

69

*Figueras*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

BIBLIOTECA

de la

E. N. de C. G.

**Estudio Sobre la Fabricación del  
Hidrocarbonato de Magnesio  
—Partiendo de la Dolomita—**

64

JORGE SUAREZ FIGUEROA

GUADALAJARA. JAL.

MARZO -- MCMXLII



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**ESTUDIO SOBRE LA FABRICACION DEL  
HIDROCARBONATO DE MAGNESIO  
PARTIENDO DE LA DOLOMITA**



**TESIS**

Presentada por el Sr. JORGE SUAREZ FIGUEROA para obtener  
el titulo de

**INGENIERO QUIMICO**

*A mis padres.*

*Respetuosamente a mi querido maestro  
y director de la facultad Sr.  
Ing. Alberto Lancaster Jones*

*A todos mis maestros.*

*Con toda gratitud a la Srta.  
Maria Figueroa, her-  
mana de mi madre*

## SUMARIO

PRELIMINARES	9
DIVISION DEL TRABAJO	10
I.—SISTEMA GENERAL DE OBTENCION	11
II.—DIAGRAMA DE FLUJO	14
III.—ESTUDIO QUIMICO	16
IV.—APLICACION DE LA INGENIERIA QUIMICA	35
V.—BIBLIOGRAFIA	43

## PRELIMINARES

La elección del presente estudio como punto de tesis, no es debida a una mera casualidad. Habiéndose solicitado mi intervención en el proceso de fabricación de una planta de esa índole, tuve la necesidad de interiorizarme en ello, así como oportunidad de aplicar los resultados nacidos del estudio y experimentación del método, habiendo logrado con ello un aumento de 45% en el rendimiento final de fabricación. Quise aprovechar el estudio efectuado para presentarlo ante mis jurados con la anuencia del Sr. Director de la Facultad.

Desde el punto de vista técnico, no carece de interés la resolución de un problema semejante, ya que se tiene la oportunidad de aplicar el cálculo de los aparatos necesarios para efectuar las operaciones unitarias, obtenido del estudio de la Ingeniería Química, pudiendo decirse lo mismo con respecto a la solución del problema químico, por no haber hasta la fecha una literatura específica del caso.

No hay que pasar inadvertido el factor económico, pues siendo la presente una verdadera industria de transformación, puede causar pingües beneficios, siempre que sea conducida con técnica.

Quiero agradecer la valiosa ayuda que espontáneamente me ha prestado para la resolución del presente problema, mi maestro y amigo, el Ing. Químico Raúl Guerrero Torres, aportando con sus vastos conocimientos, datos que me han permitido el desarrollo de la presente tesis.

## I

# SISTEMA GENERAL DE OBTENCION

El Hidrocarbonato de magnesio tiene por fórmula  $3 \text{Mg CO}_3 \cdot \text{Mg (OH)}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , encontrándose en el comercio en fragmentos de forma cúbica, de color blanco, muy poco densos, y deleznales, dando un polvo cuya densidad varía de 2.1 a 2.2 (en la práctica encontré 2.17). Medicinalmente se conoce con el nombre de magnesia alba, y cuando por la acción del calor pierde el agua y el anhídrido carbónico, se transforma en óxido de magnesio, que se conoce con el nombre de magnesia calcinada.

El método general de obtención se debe a Páttinson, por lo que lleva su nombre, verificándose de la siguiente manera:

Primero se calcina ligeramente la dolomita (carbonato de magnesio y calcio) molida, procurando descomponer únicamente el carbonato de magnesio. En la práctica esto es casi imposible, obteniéndose por lo general un poco de  $\text{O}^{\text{Ca}}$  debido a la calcinación de una parte de  $\text{CO}_3 \text{Ca}$ , pues si no se le da a la calcinación suficiente tiempo y temperatura, se corre el riesgo de no calcinar totalmente el  $\text{CO}_3 \text{Mg}$ ; el calcinar parte del  $\text{CO}_3 \text{Ca}$ , tiene como consecuencia el gasto de mayor cantidad de gas carbónico en la carbonatación, además del tiempo necesario para carbonatar el  $\text{O}^{\text{Ca}}$  obtenido en ella.

## **DIVISION DEL TRABAJO**

Todas las consideraciones relativas, juzgo quedarán expuestas en los siguientes cuatro puntos, que estimo como fundamentales para instalaciones de cualquiera índole.

I. Sistema General de Obtención del Hidrocarburo de Magnesio, propiedades y usos.

II. Diagrama de Flujo.

III. ESTUDIO QUIMICO: Determinación de las condiciones de trabajo de los procesos de transformación incluidos. Materias Primas, Reacciones, Temperaturas, Presiones, etc.

IV. APLICACION DE LA INGENIERIA QUIMICA: Especificación de las Operaciones Unitarias, y discusión de los aparatos necesarios para la capacidad establecida.



## I

# SISTEMA GENERAL DE OBTENCION

El Hidrocarbonato de magnesio tiene por fórmula  $3 \text{Mg CO}_3 \cdot \text{Mg (OH)}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , encontrándose en el comercio en fragmentos de forma cúbica, de color blanco, muy poco densos, y deleznales, dando un polvo cuya densidad varía de 2.1 a 2.2 (en la práctica encontré 2.17). Medicinalmente se conoce con el nombre de magnesia alba, y cuando por la acción del calor pierde el agua y el anhídrido carbónico, se transforma en óxido de magnesio, que se conoce con el nombre de magnesia calcinada.

El método general de obtención se debe a Pattinson, por lo que lleva su nombre, y es el siguiente de la siguiente manera:

Primero se calcina lentamente la dolomita (carbonato de magnesio y calcio) molida, procurando descomponer únicamente el carbonato de magnesio. En la práctica esto es casi imposible, obteniéndose por lo general un poco de  $\text{Ox Ca}$  debido a la calcinación de una parte de  $\text{CO}_3 \text{Ca}$ , pues si no se le da a la calcinación suficiente tiempo y temperatura, se corre el riesgo de no calcinar totalmente el  $\text{CO}_3 \text{Mg}$ ; el calcio parte de  $\text{CO}_3 \text{Ca}$  tiene como consecuencia el gasto de mayor cantidad de gas carbónico en la carbonatación, además del tiempo necesario para carbonatar el  $\text{Ox Ca}$  obtenido, y el

El producto resultante del horno de calcinación, se procede a suspenderlo en agua en la cantidad fijada por el cálculo correspondiente y el análisis del producto, pasándose en seguida a un saturador, donde se hace llegar una corriente de gas carbónico comprimido a 5 o 7 atmósferas. El recipiente donde se efectúa esta carbonatación deberá llevar una chaqueta de enfriamiento, con el fin de acelerar la operación, y lograr una saturación más perfecta, puesto que el  $\text{CO}_2$  según la ley de Henry es más soluble en el agua conforme aumenta la presión y disminuye la temperatura.

La razón por la cual se efectúa tal inyección de gas carbónico, es la conversión del  $\text{OMg}$  obtenido en la calcinación, y que previamente se ha convertido en  $(\text{OH})_2 \text{Mg}$ , en  $(\text{CO}_3)_2 \text{H}_2 \text{Mg}$  que es soluble en agua.

En seguida se hace pasar el producto por un filtro-prensa en donde se consigue separar el  $\text{CO}_2$  Ca, que queda en forma de lecho en los marcos del filtro. El líquido claro resultante de la filtración, es el bicarbonato de magnesio en solución, el cual se lleva a un evaporador a donde se le hace llegar vapor directo, o por medio de serpentines, con el fin de expulsar el  $\text{CO}_2$  y transformar el bicarbonato en hidrocarbonato que se precipita.

