

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**



---

---

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA PRODUCCION DE  
CARBONATO BASICO DE COBRE  $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**P R E S E N T A**

**AMPARO TAMAYO DIAZ**



**1981**



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.

## I N D I C E

	Pag.
<b>I Introducción.</b>	
Propiedades Físicas del cobre.....	2
Reacciones típicas del cobre, para formación de compuestos.....	4
Características de los minerales de cobre.....	5
Características del carbonato básico de cobre.....	7
Usos del carbonato básico de cobre.....	8
<b>II Proceso de fabricación del carbonato básico de cobre.</b>	
Primera etapa del proceso.....	14
Segunda etapa del proceso.....	19
<b>III Diseño de la planta.</b>	
Estequiometría del proceso:	
Reacciones básicas.....	23
Volumen mínimo de sulfato de sodio.....	24
Volumen mínimo de sulfato de cobre.....	26
Volumen mínimo de carbonato de sodio.....	28
Balance de carbonato de sodio para 1 tonelada de producto.....	30

	Pag.
Balace de sulfato de cobre para 5 toneladas de producto.....	31
Balace de carbonato de sodio para 5 toneladas de producto.....	32
Cantidad de cobre para 5 toneladas de producto.....	33
IV Diseño de equipo.	
Diseño del reactor 2 <sup>a</sup> etapa.....	36
Diseño del reactor 1 <sup>a</sup> etapa.....	37
Selección del soplador.....	38
V Control químico del proceso.	
Solución de ácido sulfúrico.....	47
Solución de carbonato de sodio.....	50
Carbonato de cobre.....	54
VI Consideraciones económicas.	
Diagrama de flujo.....	61
Costo del tanque de ácido sulfúrico.....	62
Costo de tanques de soporte.....	66
Costo del reactor de 2 <sup>a</sup> Etapa.....	68
Costo de tanques de asentamiento.....	69
Selección y costo del agitador.....	71

	Pag.
Costo del tanque de agitación.....	72
Selección y costo de bombas.....	73
Costos por concepto de materia prima.....	74
Consideraciones económicas por ventas.....	75
Consideración económica general.....	76
Consideración de gastos por concepto de materia prima.....	77
Conclusiones.....	79
Apéndice.....	81

# C A P I T U L O I

## INTRODUCCION

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El cobre, es uno de los metales de más trascendencia - en la historia del hombre y presenta, como otros metales, importantes propiedades físicas y químicas, necesarias para comprender su naturaleza y poder utilizarlo en múltiples operaciones.

De acuerdo con lo anterior, el cobre es el primer elemento del subgrupo IB en la tabla periódica, junto con el oro y la plata. De los tres elementos, el cobre es el más activo químicamente, pues forma una serie de sales cuprosas en el estado de oxidación más uno ( $\text{Cu}^{+1}$ ).

También forma la serie de compuestos bivalentes cúpricos que son más estables que los compuestos univalentes; existen también los compuestos trivalentes, reportados últimamente, los cuales también son estables, pero siempre incluyen al cobre nativo y son relativamente inactivos.

63      65

Presenta dos isotopos naturales  $\text{Cu}^{63}$  y  $\text{Cu}^{65}$ , encontrados en la naturaleza en proporciones de 69 y 31% respectivamente. Cristaliza en el sistema C.C.C., en octaedros y otras for--

....

mas de sistemas cristalinos simétricos.

(8)

Las propiedades físicas del cobre, se resumen en la tabla siguiente:

Peso Atómico	63.57
No. Atómico	29
Punto de Fusión	1083°C.
Punto de Ebullición	2595°C.
Gravedad Específica (Cu puro)	8.94
Gravedad Específica (Cu nativo)	8.84
Gravedad Específica (Cu mineral)	8.36
Calor Específico (a 20°C)	0.0918 cal/g.
Calor Latente de Fusión (a 20°C)	48.9 cal/g.
Coefficiente de expansión lineal (a 20°C).	0.016 x 10 <sup>-3</sup> /°C
Viscosidad (a 1145°C)	1,104 dinas/cm.
Dureza (escala Mohs)	3.0
Potencial electrolítico (a 25°C)	
(contra H <sub>2</sub> =0):	Cu <sup>0</sup> -0.52 Volts.
	Cu <sup>2</sup> -0.337 Volts.

'ATD/atd.



