$$

## U S O S

El óxido de magnesio tiene su aplicación más importante en la fabricación de ladrillos refractarios, pero existen muchos otros campos donde es muy empleado.

La tabla 2 muestra la composición química de algunos ladrillos refractarios básicos.

MATERIAL	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ca <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
De Cromo (Cocido)	3-7	17-30	13-15	0.2-0.4	16-21	34-42
Cromo-Magnesita (Aglutinado químicamente)	5.5-5	17-22	10-13	INDICIOS 1	29-32	28-30
Cromo-Magnesita (Cocido)	2-8	21-23	10-12	0.9-1.2	30-37	22-30
Magnesita (cocido)	3.7-5.2	0.7-2.0	0.4-2.9	1.8-4.5	86-92	0.7-1.0
Magnesita-Cromo (Aglutinado químicamente)	4.9-5.5	13-23	8.9-9.4	0.7-2.7	33-49	16-23

Otra de las principales aplicaciones del óxido de magnesio es en la fabricación de magnesio metálico y cementos de oxiclорuros. Las calidades impuras se usan también como componentes de fertilizantes mixtos, el magnesio está en el quinto lugar en la serie de elementos necesarios para la nutrición de las plantas y es un ingre-

diente esencial para la formación de la clorofila. Una calidad de óxido de magnesio puro fundido electricamente se usa en la fabricación de crisoles para temperaturas elevadas.

Un óxido fundido y pulverizado se aplica en la fabricación de elementos calentadores para estufas eléctricas.

Del óxido de magnesio purificado es del que se parte para la preparación de numerosas sales de magnesio y otros compuestos. La industria de la limpieza en seco consume cantidades considerables como agentes descolorantes para los disolventes.

Las calidades activas del óxido se usan como neutralizantes y como aceleradores en la vulcanización en la fabricación de artículos de neopreno y caucho. Numerosas composiciones catalíticas usadas en la preparación de compuestos orgánicos contienen óxido de magnesio.

También es un ingrediente de diversas fórmulas farmacéuticas y cosméticos, como dentrífico y polvos. Se usa además en la manufactura de componentes especiales de los conos de cohetes.

El óxido de magnesio USP, se usa en medicina como el hidrógeno y el carbonato. Los principales usos del hidróxido magnésico

en medicina son como antiácido y laxantes, principalmente en forma de suspensión acuosa, o sea la lechada de magnesio. La mayor parte de esta última se prepara por dilución, de una pasta de hidróxido magnésico al 30% que se obtiene en la filtración al vacío del precipitado de agua de mar lavado. Una calidad medicinal de hidróxido magnésico seco se usa en tabletas con el mismo fin.

- 8.- ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA  
Kirk - Othmer  
Uteha Tomo X  
México, D. F. 1962
- 9.- MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO  
John H. Perry  
3a. Edición Tomo I y II  
Editorial Uteha  
México 1950
- 10.- INGENIERIA DE PROYECTOS PARA PLANTAS DE PROCESO  
H. F. Rase y Barrow  
CECSA 1a. Impresión  
México 1973
- 11.- PRINCIPIOS Y CALCULOS BASICOS DE LA INGENIERIA QUIMICA  
David M. Himmelblav  
CECSA 10a. Impresión  
México 1975
- 12.- TRANSMISION DE CALOR  
Aubrey I. Brown  
CECSA 1a. Impresión  
México 1970
- 13.- INDUSTRIAS DE PROCESOS QUIMICOS  
R. Norris Shreve  
Editorial Dossart  
Madrid 1945

## REFERENCIAS

- 1) INTRODUCTION TO CHEMICAL ENGINEERING THERMODYNAMICS  
J. H. Smith and H. C. Van Ness  
McGraw-Hill Second Edition Pag. 126
- 2) CHEMICAL ENGINEERS' HAND BOOK  
Robert H. Perry/Cecil H. Chilton  
McGraw-Hill Fifth Edition Pag. 3-119
- 3) CHEMICAL ENGINEERS HAND BOOK  
Robert H. Perry/Cecil H. Chilton  
McGraw-Hill Fifth Edition Pag. 3-142
- 4) CHEMICAL ENGINEERS HAND BOOK  
Robert H. Perry/Cecil H. Chilton  
McGraw-Hill Fifth Edition Pag. 19-55
- 5) MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO  
John H. Perry  
Uteha Tomo II Pag. 2550
- 6) PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS  
Max. S. Peters and Klaus D. Timmerhaus  
McGraw-Hill Second Edition Pag. 104
- 7) CHEMICAL ENGINEERING  
Febrero 10 de 1951 Pag. 114
- 8) REFRACTORIES POCKET MANUAL  
5 Edición  
Harbinson Walker Flir.