En esta fase, el proceso puede continuarse de dos maneras, según que se trate de obtener el producto en polvo o en panes, diferenciándose en la filtración, que se efectúa una vez fría la solución. Si se pretende obtener en polvo, la operación es más rápida pues se usa un filtro de yalco semejante a los usados para separar el almidón, pasándose luego a un desecador rotativo de donde se envasa en la forma impalpable, como lo requiere su uso.

La operación resulta más dilatada cuando se trata de obtenerlo en panes, que se usan principalmente en medicina. En este caso se pasa el contenido del evapo-

rador a unas mantas extendidas en donde se procura tenerlo hasta que haya adquirido la consistencia suficiente para moldarse en bloques de tamaño grande, teniendo cuidado de efectuar el moldado, cuando el precipitado tenga la humedad que sirva de aglutinante para permitir que el producto seco posea la ligereza y densidad característica del hidrocarbonato de magnesio. El secado en este caso, se lleva a cabo en fúneles y los moldes relativos, que son de tela de alambre forrados interiormente de tela, se colocan en los carros que periódicamente entran y salen al secador. De estos moldes, una vez secos, se obtienen los cubos más pequeños por medio de cortes en diferentes direcciones.

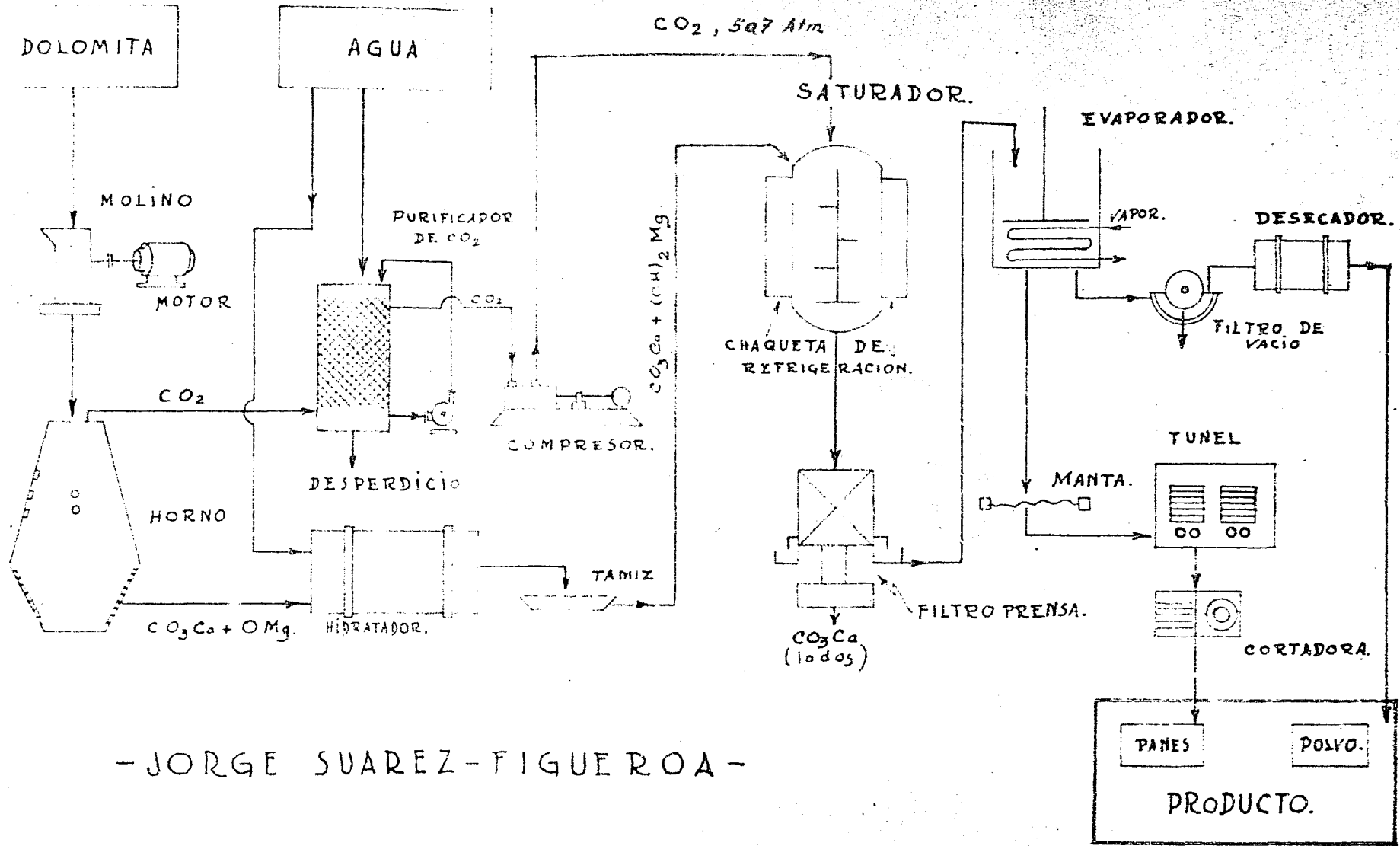
Con el fin de aprovechar el gas carbónico desprendido en la calcinación, e inyectarlo después al saturador para efectuar la transformación del  $\text{OMg}$  a bicarbonato, se extraen del horno los gases desprendidos, y se hacen pasar por una torre donde se inyecta agua a contracorriente, para lavarlo de impurezas, comprimiéndose en seguida para tenerlo en la forma útil a la carbonatación.

Los usos principales del  $3(\text{MgCO}_3) \cdot (\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  son los siguientes:

Se utiliza en la industria el hule al cual se le adiciona como carga, sirviendo además para acelerar la vulcanización; en la industria del papel; para preparación de baños de anhídrido carbónico; como producto de adición a los jabones de vidrio soluble; precipitado sobre tejidos, constituye aisladores del calor; para preparar polvos para pulir y polvos dentífricos; para obtener la magnesia calcinada usada como aislante; y finalmente el ya citado, como medicamento para neutralizar la acidez estomacal.

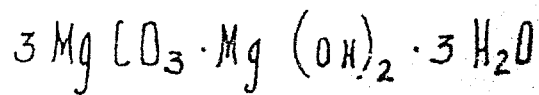
## II

Puede considerarse que el diagrama de flujo del proceso de fabricación del hidrocarbonato de magnesio es el que se encuentra en la heliografía adjunta.



- JORGE SUAREZ-FIGUEROA -

DIAGRAMA DE FLUJO.



### III

## ESTUDIO QUIMICO

**MATERIAS PRIMAS.** Aun cuando la magnesita ( $\text{CO}_2$  Mg) es la materia prima más usada y adecuada para la fabricación del compuesto que se estudia, no me ocuparé de ella, puesto que en el presente trabajo se ha tomado la dolomita como materia prima, debido, principalmente, a que en la práctica industrial ha sido usada exclusivamente.