La resistencia específica del cobre puro es igual a --  
1.682 x 10<sup>-6</sup> /Ohm-cm; sin embargo, ciertas impurezas (8) tales como el arsénico y fósforo le incrementan su resistencia específica.

El cobre elemental es resistente a soluciones alcalinas, con excepción de los compuestos amoniacales. Su ataque por ácidos minerales y orgánicos depende, en gran parte, de la presencia de un agente oxidante en solución. El cobre también resiste la oxidación por vapor de agua y generalmente tiene buena resistencia a muchas soluciones alcalinas.

Tiene muy poca resistencia a la corrosión por azufre o sus compuestos, aunque aleandolo con zinc para producir los bronzes, aumenta grandemente su resistencia al azufre.

Aunque el cobre no desplaza hidrógeno de los ácidos, se disuelve fácilmente en ácidos oxidantes, tales como ácido nítrico o soluciones ácidas que contienen un agente oxidante como el ácido sulfúrico que contiene sulfato férrico, o simplemente oxígeno atmosférico disuelto.

Algunas reacciones típicas del cobre son por ejemplo las enunciadas a continuación: ....

'ATD/atd.



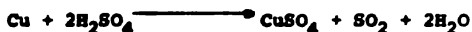
Reacción que se efectúa espontáneamente a 300°C.



Oxido cuproso que se forma arriba de los 1000°C.



Formada a elevadas temperaturas, así también se forman los seleniuros de cobre y los telururos.



En condiciones de acidez en caliente.



El yoduro se debe formar de la misma manera que el cloruro.

Su relativa resistencia a la corrosión por agua y condiciones atmosféricas normales, le atribuyen una gran utilidad; debido a la oxidación y reacción con el agua, el cobre forma los sulfatos básicos de cobre, tales como  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  y -----  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$  y en algunos depósitos el carbonato básico de cobre puede estar presente.

Los minerales oxidados y los minerales sulfurados de cobre se han convertido en importantes fuentes de obtención del metal primario. En la tabla I se muestran las principales características de los minerales más representativos de cada grupo.

'ATD/atd.

De los minerales sulfurados que se mencionan, la Enargita, La Bornita y la Calcopirita, se consideran como minerales primarios que fueron depositados por procesos ígneos de las profundidades de la corteza terrestre. Minerales como la Covelita y la Calcocita, se formaron como depósitos secundarios de cobre, debido a su precipitación de las soluciones acuosas de minerales sulfurados cercanos a la superficie.

Por otra parte, los minerales oxidados como la Crisocola, la Malaquita y la Azurita, fueron formados a través de la oxidación ejercida por la atmósfera sobre los sulfuros superficiales. El cobre nativo se localiza preferentemente en las zonas oxidadas de un depósito mineral y tiene el origen característico de los minerales oxidados.

Los depósitos de cobre porfirico ocupan un lugar de importancia entre las fuentes de obtención de cobre primario. El término "porfirico" se aplica generalmente a un tipo de depósito de cobre que contiene los valores metálicos diseminados en el cuerpo mineralizado; son de origen ígneo y se caracterizan por el hecho de que una gran proporción de los minerales presentes se distribuyen de manera uniforme a lo largo de pequeñas hendiduras.

'ATD/atd.

Las menas de cobre que se encuentran actualmente en explotación contienen menos de 1.2% de cobre, constituyendo la ganga el resto del yacimiento. La ganga contiene generalmente valores comerciales como plata, oro, molibdeno, platino, selenio y níquel que se trabajan como subproductos de extracción.

Ahora bien, para numerosas aplicaciones en la industria, no son convenientes ni usados los compuestos de cobre de origen natural, ya sea por estar impurificados o por no ser apropiada su forma de combinación, de tal suerte que, para tal objeto, deben prepararse compuestos de cobre artificialmente. Esto también es válido para el más importante compuesto de cobre; el sulfato, que en la mayoría de las veces se requiere como materia prima para producir compuestos de cobre secundarios. Tal es el caso del carbonato básico de cobre que aún encontrado como mineral en la naturaleza, se prepara artificialmente a partir del sulfato de cobre para poder utilizarse con fines comerciales.

(1)  
Según V. Pickering (J.S.C. 1909), los estados de combinación que presenta el carbonato básico de cobre comercial, se aproximan a la fórmula del mineral Malaquita; en la actualidad los carbonatos cúprico y cuproso no han podido aislarse y existen dudas acerca de la existencia de la forma cu-

.....