La dolomita es un mineral cuya composición esencial es el  $\text{CO}_2$  Ca y  $\text{CO}_2$  Mg, llevando además como impurezas, compuestos de hierro, silice, y derivados del Al, Ca, y Si; cristaliza en el sistema exagonal, y es generalmente de color blanco con vetas y matices pardos y cañés, su aspecto es vítreo y es infusible al soplete; es soluble en el ácido clorhídrico y sulfúrico desprendiendo gran cantidad de  $\text{CO}_2$ ; El ácido sulfúrico la ataca lentamente a diferencia de la magnesita que se disuelve rápidamente. La dolomita existe en grandes cantidades formando a veces montañas enteras como en el caso de las montañas dolomíticas del Tirol, existe en Suiza, en Nueva Jersey, en New York, y en nuestro país en el Estado de Hidalgo, en las cercanías de Estación Viña, existe piedra dolomítica cuya composición media determinada según análisis es la siguiente:

Humedad . . . . .	1.6	%
-------------------	-----	---

CO <sub>3</sub> Ca . . . . .	56.2	%
CO <sub>3</sub> Mg . . . . .	36.00	%
Oxido de Hierro . . . . .	0.8	%
Residuo insoluble . . . . .	5.4	%
	100.00	

Respecto al agua usada, solamente diré, que para el caso se requiere agua blanda, y conviene, para obtener un producto de alta pureza, usar el agua de condensación del vapor de calentamiento, que puede considerarse como agua destilada y tiene menor número de impurezas que la ordinaria.

Bajo el título de estudio químico incluiré además de la exposición de las materias primas, la discusión de los factores que influyen en el desarrollo de las reacciones que tienen lugar en el proceso, haciendo las consideraciones relativas a cada una de ellas, y poniendo especial interés en la calcinación del mineral y la carbonatación del producto calcinado, operaciones que considero como fundamentales del proceso.

**CALCINACION.** Investiguemos primeramente cuales son las variables que teóricamente intervienen en la disociación de los carbonatos:

La reacción general de disociación de los carbonatos es:



en la que Me nos representa un metal divalente.

Según los datos que proporcionan Hedmen and Lange en el Handbook of Chemistry and Physics, los carbonatos metálicos se disocian a la presión normal (760mm) sin cambiar de estado, es decir permaneciendo sólidos a la temperatura de disociación. Según ellos, los óxidos metálicos correspondientes funden siempre a temperaturas más elevadas que la disociación del carbonato.

Por tanto, en un sistema tal, se tendrán siempre tres

fases: 2 sólidas, que corresponden al carbonato y al óxido, y una gaseosa, el  $\text{CO}_2$ .

De acuerdo con las reglas de las fases, en sistemas de esta índole se tendrán siempre dos grados de libertad, o sea, que se pueden fijar arbitrariamente la temperatura y la presión para que el sistema exista, o en otros términos, que las 3 fases en cuestión estarán en equilibrio a cualquier temperatura.

A una presión dada, el límite de las temperaturas que pueden fijarse arbitrariamente para que el sistema quede en equilibrio, corresponde a la temperatura de disociación; de esta en adelante, el proceso que se verifica es la descomposición del carbonato en un óxido y  $\text{CO}_2$  siendo mayor la velocidad de disociación a medida que la temperatura sobrepasa a la crítica de disociación.

Supongamos ahora, que se inicia la disociación de un carbonato, y que el sistema en un momento dado, está completamente aislado. Si a partir de este instante se mantienen fijos el volumen y la temperatura, la presión del  $\text{CO}_2$  aumentará hasta que el sistema quede en equilibrio, es decir, llegará un momento en que cese la disociación.

Si por otro lado, se hicieran permanecer constantes la temperatura y la presión, es evidente que, debido a las presiones del  $\text{MeO}$  y del  $\text{MeCO}_3$  son constantes, sería necesario aumentar el volumen a medida que se produjera  $\text{CO}_2$  y por ésto el sistema no llegaría a alcanzar el equilibrio y la disociación sería completa.

Puede suponerse también que se fijen la presión y el volumen, en cuyo caso se alcanzará el equilibrio o mejor dicho, cesará la disociación, precisamente en el momento en que el sistema se aisle, y para que el fenómeno avance, será necesario eliminar constantemente el  $\text{CO}_2$  progresivo.

De lo anterior se puede concluir que: a).—De acuer-



do con la ley de las masas que puede aplicarse a los carbonatos, ya que tanto el  $\text{MeCO}_2$  y el  $\text{OMe}$  resultante permanecen sólidos a la temperatura de disociación, se tendrá:

$$K = \frac{P_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{Óxido}}}{P_{\text{carbonato}}} \quad (2)$$

b).—Como la presión vapor de las sustancias sólidas, permanece constante a una temperatura dada, y es independiente de las cantidades de sólidos presente, resultará:

$$K = \frac{P_{\text{carbonato}}}{P_{\text{Óxido}}} = K' = P_{\text{CO}_2} \quad (3)$$

y por tanto se puede afirmar que el equilibrio depende únicamente de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en el sistema. También se puede afirmar que como en todas las disociaciones, la presión parcial del  $\text{CO}_2$  es una medida del fenómeno.

c). De acuerdo con las afirmaciones de Nerst y Getman, las presiones parciales de cada uno de los componentes, son proporcionales a sus masas activas presentes en la mezcla gaseosa. Como las cantidades de óxido y carbonato son tan pequeñas que hasta ahora no se ha logrado medir su presión parcial en una mezcla tal, resulta que la presión parcial del  $\text{CO}_2$  puede considerarse igual a la presión total del sistema resultando en consecuencia, que:

$$K = P_{\text{CO}_2} = P_{\text{total}} \quad (4)$$

d). Se tiene, por otro lado, que siendo estos fenómenos esencialmente térmicos, a en la presión del  $\text{CO}_2$  corresponde una temperatura de disociación del carbonato, es decir:

$$T_D = \sqrt{P_{CO_2}} = \sqrt{P_{total}} \quad (5)$$

correspondiendo a cada carbonato una forma particular de la función  $\sqrt{\quad}$ .

e) -- Luego, si la temperatura de disociación queda fijada por la presión total del sistema, o sea, por la presión parcial del  $CO_2$ , la única medida posible del fenómeno, que nos queda, es el volumen de la masa gaseosa o lo que es lo mismo el volumen del  $CO_2$  producido. Entonces, si consideramos la disociación de una molécula gramo de carbonato, y representamos por D la fracción disociada, se tendrá:

$$D = k \cdot V_{CO_2} \quad (6)$$

en la que k es una constante de proporcionalidad.

Ahora bien, el volumen del  $CO_2$  es función de la presión y de la temperatura del sistema, las cuales a su vez, están relacionadas por la función que nos representa la ecuación (5). Como el volumen del  $CO_2$  producido en las condiciones normales de presión y temperatura es teóricamente:

$$(V_{CO_2})_N = 22.4 D \text{ (litros)} \quad (7)$$

Y corrigiendo este volumen por presión y temperatura, nos dá:

$$V_{CO_2} = 22.4 D \frac{T_1}{273} \cdot \frac{760}{P_1} \text{ o sea: } V_{CO_2} = 62.36 \frac{T_1}{P_1} \cdot D \quad (8)$$

siendo P, la presión total del sistema y  $T_1$ , la temperatura absoluta correspondiente; podemos calcular el valor de k para una presión determinada substituyendo el valor de V en la ecuación (6)

$$D = k \cdot 62.36 \cdot \frac{T_1}{P_1} \cdot D \quad (9)$$

de donde obtenemos que:

$$K = \frac{P_2}{0.2 \cdot 10^5 T_2} = 0.016036 \frac{P_1}{T_1} \quad (10)$$

Debe tenerse en cuenta que esta ecuación nos sirve para calcular el valor de  $k$  solamente a una presión dada y a la temperatura de disociación correspondiente, pues no hay que olvidar que hemos establecido que:

$$T_0 = T(P) \quad (11)$$

Siendo la disociación del carbonato de magnesio un fenómeno esencialmente térmico, los principales factores que influyen en su velocidad de calcinación serán:

- a). Velocidad de transmisión del calor.
- b). Velocidad de transformación del calor sensible a calor latente.

Consideremos una partícula de  $MgCO_3$  en el instante en que se inicia su disociación. Si la temperatura de los gases que rodean a la partícula es exactamente la temperatura crítica correspondiente a la presión en cuestión, podrán pensarse que la descomposición no se afecta debido a que el calor será transmitido al carbonato hasta que éste alcance la misma temperatura, y por lo tanto no pasará a la partícula más que el calor sensible necesario para elevar su temperatura hasta el punto de equilibrio, punto en que se suspende la transmisión del calor debido a la igualdad de temperatura de la partícula y el medio exterior.

Pero si recordamos que según las ecuaciones (2), (3) y (4) esto es cierto solamente cuando se trabaja en una atmósfera de  $CO_2$ , resultará que la disociación se inicia desde que el carbonato alcance la temperatura su-puesta, suspendiéndose en el instante en que el  $MgCO_3$  quede completamente rodeado por una capa de  $CO_2$ .

Ahora bien, habiéndose iniciado la calcinación o disociación del carbonato, éste queda cubierto por una capa más o menos profunda de  $MgO$ ,

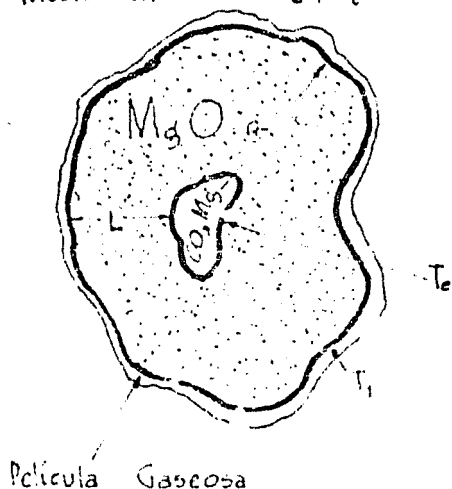
a través de la cual, por pequeños conductos, fluye al exterior el  $\text{CO}_2$  que se produce al disociarse el  $\text{MgCO}_3$ . De manera, que en un estado tal, y debido a la película estacionaria que se forma siempre que se establece el contacto entre un sólido y un gas, y al  $\text{CO}_2$  contenido en los poros de la capa de  $\text{MgO}$  que cubre al carbonato restante, resultará que la disociación se suspende apenas iniciada, pues el  $\text{MgCO}_3$  queda totalmente cubierto por una capa de  $\text{CO}_2$  en las condiciones críticas supuestas.

Por lo tanto para que la disociación prosiga será indispensable que la temperatura del medio exterior sea mayor que la de equilibrio. No puede suponerse por ello, que la temperatura del  $\text{MgCO}_3$  aumenta, puesto que a mayores temperaturas que la crítica se descompone. La interpretación que me parece ser más adecuada en este caso, es la de considerar al proceso de un modo similar a la vaporización, resultando como en ésta, que una medida del fenómeno es la velocidad de transmisión del calor, y suponer que el calor se transforma inmediatamente en calor latente al llegar al seno del carbonato.

Hecha esta suposición que entiendo no ha sido comprobada ni rechazada por ningún autor, queda exclusivamente como medida de la velocidad de calcinación, la velocidad de transmisión del calor del exterior al carbonato. En este fenómeno particular intervienen muchos factores dentro los cuales parecen ser los más notables los siguientes:

Si suponemos, como lo indica la figura esquemáticamente, que una partícula de carbonato se encuentra en plena calcinación, siendo  $T_c$  y  $P_c$  la temperatura absoluta y la presión a que se encuentran los gases que ro-

Medio Externo  $T_c, P_c$



dean a la partícula, resultará que el calor transmitido del exterior a la superficie de la partícula por conducción a través de la película gaseosa estará dado por:

$$q_t = \frac{Q_t}{\Delta t} = h A (T) \frac{T_c}{T} \quad (12)$$

siendo  $\left(\frac{Q_t}{\Delta t}\right)$  el calor transmitido por unidad de tiempo, (h) el coeficiente de transmisión del calor de la película gaseosa; (A) la superficie de la partícula; y  $(T)$  la diferencia media de las temperaturas  $T_c$  y  $T_1$ . No se ha puesto coeficiente de transmisión del calor de la película gasea simplemente  $(T_c - T_1)$  en vez de  $(T)$  porque esta diferencia no permanece debido a que  $T_1$  se acerca más a  $T_c$  a medida que el tiempo transcurrido es mayor, y por lo tanto la diferencia tendrá que ser la media entre las diferencias inicial y final.

El calor es transmitido también por radiación a la

superficie de la partícula, lo cual puede calcularse con la ayuda de la ecuación de Stefan-Boltzmann:

$$Q_2 = b A r T^4 \quad (13)$$

en la cual  $\left(\frac{Q_2}{A}\right)$  es el calor perdido por el cuerpo en cuestión por unidad de tiempo, (b) la constante de Stefan-Boltzmann cuyo valor es:

$$b = 1.72 \times 10^{-8} \frac{\text{B. T. U.}}{\text{Pies}^2 \cdot (^\circ\text{R}) \cdot \text{hora}} \quad (14)$$

(A) es el área del cuerpo en cuestión, (r) el poder radiante relativo al cuerpo negro ideal, y T la temperatura absoluta expresada en grados Rankine (Fahrenheit absolutos).

Con la ayuda de la ecuación (13) se podrá calcular el calor radiado por el horno a las partículas de  $\text{MgCO}_3$  contenidas dentro de él, y a su vez el calor radiado por las partículas al horno, siendo la diferencia de estos conceptos el calor neto aprovechado por las partículas en cuestión.

Siguiendo una serie de razonamientos y cálculos de diferenciación e integración entre las temperaturas y presiones se puede llegar a obtener la siguiente fórmula:

$$t = \frac{G}{K} \frac{H}{T_m} R \quad (15)$$

En la que  $t$  es el tiempo de calcinación de una partícula de radio R.

K es la conductividad térmica del óxido de magnesio

$T_m$  es la caída de temperatura media

H es el calor de disociación del  $\text{CO}_2$  Mg. por molécula gramo

G es una constante igual a  $1.3 \pi \rho 84 M$

$\rho$  es la densidad absoluta del  $\text{MgCO}_3$ ; 84 es el peso molecular del  $\text{CO}_2$  Mg. y M es la masa).

que sirve para conocer la proporción en que influye so-

bre la velocidad de calcinación los factores: Tamaño de las partículas y temperaturas (Tc) de los gases que las rodean.

Según la ecuación mencionada, la velocidad de calcinación varía directamente con las dimensiones lineales de las partículas, y he encontrado un comentario hecho por Knibbs en CEMENT AND LIME (Enero de 1937) a este respecto en el que resume a grandes rasgos los resultados de las observaciones obtenidas por dos investigadores diferentes, siendo también inferentes los resultados logrados. Uno afirma haber encontrado que la velocidad de calcinación del  $\text{CaCO}_3$  (que indudablemente, por su semejanza, puede suponerse igual y aun menor) que la del  $\text{CO}_3\text{Mg}$  a cualquier temperatura, y a una aproximadamente como el cuadrado de sus dimensiones lineales, de manera que un trozo de 6" se calcinará en un tiempo cuatro veces mayor que el requerido por otro de 3". La segunda opinión fué que la calcinación progresa a una velocidad constante a cualquier temperatura fija, de manera que el tiempo de calcinación varía simplemente con las dimensiones lineales, y un trozo de 6" tardara solamente el doble del tiempo que uno de 3". El comentario de Knibbs es, que de los resultados, son más correctos los primeros, aceptando la posibilidad de los segundos, solamente que en el caso de que la velocidad de transmisión a través de la capa de cal (en nuestro caso  $\text{MgO}$ ) sea tan rápida que su efecto sea despreciable comparado con la velocidad a que se alcanza el equilibrio a cualquier temperatura. Sin embargo es bien conocida el valor numérico tan pequeño que tiene la conductividad térmica del óxido de magnesio, propiedad que se aprovecha para usarlo como aislante del calor; por esta razón creo que la opinión más favorable es la relacionada con la velocidad de calcinación función del cuadrado de las dimensiones lineales de la partícula.