'ATD/atd

prosa. Se han descrito numerosos carbonatos cúpricos básicos -- con diversas relaciones  $\text{CuO}:\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O}$ , pero realmente de estos sólo existen dos carbonatos de origen natural: La Malaquita ---- ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) y la Azurita ( $2\text{CuCO}_3 \cdot (\text{OH})_2$ ), que molidos dan -- pigmentos verdes y azules respectivamente.

Ahora, dentro de la industria actual, sólo es conocido el carbonato cúprico básico ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) producto artificial de calidad comercial y con las caractefísticas físicas siguientes: (3) P.M. 221. P.F.  $200^\circ\text{C}$ ., P.e. 3.7 a 4.0 y un grado de basicidad dependiente de las condiciones de la precipitación en el proceso de obtención.

(4)  
Se fabrica industrialmente , tratando una solución -- medianamente caliente de sulfato cúprico con otra solución de -- carbonato sódico en condiciones de operación relativamente sencillas y dejando en la fase final del proceso la separación por lavado del sulfato de sodio, la depositación del lodo resultante --que es el carbonato básico-- y la filtración y secado de éste. El carbonato de cobre así producido, se vende en las calida des técnica y Q. p. en frascos, cuñetes, barriles y otras presentaciones comerciales que deben llevar la etiqueta "PELIGRO -- VENENO", pues ingerido por el hombre es altamente tóxico; además la etiqueta es una norma requerida de seguridad.

prosa. Se han descrito numerosos carbonatos cúpricos básicos - con diversas relaciones  $\text{CuO}:\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O}$ , pero realmente de estos sólo existen dos carbonatos de origen natural: La Malaquita ---- ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) y la Azurita ( $2\text{CuCO}_3 \cdot (\text{OH})_2$ ), que molidos dan -- pigmentos verdes y azules respectivamente.

Ahora, dentro de la industria actual, sólo es conocido el carbonato cúprico básico ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) producto artificial de calidad comercial y con las características físicas siguientes: (3) P.M. 221. P.F.  $200^\circ\text{C}$ ., P.e. 3.7 a 4.0 y un grado de basicidad dependiente de las condiciones de la precipitación en el proceso de obtención.

(4) Se fabrica industrialmente , tratando una solución - medianamente caliente de sulfato cúprico con otra solución de - carbonato sódico en condiciones de operación relativamente sencillas y dejando en la fase final del proceso la separación por lavado del sulfato de sodio, la depositación del lodo resultante -que es el carbonato básico- y la filtración y secado de éste. El carbonato de cobre así producido, se vende en las calidades técnica y Q. p. en frascos, cuñetes, barriles y otras presentaciones comerciales que deben llevar la etiqueta "PELIGRO - VENENO", pues ingerido por el hombre es altamente tóxico; además la etiqueta es una norma requerida de seguridad.

En cuanto a sus usos, este carbonato tiene infinidad de aplicaciones en diversas ramas de la economía nacional. Principalmente se cita a la industria agroquímica, donde es ampliamente usado como fungicida inorgánico de amplio espectro. Dentro de otras aplicaciones importantes que tiene, pueden enumerarse las siguientes:

- Mordiente para semillas combatiendo internamente animales dañinos de las plantas.
- Fungicida, para tratar especialmente las semillas de soygo y trigo.
- Como insumo en la preparación de comida de aves y ganado porcino.
- Nematicida, contra enfermedades parasitarias de algunos vegetales.

En la industria Farmaceutica se usa como:

- Astringente en pomadas.

.....

- En cantidades pequeñas, como antídoto para envenenamiento por fósforo o fertilizantes.

**En la Industria Química:**

- Como agente químico, para impartir al latón un color negro.
- Para pigmentos en cerámica, pinturas y barnices.
- Para compuestos pirotécnicos impartiendo el color verde azul.
- Para colorear papeles en diversas tonalidades verdete-verde, verdete-azul, verdete-bremen.

De acuerdo a lo anteriormente descrito y al creciente aumento en la demanda de este compuesto, es de señalarse como se ha desarrollado su producción en nuestro país.