Queda demostrada pues con estos argumentos, el hecho de que el tamaño de las partículas es función inversa de la velocidad de reacción, por lo cual he incluido en el diagrama de flujo un molino que permita reducir el mineral dolomítico a la dimensión más pequeña, ya que lo considero una necesidad (con licción quizá) para el éxito de la operación.

No hay que olvidar sin embargo que en el caso presente se trabaja en un mineral cuya composición no es  $\text{CO}_3 \text{ Mg}$ , exclusivamente, sino que está en unión de un carbonato similar  $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ , el cual tiene la misma tendencia que el  $\text{CO}_3 \text{ Mg}$  a disociarse térmicamente en  $\text{CO}_2$  y  $\text{Ox}$ . Afortunadamente hay una diferencia de 200 a 250 Grados C. en las temperaturas críticas de ambos carbonatos. Los puntos de vista de los autores, varían muchísimo en este punto, pues Lange en el Handbook of Chemistry indica que el  $\text{CO}_3 \text{ Mg}$  se descompone a 350 grados C. Molinari da temperaturas entre 500 y 620 grados, y el Dr. Lange en su Química Industrial aconseja 900 grados C.; por lo que se refiere al  $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ , citan temperaturas de 825, 960, 1,100, grados C., y en el tomo VII de la Enciclopedia Química de Ullman he encontrado 17 diferentes temperaturas de descomposición del carbonato de calcio, expresadas por igual número de autores, pero a pesar de esta diversidad de opiniones se puede concluir sin riesgo de equivocación, que el  $\text{CO}_3 \text{ Mg}$  calcina a temperatura mucho más baja que el  $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ . Habiendo encontrado en la práctica para aquél una temperatura alrededor de los 700 grados C. Sin embargo por la teoría expuesta anteriormente, relacionado con la conducción del calor a través de la película de  $\text{OMg}$  que envuelve a las partículas de  $\text{CO}_3 \text{ Mg}$ , incompletamente calcinada por él, es preciso aumentar la temperatura al final de la operación para obtener una transformación más efectiva del carbonato en óxido. Este aumento de temperatura es el que origina generalmente una calcinación



en el  $\text{CO}_2$  Ca que se encuentra en la piedra. Hay que hacer notar muy especialmente que por ningún concepto conviene dar mucho calor en esta fase, puesto que con ello el MgO "se muere", es decir, se vuelve inactivo, perdiendo su poder para reabsorber el  $\text{CO}_2$ , lo cual redundaría en perjuicio del rendimiento final de producción.

El tiempo de calcinación es factor que influye directamente en los buenos resultados de la misma (aunque como acabo de decir un calentamiento prolongado perjudica a MgO) y depende como se ve por la fórmula, de las condiciones particulares de cada caso, de la cantidad de mineral, tamaño y forma del horno, etc.: en horno giratorio de 60 revoluciones por hora, trabajando con 500 kilos de dolomita y usando combustible líquido que alimenta el quemador que introduce la llama al horno, he obtenido resultados satisfactorios calcinando durante 10 h. a una temperatura que varía de 675 hasta 775 grados C. al final de la operación.

El consumo teórico de combustible puede calcularse en cualquier caso, tomando como base su poder calorífico, y teniendo en cuenta el calor necesario para disociar el  $\text{CO}_2$  Mg, su  $\text{CO}_2$  Ca, que también, el  $\text{CO}_2$  Ca consume calor, para estar en equilibrio térmico con el  $\text{CO}_2$  Mg.

Quiero hacer la consideración de que el éxito de una calcinación depende en su mayor parte del control preciso de la temperatura que se maneja durante ella, por lo cual, no hay que contentarse únicamente al proyectarse de un buen proyecto, termo-couple, con cualquier sistema de control, contentando en cualquier caso, tomar la práctica estricta, pendiente a cada operación, que pueda permitir llegar a finar las condiciones, optimas, de tiempo y temperatura que en igualdad de circunstancias, requiere en el caso.

HIDRATACION Y CARBONATACION: El pro-

ducto calcinado se hace suspender en agua con el fin de formar  $Mg(OH)_2$  según:



y poder saturarlo después con  $CO_2$  para su transformación en  $(CO_3 H)_2 Mg$ .

Se emplea para el caso un tanque con agitador de paletas, utilizando la cantidad de piedra calcinada según la capacidad del mismo y el resultado dado por el análisis; para calcular la cantidad de piedra se procede de la siguiente manera: Vamos suponiendo que la cantidad del hidratador (que debe estar de acuerdo con la del, o de los saturadores) es de 2.000 litros. Por otro lado partiremos de la base (como prácticamente lo he efectuado, sien lo lo insertado a continuación un hecho numéricamente real) que la dolomita utilizada es 36% de pureza en  $CO_3 Mg$ ; se ha verificado una calcinación de 500 kilogramos, y al final de la operación (10 h.) ha sufrido una pérdida de peso de 107 kilos.

Base: 500 Kls. de dolomita de la composición siguiente:

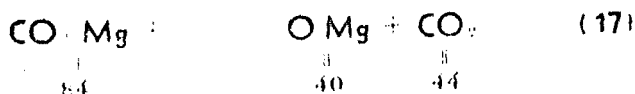
Humedad: . . . . .	1.6 %
$CO_3 Mg$ : . . . . .	36.0 %
$CO_3 Ca$ : . . . . .	56.4 %
Oxido de Fe, y residuo insoluble: . . . . .	6.0 %

Peso final después de la calcinación: . . . . . 393 Kls.

La pérdida debida a la humedad es de:  $1.6 \times 5 = 8$  Kls.

La pérdida debida al  $CO_2$  desprendido será por consiguiente solamente de . . . . . 99 Kls.

Suponiendo por otro lado, que todo el  $CO_3 Mg$  se transformó a  $OMg$ , entonces la pérdida de peso que debería haberse obtenido según la reacción:



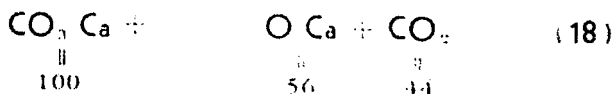
sería:  $36 \times 5 \times 44 \dots \dots \dots 94.2 \text{ Kls.}$   
 $84$

Dentro de lo supuesto, se encuentra que hay una diferencia entre el  $\text{CO}_2$  desprendido en la práctica y el teórico de:  $\dots \dots \dots 4.8 \text{ Kls.}$

Cifra que corresponde lógicamente al  $\text{CO}_2$  desprendido por el  $\text{CO}_3 \text{ Ca}$  que se calcinó.

No habiendo un método analítico que permita apreciar exactamente la cantidad de  $\text{OMg}$  y  $\text{OCa}$  que hay en la piedra calcinada, procedo por tanteos, suponiendo siempre que todo el  $\text{CO}_3 \text{ Mg}$  se calcinó, lo cual, en el caso de no ser verdad, sería un coeficiente de seguridad que serviría para fijar en forma más cierta la cantidad de agua que tiene que añadirse.