En los últimos años, la producción nacional de este compuesto ha sido mucho muy reducida en comparación con la producción de otros compuestos de cobre, sin embargo, nunca desde el período 1970-1973, se ha tenido que recurrir a la importa-



ción, y desde 1975, la demanda interna se ha visto cubierta totalmente por industrias nacionales. Las empresas que han abastecido el mercado nacional de este compuesto, <sup>(5)</sup> son entre otras, QUINASA, VINSA, QUINSA, e IISA; empresas que han aumentado la producción en un 24% durante el período 1973-1980. Para este año quizá se llegue a superar el porcentaje de la demanda interna y se puedan exportar medianas cantidades de carbonato de cobre.

Hasta la fecha, por desgracia, pocas son las industrias que se preocupan en mejorar la tecnología y optimizar sus procesos, lo que viene a reducir las probables ventas al exterior mencionadas antes, pues es de saberse que varios países centroamericanos lo importan en grandes cantidades y si se incrementara la producción serían buenas divisas para el país, ya que dentro de los compuestos de cobre, el carbonato es uno de los que se vende a mejor precio.

Hablando de cuestiones económicas, el precio de los productos derivados de cobre, se fija por las principales empresas productoras nacionales y se basan en la cotización de la materia prima fundamental, el cobre metálico.

(5)

Según información obtenida, a continuación se presentan los precios a los que se espera vender los productos durante el periodo 1980-1983, según cotizaciones del cobre metálico:

<u>PRODUCTO</u>	<u>FORMULA</u>	<u>PRECIO</u>
Sulfato de cobre (pentahidratado)	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	11.75 \$/Kg
Carbonato de cobre (básico)	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	32.00 \$/Kg
Sulfato de cobre (tribásico)	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	34.34 \$/Kg
Cloruro cúprico	$\text{CuCl}_2$	55.00 \$/Kg

Cabe destacar que los compuestos que menor precio alcanzan, son los que en mayor volumen se producen, y a la inversa, compuestos poco producidos, se venden a mayor precio. En base a esto, se sigue la idea de incrementar la producción de compuestos de mayor precio en el mercado, en la medida que sea posible para obtener un margen mayor de utilidades.

El proceso de fabricación del carbonato de cobre que se tratará en esta tesis, se basa en una tecnología que se ha desarrollado poco en México. Esto, como se mencionó antes, so-

.....

'ATD/atd.

debe a la poca importancia que se da a las posibles optimizaciones que se puedan hacer al proceso y tambien por que no se ha dado mucho auge a la investigación de nuevas tecnologías en esta rama de la industria química.

Los avances tecnológicos de los últimos tiempos han hecho posible, que una gran cantidad de desperdicios de metales que estaban siendo considerados sin valor, se transformen en valores útiles e importantes en otros procesos industriales tal es el caso que atañe al presente estudio, pues de los diferentes procesos de producción de cobre metálico y de los usos que se les dá, se obtienen grandes cantidades de desperdicios que podrían utilizarse para producir compuestos de cobre secundarios.

Así pues, el proceso de fabricación de carbonato básico de cobre a seguir, es de lo más importante y el diseño de una planta con base en una pequeña cantidad de producto, no muestra muchas particularidades; notese que el presente trabajo no contempla la obtención de grandes cantidades del producto comercial en su diseño, sino más bien el estudio de las diversas etapas técnicas seguidas en el diseño de una planta de carbonato básico de cobre en particular, con el fin de recuperar los desperdicios de cobre mencionados anteriormente de una .....

'ATD/atd.

planta que produce cobre metálico, a fin de obtener un subproducto que tenga valor agregado, en lugar de reprocesar dichos desperdicios de cobre.

Partiendo de toda esta base, en el siguiente capítulo se procederá a describir el proceso de elaboración del carbonato de cobre, a partir de los desperdicios de cobre metálico.

**C A P I T U L O   I I**

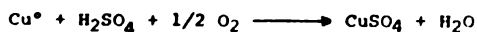
**PROCESO DE FABRICACION DEL CARBONATO**

**BASICO DE COBRE**

La línea de producción para obtener Carbonato Básico de Cobre, dentro de su aspecto técnico, comprende dos etapas - principales: la primera etapa, constituye la producción del -- sulfato de cobre, mediante chatarra de cobre y el ácido sulfúrico; y la elaboración del carbonato básico de cobre como segunda etapa.

La primera etapa, se basa en el proceso de producción del sulfato de cobre, a partir del proceso llamado "Proceso Oxidante", éste consiste básicamente en llenar con ácido -- sulfúrico caliente diluido al 15% <sup>(5)</sup>, un reactor empacado con desperdicios o granalla de cobre; agitando la solución ácida - por medio de aire de baja presión y alto gasto; hasta tener todo el ácido sulfúrico neutralizado, formando el sulfato de cobre, el cual, queda en solución acuosa.

Es probable que en esta etapa, se forme algo de sulfato cuproso, que se descompone espontáneamente en el sulfato cúprico y cobre metálico, el que es nuevamente disuelto en la solución ácida, saturada de oxígeno, formando más sulfato de cobre, de acuerdo con las reacciones siguientes:





Con el objeto de obtener en esta fase un aprovechamiento del 100% del ácido sulfúrico, el cobre metálico con que se empaca el reactor, deberá estar siempre en un gran exceso, - para lo cual conforme se vaya consumiendo se irá agregando más-cobre metálico al reactor, por la parte superior del mismo.

De datos en la literatura técnica <sup>(4,5)</sup> y datos experimentales, el tiempo de residencia necesario para agotar el ácido sulfúrico agregado al reactor, se estima de 46 a 72 horas.

En cuanto a la cantidad de impurezas que puedan estar presentes en el sulfato de cobre en solución, dependerá en cierto grado, de la pureza de los desperdicios de cobre metálico usado como materia prima, pero principalmente, de la pureza del ácido sulfúrico usado; pero como en la actualidad, el ácido sulfúrico se obtiene por oxidación catalítica del SO<sub>2</sub>. éste es de muy alta pureza y no presentará problema alguno.

De acuerdo con lo anterior, se puede estimar que el procedimiento adecuado para la fabricación del sulfato de cobre como materia prima para la fabricación del carbonato básico de cobre, será el siguiente :

- 1.- Recepción de materia prima. (cobre en chatarra y ácido sulfúrico).
  - 1.1 Almacén de chatarra de cobre.
  - 1.2 Almacén de ácido sulfúrico concentrado, en un tanque de acero al carbón, SAE -- 1010 a 1020.
  
- 2.- Preparación de la solución de ácido sulfúrico al 15 %. Se escoge esta concentración para -- que el sulfato de cobre formado no cristalice por efecto del ión común.
  
- 3.- Empacado del reactor con la chatarra de cobre.
  
- 4.- Adición del ácido sulfúrico al 15 % al reactor.
  
- 5.- Inyección de vapor saturado de baja presión en el reactor <sup>(5)</sup>, por la parte superior del mismo.
  
- 6.- Inyección de aire comprimido de baja presión y gran volumen por la parte inferior del reactor.
  
- 7.- Desarrollo de la reacción :





(a temperatura de 20° a 90°C). (5)

EN EL REACTOR HASTA LA NEUTRALIZACION DEL  
ACIDO SULFURICO EN LA SOLUCION.

- 8.- Descarga del reactor a un tanque de soporte -  
para filtración de la solución y eliminación-  
de material en suspensión.
- 9.- Filtración de la solución neutra.
- 10.- Envío de la solución neutra al evaporador pa-  
ra su concentración.
- 11.- Concentración de la solución de sulfato de co-  
bre neutra.
- 12.- Envío de la solución neutra concentrada, al --  
cristalizador.
- 13.- Cristalización del sulfato de cobre pentahi--  
dratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).
- 14.- Extracción del sulfato de cobre pentahidrata-

do del cristalizador.

15.- Secado del sulfato producido.

16.- Envase.

17.- Almacenamiento.

18.- Ventas.

En el proceso que se ha descrito, se mencionan los pasos del 10 al 18, que son necesarios para una fábrica que produce sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), pero en el caso que se trata en esta tesis, el sulfato de cobre, solo comprende la necesidad de tenerlo como materia prima para la elaboración del carbonato básico de cobre; por lo que si se hiciesen los pasos del 10 al 18, habría que disolver nuevamente el sulfato de cobre pentahidratado, para hacer la solución adecuada para la precipitación del carbonato básico de cobre, mediante el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en solución.

Por lo anterior, en este trabajo no se requieren los pasos del 10 al 18 y se suprimen.

Lo mencionado en los párrafos anteriores, comprende,-- la primera etapa en la fabricación del carbonato básico de cobre de tal forma a continuación se procederá a describir los pasos - necesarios para llevar a cabo la segunda etapa, que constituirá la etapa principal del proceso:

1.- Almacén de materias primas.

1.1 Almacén de carbonato de sodio sólido.

1.2 Almacén de solución de sulfato de cobre.

2.- Preparación de la solución de carbonato de sodio.