Ahora bien, tomando en cuenta que:



se tiene, que los 4.8 Kls. de  $\text{CO}_2$  que se ha encontrado fueron desprendido, por el carbonato de calco corresponden a:  $4.8 \times 100 \dots \dots \dots 10.9 \text{ Kls.}$   
 $44$

de  $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ , que en su calcinación han producido:  $10.9 - 4.8 \dots \dots \dots 6.1 \text{ Kls.}$   
 de  $\text{OCa}$ .

Establecido lo anterior se puede formar el siguiente cuadro estequiométrico que es el balance de material de la calcinación:

SUBSTANCIAS	SIN CALCINAR	CALCINADO
Humedad	8.	
CO <sub>3</sub> Mg	180.	
CO <sub>3</sub> Ca	282.	271.1
MgO		85.8
CaO		6.1
Oxido de Fé y Residuo	30.	30.
TOTAL:	500	393

De lo anterior se puede deducir fácilmente que la composición centesimal del OMg en la piedra calcinada es: . . . . . 21.8

dato necesario para determinar la cantidad de piedra calcinada que hay que añadir al hidratador tomando en cuenta la solubilidad del CO<sub>3</sub> Mg, que el OMg origina, en agua saturada de CO<sub>2</sub>.

Esa solubilidad, según Engel y Ville es, a la temperatura de 18 grados C.

PRESION EN ATMOSFERAS	GRS. X LITRO DE CO <sub>3</sub> Mg
1	25.79
2.1	33.11
3.2	37.30
4.7	43.50
5.6	46.20
6.2	48.51
7.5	51.20
9	54.1

Ahora bien, el óxido de magnesio contenido en 100 kilos de piedra calcinada convertido en CO<sub>3</sub> Mg, corresponde a: 84 x 21.8 . . . . 45.8 Kls.

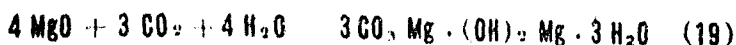
por tanto para una capacidad de 2,000 litros serán necesarios:

$48.5 \times 2,000 \times 100 \dots \dots \dots 212$  kilos de piedra calcinada.

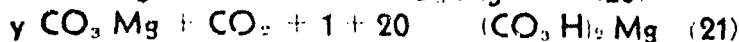
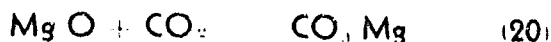
Considero que el presente método es exacto (por los resultados obtenidos prácticamente) siempre que se compruebe con un análisis del  $\text{CO}_2$  contenido en dicha piedra, procediendo en seguida por el método de prueba y error, lo cual es muy sencillo teniendo todos los datos que hemos encontrado. De esta manera se puede determinar exactamente la cantidad por ciento de  $\text{OMg}$  en la piedra calcinada, y por consiguiente, la cantidad necesaria por litro de agua, base fundamental para que exista el equilibrio durante la carbonatación, pues si se añadiera al hidratador mayor cantidad de óxido de magnesio que el requerido por su capacidad y la solubilidad del  $\text{CO}_2$   $\text{Mg}$  en el agua carbónica, quedaría después de la carbonatación una parte de  $\text{Mg}$  en forma de  $\text{CO}_3$   $\text{Mg}$  que sería desperdiciado por resultar en el filtro prensa junto con los lodos de carbonato de calcio.

La carbonatación tiene por objeto como ya lo he explicado, transformar el  $\text{OMg}$  que entra al carbonatador en forma de  $\text{COH}_2$   $\text{Mg}$  en  $\text{CO}_3$   $\text{H}_2$   $\text{Mg}$  aprovechando la solubilidad que tiene el  $\text{CO}_2$   $\text{Mg}$  que primero se forma en agua saturada de gas carbónico.

Se lleva a cabo en aparatos consistentes de tanques provistos de agitadores de paletas para permitir la mejor absorción del  $\text{CO}_2$  en el agua por el movimiento que imparten a la solución; están cubiertos con una chaqueta de refrigeración con el fin de aumentar la solubilidad del  $\text{CO}_2$  en el agua y mantener una temperatura baja que influye en la velocidad de la reacción. La reacción total que tiene lugar en la obtención del hidrocarbonato de magnesía, es:



Sin embargo, se ha venido descomponiendo en fases, encontrándose actualmente con que:



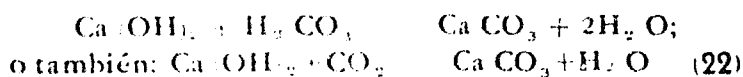
independientemente de la reacción similar del carbonato de calcio.

En esta operación deben llenarse las siguientes condiciones de equilibrio:

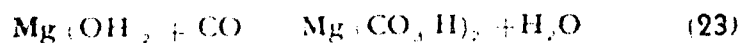
a). La mayor cantidad posible de Ca en forma de  $\text{CaCO}_3$  precipitado, es decir, fuera de la solución, con el fin de que el Mg que queda en la solución sea lo más puro posible.

b). Todo el Mg disuelto, estando la mayor parte en forma de  $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ , y el resto en forma de  $\text{MgCO}_3$ .

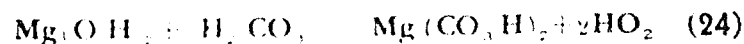
Es decir, en la solución se encuentran presentes las siguientes sustancias:  $\text{CO}_3 \text{Ca}$ : debido a que no se descompuso el  $\text{CaCO}_3$  original o a que:



$\text{CO}_3 \text{Mg}$ : debido a la acción del  $\text{CO}_2$  sobre el  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



$(\text{CO}_3 \text{H})_2 \text{Mg}$ : debido a la acción del  $\text{H}_2\text{CO}_3$  sobre el  $(\text{OH})_2 \text{Mg}$

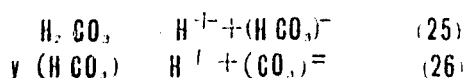


$\text{H}_2\text{CO}_3$ : que es el  $\text{CO}_2$  en solución acuosa.

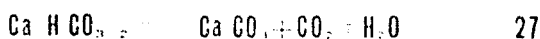
Es muy poco probable que en la solución se encuentre bicarbonato de calcio, pues aún suponiendo que todo el carbonato original se calcinó disociándose y dando  $\text{CaO}$  y  $\text{CO}_2$  al reaccionar el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{H})_2$ )

con el  $H_2CO_3$ , la tendencia principal del fenómeno será hacia la formación del compuesto menos soluble que es el  $CaCO_3$ . Ahora bien, si agregamos a ésto el hecho de que también se forma  $MgCO_3$ , lo cual disminuye la solubilidad del  $CaCO_3$ , tendremos otro factor más a favor de este argumento.

Podría presentarse como argumento contra el razonamiento anterior, el hecho de que también existen las posibilidades de formación del  $Ca(HCO_3)_2$  y  $Mg(HCO_3)_2$ , puesto que el  $H_2CO_3$  tiene dos fases de disociación:

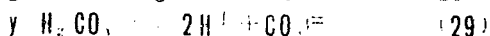
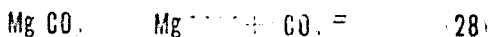


pero siendo la cantidad total de  $Mg(CO_3, H)_2$  mucho más grande que la que pudiera haber de  $Ca(HCO_3)_2$ , pues es condición del problema el que se encuentre casi todo el  $Ca$  fuera de la solución, puede tenerse por cierto, que prácticamente los iones  $(HCO_3)^-$  presentes en la solución y debidos al  $Mg(HCO_3)_2$  son suficientes para mantener al  $Ca(HCO_3)_2$  fuera de la solución. Ahora bien, como los bicarbonatos alcalinotérreos no se conocen en estado de libertad, pues siempre se descomponen de acuerdo con:



Resulta que lo que precipita es  $CaCO_3$ .

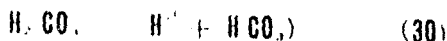
Por otro lado, sabemos que el  $MgCO_3$  y el  $H_2CO_3$  pueden disociarse de la siguiente manera:



es decir, si los dos pudieran permanecer como tales en la solución, debido a la presencia del ión común  $(CO_3)^=$  se abatiría la solubilidad de ambos, resultando con eso,

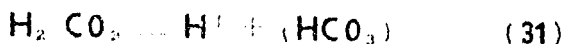
un absurdo la afirmación de todos los autores.

Pero si recordamos que el  $\text{CO}_2$  se disocia primero según la reacción:



resulta evidente, que teniendo iones  $\text{Mg}^{++}$  en la solución, se forme  $\text{Mg}(\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ .

De lo cual resulta que la solubilidad del  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  no es más que el equilibrio de la reacción:



Podemos darnos cuenta con todo lo asentado hasta aquí, que esta operación depende exclusivamente de las solubilidades del  $(\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$  Mg, y del  $\text{CO}_2$ , aprovechándose al mismo tiempo la insolubilidad del  $\text{CaCO}_3$  aumentada por la presencia del  $\text{CO}_2$  Mg. Para aumentar la solubilidad del  $\text{CO}_2$  se procura, como ya lo he dicho, recubrir los saturadores con una chaqueta de refrigeración que permita mantener una temperatura baja, y aumentar así la solubilidad del gas, que por la misma razón se inyecta a presión, (ley de Henry). Siendo la parafina, el carbón, y el aceite, sustancias que retienen al gas, se aconseja añadir alguna de estas sustancias, para acelerar la operación, y aumentar el rendimiento.

Para corroborar lo relacionado con la carbonatación y solubilidad, que ha sido explicado en el presente estudio, inserto a continuación lo que al respecto dice Elton L. Quinn en su tratado sobre gas carbónico: "... así hemos encontrado que a 18 grados centígrados, la solubilidad del carbonato de magnesio en agua saturada con gas carbónico, es aumentada conforme se aumenta la presión del  $\text{CO}_2$  hasta 18 atmósferas, no sufriendo ningún aumento en dicha solubilidad, entre esta presión y 56 atmósferas. En el punto de su máxima solubilidad, la solución contiene 7.49 grs. de  $\text{CO}_2$  Mg, o 13



grs. de  $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ , por cada 100 grs. de agua. La solución de  $(\text{CO}_3)_2 \text{Mg}$  obtenida a grandes presiones de gas carbónico es bastante estable a la temperatura ordinaria, pero si se calienta a 65 grados C., se produce un vigoroso desprendimiento de  $\text{CO}_2$ , junto con la precipitación de  $3 \text{CO}_2 \cdot \text{Mg}, \text{Mg}(\text{OH})_2, 3 \text{H}_2\text{O}$ . Respecto a la velocidad de disolución sigue diciendo Quim . . . . . midiendo las solubilidades de los compuestos de Mg en agua carbónica, hemos encontrado que la disolución del MgO o del  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  son muy rápidas, mientras que el  $\text{CO}_2 \text{Mg}$  se disuelve más lentamente. . . . .” Esta última consideración es una de las razones porqué la dolomita debe ser primeramente calcinada.

PRECIPITACION: Una vez obtenido el líquido claro del filtro-prensa, conteniendo en solución únicamente  $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ , se procede a precipitar el hidrocarbonato, hirviendo el líquido hasta precipitación completa del producto. No habiendo logrado encontrar ningún dato relacionado con el calor específico de las soluciones de bicarbonato, me es imposible calcular la cantidad de calor necesario para llevar a cabo la precipitación del hidrocarbonato de Magnesio.

## IV

# APLICACION DE LA INGENIERIA

## QUIMICA

OPERACIONES UNITARIAS. De acuerdo con el diagrama de flujo expuesto, las operaciones unitarias que se llevan a cabo en el proceso son las siguiente:

- a). Quebrado y molienda.
- b).—Calcinación (Transmisión del calor)
- c). Compresión de gases y absorción de los mismos.
- d). Filtración.
- e).—Evaporación. (Considerando como tal, la precipitación del hidrocarbonato por la ebullición del líquido obtenido del filtro-prensa).
- f). Secado.
- g). Flujo y transporte de fluidos.

Y los aparatos correspondientes a dichas operaciones, son, respectivamente:

- a).—Quebradora y molino.
- b). Horno.
- c). Compresor, Scrubbers y saturador.
- d). Filtro-prensa y filtro de vacío.
- e). Evaporador.
- f). Secador de túnel y rotatorio.
- g). Tubería, Válvulas, bombas.

**DESCRIPCION DE LOS APARATOS.** Tomando como base una producción diaria de 200 kilos de hidrocárbonato, describiré a continuación las dimensiones o capacidad de los aparatos requeridos para una instalación de esa naturaleza, estando a las ellos sujetos a una reconsideración, ya que el presente sólo debe tomarse como un verdadero ante proyecto, sin tomar en cuenta condiciones específicas para el caso.

Partiendo de la base de la materia prima con que se ha venido desarrollando este estudio, la cantidad de dolomita necesaria para la producción establecida se calculará como sigue:

Peso molecular del $3\text{CO}_2, \text{Mg}(\text{OH})_2, \text{Mg} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	364.
Composición centesimal del Mg en el hidrocárbonato	26.5
Mg en 200 kilos de hidrocárbonato	53. Kls.
Peso Molecular del $\text{CO}_2, \text{Mg}$	84.
Composición centesimal del Mg en el $\text{CO}_2, \text{Mg}$	28.5
Como en la dolomita de trabajo hay 36% de $\text{CO}_2, \text{Mg}$ , la composición centesimal del Mg en ella, será de: $0.26 \times 28.5$	10.2
Teóricamente se ocuparán: $53 \times 100 \div 102$	515. Kls.
Suponiendo un rendimiento de 80%, se ocuparán: $516 \div 0.8$	650. Kls.
Como el peso específico de la dolomita es 2.8, el volumen ocupado por dicha cantidad, será: $650 \div 2.8$	232. lts.

**QUEBRADORA.** Se usará una quebradora tipo "DODGE" de ALLIS CHALMERS, con dimensiones de 7" x 9", que admite 1000 kilos por hora de alimentación, dando un producto de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, y consumiendo 6 caballos de fuerza.

**MOLINO.** Se usará un molino de martillos tipo "JEFFREY swing", con dimensiones de 15x18 pulgadas (usados especialmente para moler piedra caliza), para admisión de una o dos toneladas de mineral de una pulgada, por hora, con un consumo de 10 h. p. adicionándosele un equipo de separación de aire.

**HORNO.** Es un punto muy discutido la clase y tipo de horno que debe usarse en instalaciones de esta especie; en el diagrama de flujo se ha especificado un horno vertical semejante a los hornos de cal, tipo que conviene usar en el caso de fabricación simultánea de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  precipitado y  $\text{CO}_3\text{Mg}$ , en donde se requiere una calcinación total de la dolomita, pudiendo cargarse el horno con la piedra sin moler; pero por la teoría que se ha venido exponiendo, y en el caso presente en que se pretende calcinar exclusivamente el  $\text{CO}_3\text{Mg}$ , se usará un horno rotatorio horizontal, con su correspondiente revestimiento interno de ladrillo refractario, trabajando a una velocidad de 60 revoluciones por hora y con sistema de control de temperatura. Puesto que el tiempo de calcinación se ha venido suponiendo de 10 horas, se usará un horno que tenga capacidad para operaciones de doble cantidad que la necesaria diariamente, es decir, 1.300 kilos. Por tanto, tomando en cuenta el volumen ocupado por la piedra (164 litros), puesto que ha de llenar el horno hasta las 2/5 partes de su capacidad total, ésta será de 1.200 litros, y las dimensiones probables del horno: 85 centímetros de diámetro medio, interno y 2.10 mts. de longitud. Este aparato conviene que tenga cuerpo para el enfriamiento del producto y calefacción del aire, que se usara en la combustión o en el secador rotatorio.