3.- Calentamiento de la solución de carbonato de sodio a la temperatura de proceso.

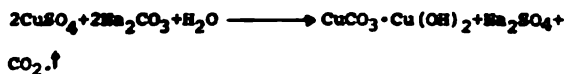
4.- Agitación de la solución de carbonato de sodio con aire de baja presión y alto gasto.

5.- Envío de la solución de carbonato de sodio al --- reactor principal.

6.- Calentamiento de la solución de sulfato de cobre.

7.- Envío de la solución caliente de sulfato de cobre, al reactor principal. ...

- 8.- Proceso de formación del carbonato básico de cobre de acuerdo con la reacción siguiente:



- 9.- Envío de la solución de carbonato básico de cobre a los tanques de asentamiento.
- 10.- Asentamiento del carbonato básico de cobre.
- 11.- Decantación de la solución sobrenadante de sulfato de sodio.
- 12.- Filtración y lavado del carbonato básico de cobre producido.
- 13.- Secado del producto.
- 14.- Envase.
- 15.- Almacenamiento.
- 16.- Ventas.

Con las consideraciones anteriores, queda completo - el proceso de fabricación del carbonato básico de cobre; ahora bien, basados en dicho proceso, se desarrollará el diseño de - la planta mediante las reacciones entre los compuestos utiliza- dos como materia prima y de acuerdo con la estequiometría bási- ca de dichas reacciones.

## **C A P I T U L O   I I I**

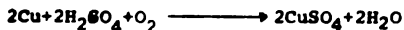
### **DISEÑO DE LA PLANTA**

En este capítulo se desarrolla el diseño de la planta-productora del carbonato básico de cobre, con base en el estudio de la estequiometría de las reacciones especificadas en el capítulo anterior, y que servirá para dimensionar el equipo necesario en la producción de dicho compuesto; tomando como base de -- cálculo la fabricación de cinco toneladas de producto por mes.

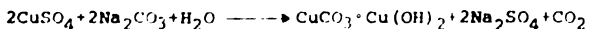
Para poder establecer la estequiometría de las reac--- ciones es necesario indicar los datos de solubilidades a diferen--- tes temperaturas de los reactivos que van a ser empleados en las etapas del proceso, estos datos son presentados en la tabla No. 22 del apéndice, y se dan en gramos de soluto por cien gramos de -- (12) agua.

Como principio para establecer cálculos estequiométricos, se recuerdan las reacciones básicas del proceso:

- 1.- Para la primera etapa o etapa de fabricación del sulfato de cobre en solución acuosa:



- 2.- Para la segunda etapa o etapa de fabricación del carbonato de cobre:



Con base en los pesos moleculares de cada compuesto, se realizan los cálculos posteriores, así se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Cu} &= 63.54 \\ \text{CuSO}_4 &= 159.54 \\ 2\text{CuSO}_4 &= 2(159.64) = 319.6 \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 &= 106 \\ 2\text{Na}_2\text{CO}_3 &= 2(106) = 212 \\ \text{Na}_2\text{SO}_4 &= 142 \\ 2\text{Na}_2\text{SO}_4 &= 2(142) = 284 \\ \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 &= 221.11 \end{aligned}$$

Ahora bien, tomando en cuenta las solubilidades de los compuestos que reaccionan dentro del proceso (tabla II apéndice) y también las gráficas construidas a partir de las densidades de los compuestos en solución acuosa a diferentes concentraciones a 20°C (apéndice), se calculan los volúmenes mínimos necesarios -- para obtener el carbonato básico de cobre  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , sin tener problemas de cristalización del sulfato de sodio que se obtiene como producto secundario en el proceso y el cual deberá -- quedar en solución acuosa.