**HIDRATADOR Y CARBONATADORES.** Se han supuesto 650 kilos diarios de dolomita de la composición establecida en el estudio químico, mismo de donde se puede determinar el agua requerida, que es:

393 x 20.00 x 650 ..... 4.550 litros

212        500

Se usará por tanto, para hidratador, un tanque con capacidad de 2.300 litros.

La capacidad anterior es la misma de los saturadores o carbonatadores, que serán dos tanques cilíndricos (de 2.300 lts. c. u.) cerrados, de paredes resistentes provistos de agitador (lo mismo que el hidratador,) con dos mamparas colocadas opuestamente sobre sus paredes internas con el fin de lograr una agitación efectiva; deberán estar provistos de un sistema para la inyección del  $\text{CO}_2$  a presión, un manómetro, una llave de purga y muestreo, de un orificio ancho con tapón, en la parte superior, para la carga, y de una válvula en la parte inferior para la descarga. Estarán recubiertos por una chaqueta para la circulación de agua de enfriamiento durante la operación. La carbonatación se controla por el pH. de la solución, y por el  $\text{CO}_2$  gastado en saturarla.

**SCRUBBERS.** Los gases que salen del horno deberán de pasar, antes de llegar al compresor, por dos Scrubbers para lavarse de las impurezas, y lograr comprimir así  $\text{CO}_2$  puro. Se utiliza para ello dos tanques cilíndricos de 40 centímetros de diámetro y 2.25 metros de altura que tienen en la parte inferior una placa con perforaciones que se encuentra sosteniendo los trozos de piedra pómez con que se llena el aparato; en la parte superior se encuentra una rociadora que introduce el agua que lava el  $\text{CO}_2$  en contra corriente. Antes de entrar el gas al compresor se hace pasar por un pequeño tanque cilíndrico de 30 centímetros de diámetro y 50 centímetros de alto lleno de fibra de asbesto, con el fin de retener cualquier partícula de piedra que haya arrastrado el gas, y que si llegara al compresor dañaría el pistón.

**COMPRESOR.** El gas carbónico desprendido de la calcinación de 1,300 kilos de dolomita será:

1300 x 99.....257 kilos en 10 horas.

500

Si se toman en cuenta los gases del combustible, y la eficiencia del compresor, podemos duplicar esta cifra, teniendo entonces, que entrarán al compresor por hora:

257 x 2.....51 Kgs CO<sub>2</sub>

10

Para encontrar su volumen se aplica:

$$\frac{P_o V_o}{T_o} = \frac{P_i V_i}{T_i} \text{ en donde}$$

$$P_o = 760 \text{ m.m}$$

$$V_o = 359 \text{ cu. ft.} \times \frac{51 \times 2.2}{44}$$

$$T_o = (460 + 32)^{\circ} \text{ R}$$

$$P_i = 635 \text{ m.m. (Guadalajara)}$$

$$T_i = 19^{\circ} \text{ C} = (460 + 65)^{\circ} \text{ R}$$

$$\text{se tiene, que: } V_i = V_o \frac{P_o T_i}{P_i T_o}$$

$$\text{y, } V_i = 359 \frac{51 \times 2.2}{44} \times \frac{760}{635} \times \frac{525}{492} = 1.200 \text{ cu ft.}$$

Que comprimidos a 7 atmosferas ocuparán un desplazamiento de:

1,200.....171 pies cúbicos de CO<sub>2</sub> por hora

7

Se ocupará por tanto un compresor WORTHINGTON, horizontal de simple paso, movido por manivela, con cilindro de 8 1/2 pulgadas de diámetro y 9 pulgadas de carrera. Este compresor lleva una chaqueta de enfriamiento, y la lubricación se efectúa con aceite muy refinado, o en el peor de los casos con glicerol.

FILTRO-PRENSA. Se usarán dos filtro prensas

marca POK de 25 placas y 24 marcos cada uno, siendo las dimensiones de las placas y los marcos: 60x60 centímetros (medida exterior;) los marcos miden interiormente 45x45 centímetros, siendo por consiguiente el área de filtración de cada filtro prensa 198 pies cuadrados. Estos aparatos trabajando a presión constante, producen a 50 libras 30 litros por minuto de filtrado.

**PRECIPITADOR:** Puesto que la precipitación del bicarbonato se efectúa por medio del calentamiento (ebullición) del líquido claro, se usará un tanque de 1.30 mts. de diámetro y 1.50 m's. de alto, provisto de serpentines para el calentamiento, o inyección directa del vapor.

**FILTRO DE VACIO:** Para mayor rapidez en la operación, cuando se pretenda obtener hidrocarbonato en polvo se usará un filtro de vacío, FIMCO, de dos discos, formados por sectores, siendo el diámetro de cada disco de 1.20 mt. estando cubiertos con tela filtrante, siendo el área de filtración de 22 pies cuadrados por disco, de 1.20 mt. estando cubierto con tela filtrante, de fuerza.

**SECADOR ROTATORIO:** Se usará un secador rotatorio BUFLOVAK, de 5 pies de longitud y 70 cms. de diámetro, alimentado por aire, que previamente se ha calentado al atravesar los fluses con circulación de vapor que se encuentra antes del secador. Conviene adicionar a este aparato un sistema semejante al de los separadores de aire, con el fin de retener las partículas, que una vez secas sean arrastradas por el aire.

**SECADOR DE TUNEL:** Cuando se trata de fabricar el hidrocarbonato en panes, se usa un secador de túnel, que en nuestro caso sería:

Producto húmedo . . . . .	1,700 kilos
Producto seco . . . . .	200 ..
Agua evaporada en 20 horas . . . . .	1,500 ..

Dimensiones de los moldes usados: 25 x 25 x 8 cms.

Peso por molde (húmedo) . . . 7 kgs.

Número de moldes por operación 243

Puerta del secador: 1.10 mts. de alto x 1 m. de anchura

Dimensiones de los carros: base: 1 mt. x 0.95 mt.; altura totalmente 1.07 mts.

Número de moldes por carro . . . 36

Longitud del túnel 10 mts.

Por medio de la carta de humedad se determinarán las humedades correspondientes a las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo tomadas de la práctica de la operación.

Revisada por el Sr. Ing. Alberto Lancaster Jones, Director de la Fac. de Ciencias Químicas.



## BIBLIOGRAFIA

- PERRY.**—Chemical Engineers Handbook.
- ULLMANN.**—Enciclopedia de química industrial.
- WOODS AND BAILEY.**—Industrial Chemical calculations.
- CALVET.** Química general aplicada a la industria.
- MOLINARI.** Química industrial inorgánica.
- LANGE.**—Química industrial.
- E. L. QUINN.** Carbon dioxide.
- BADGER AND MC. CABE.** Elements of chemical engineering.
- WALKER LEWIS AND MC. ADAMS.**—Principles of chemical engineering.
- LANGE.** Handbook of chemistry.