Con base en lo anterior se tiene:

1.- Solubilidad del  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  a 20°C igual a 19.4 g/100 g de

'ATD/atd.



agua, que dará un total de 119.4 g de solución acuosa, o bien -- una concentración de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  de :

$$\frac{19.4 \text{ g } \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}}{119.4 \text{ g totales}} \times 100 = 16.25 \%$$

Ahora bien, para una concentración de 16.25 % de ---  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (a 20°C) corresponde una densidad de : (Ver gráfica 1, - apéndice).

$$D = 1.156 \text{ g/ml } \text{ ó } 1.156 \text{ Kg/dm}^3$$

y si :

$$D = \frac{M}{V} \quad \text{y} \quad V = \frac{M}{D}$$

el volumen por cada 100 g de solución será :

$$V = \frac{100 \text{ g}}{1.156 \text{ g/ml}} = 86.50 \text{ ml}$$

por lo tanto si :

$$86.50 \text{ ml} \text{ --- } 16.25 \text{ g } \text{Na}_2\text{SO}_4$$

$$1000 \text{ ml} \text{ --- } X$$

$$X = \frac{1000 \text{ ml} \times 16.25 \text{ g } \text{Na}_2\text{SO}_4}{86.50 \text{ ml}}$$

$$X = 187.86 \text{ g } \text{Na}_2\text{SO}_4 / \text{l de solución}$$

Cantidad que se redondea a sólo 180 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  / l de -- solución, para que no llegue a cristalizar en el proceso. Si se trabaja con 180 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  /l de solución, se tendrá por estequiometría la reacción :

$$180 \text{ g } \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ --- } 1 \text{ litro}$$

$$284 \text{ g } \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ --- } X$$

$$X = \frac{284 \text{ g Na}_2\text{SO}_4 \times 1 \text{ litro}}{180 \text{ g Na}_2\text{SO}_4}$$

$$X = 1.58 \text{ litros}$$

De acuerdo con este resultado, el volumen mínimo para que el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  no cristalice, es de 1.58 litros por cada 319.8 g de  $\text{CuSO}_4$  en solución acuosa que reaccionarán con cada 212 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

2.- Para el volumen mínimo de  $\text{CuSO}_4$  en solución acuosa, se toma como base, la solubilidad del  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a  $20^\circ\text{C}$ .

Solubilidad del  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 20.7 \text{ g}/100 \text{ g H}_2\text{O}$   
que implican un total de 120.7 g.

Ahora bien, en 100 g de solución se tendrán:

$$\frac{20.7 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{120.7 \text{ g totales}} \times 100 = 17.14 \%$$

o sean 17.14 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en 100 g de solución.

Pero como se requiere del  $\text{CuSO}_4$  sin el agua de cristalización, el equivalente será entonces :

$$17.14 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \times \frac{159.54 \text{ g CuSO}_4}{249.54 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 10.95 \text{ g CuSO}_4$$

o bien :

10.95 g  $\text{CuSO}_4$ /100 g de solución.

y  $100 - 10.95 = 89.05$  g de  $\text{H}_2\text{O}$  por cada 100 g de solución.

Por otro lado :

$17.14$  g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - 10.95$  g  $\text{CuSO}_4 = 6.19$  g  $\text{H}_2\text{O}$  de cristalización. La solución de  $\text{CuSO}_4$ , queda como sigue :

$17.14$  g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  contienen :

a)  $10.95$  g Sulfato de cobre

b)  $6.19$  g Agua de cristalización.

Y si el agua de cristalización se suma con el agua de la solución, se tiene :

$82.86$  g  $\text{H}_2\text{O} + 6.19$  g  $\text{H}_2\text{O} = 89.05$  g  $\text{H}_2\text{O}$  total/100 g Soln.

Al  $10.95\%$   $\text{CuSO}_4$ , corresponde una densidad de  $1.12$  g/ml o bien  $1.12$   $\text{Kg}/\text{dm}^3$  (ver gráfica II, apéndice).

y si :

$$D = \frac{M}{V} \quad \text{entonces} \quad V = \frac{M}{D}$$

y

$$V = \frac{100 \text{ g}}{1.12 \text{ g/ml}} = 89.28 \text{ ml}$$

y estequiomóricamente :

$89.28$ ml solución	—————	$10.95$ g $\text{CuSO}_4$
X	—————	$319.80$ g $\text{CuSO}_4$

X= 2607 ml. de solución ó X= 2.607 litros.

o sea que para poder tener en solución el sulfato de cobre, se requieren 2.607 litros de solución de sulfato de cobre. Y 2.607 litros, representan el volumen mínimo o volumen crítico para -- mantener el sulfato de cobre en solución acuosa.

3.- Para el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , se tiene la siguiente solubilidad a 20°C:

21.5 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  / 100 g de  $\text{H}_2\text{O}$ .

siendo en total:

121.5 g solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .

La cantidad de  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  en solución es:

$$\frac{21.5 \text{ g } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}}{121.5 \text{ g totales}} \times 100 = 17.69 \text{ g } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$$

Y para tener la cantidad de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sin agua de cristalización, - será: -De acuerdo con el equivalente-

$$\frac{17.69 \text{ g } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}}{286 \text{ g } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} \times 106 \text{ g } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 6.55 \text{ g } \text{Na}_2\text{CO}_3$$

Y por lo tanto, la solución de carbonato de sodio queda así:

17.69 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  contienen:

a).- 6.55 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

b).- 11.14 g  $\text{H}_2\text{O}$  de cristalización.

y también, 100 g de solución contienen entonces lo siguiente:

a).- 17.69 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

....

b).- 82.31 g  $H_2O$  de la solución.

Si se agrega el agua de cristalización, al agua de la solución, resultará la cantidad total de agua en 100 g de la solución de carbonato de sodio.

11.14 g  $H_2O$  de cristalización más 82.31 g  $H_2O$  dan un total de 93.45 g  $H_2O$  total. Ahora bien, a 6.55% de  $Na_2CO_3$  corresponde una densidad de 1.067 g/ml. ó 1.067 Kg/dm<sup>3</sup> (ver gráfica III, apéndice).

$$Y \text{ si: } D = \frac{M}{V} \quad y \quad V = \frac{M}{D}$$

$$V = \frac{100 \text{ g solución } Na_2CO_3}{1.067 \text{ g/ml.}} = 93.72 \text{ ml.}$$

Si:

$$93.72 \text{ ml} \text{-----} 6.55 \text{ g de } Na_2CO_3$$

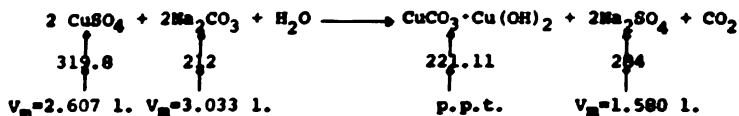
$$X \text{ ml} \text{-----} 212 \text{ g } Na_2CO_3$$

$$X = \frac{212 \text{ g } Na_2CO_3 \times 93.72 \text{ ml solución}}{6.55 \text{ g } Na_2CO_3}$$

$$X = 3033 \text{ ml de solución de } Na_2CO_3$$

O sean 3.033 litros de solución de carbonato de sodio, que corresponden al volumen mínimo que ocupará la solución en el tanque de reacción de la segunda etapa.

De acuerdo con la estequiometría de la reacción, se puede establecer lo siguiente:



Lo que representa la etapa de producción del carbonato de cobre ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ).

Tomando como base de cálculo 1 tonelada de carbonato básico de cobre, se tiene:

1.- Para 1 tonelada de  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ , el balance del  $\text{CuSO}_4$  es:

$$221.11 \text{ Kg CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2 \text{ ————— } 319.8 \text{ Kg de CuSO}_4$$

$$1000 \text{ Kg de CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2 \text{ ————— } X$$

$$X = \frac{1000 \text{ Kg} \times 319.8 \text{ Kg.}}{221.11 \text{ Kg}} = \frac{1446.3 \text{ Kg CuSO}_4}{\text{Ton producto.}}$$

Y tomando en cuenta el volumen mínimo de  $\text{CuSO}_4$ , que reaccionará con cada volumen mínimo de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , se tendrá el volumen mínimo de solución de  $\text{CuSO}_4$  requerido para producir 1 tonelada de carbonato básico de cobre de la forma siguiente:

$$319.8 \text{ g CuSO}_4 \text{ ————— } 2.607 \text{ litros.}$$

$$1 \times 10^6 \text{ g CuSO}_4 \text{ ————— } X$$

$$X = \frac{1.0 \times 10^6 \text{ g CuSO}_4 \times 2.607 \text{ l}}{319.8 \text{ g CuSO}_4}$$

$$X = \frac{8.152 \text{ l. de solución de CuSO}_4}{1 \text{ tonelada de CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2}$$

2.- Para 1 tonelada de  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ , el balance del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  es como sigue:

$$\begin{array}{rcl} 221.11 \text{ Kg CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2 & \text{-----} & 212 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3 \\ 1000 \text{ Kg CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2 & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X = \frac{1000 \text{ Kg} \times 212 \text{ Kg}}{221.11 \text{ Kg.}} = \frac{958.8 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3}{\text{ton. de producto.}}$$

Y tomando en cuenta el volumen mínimo de carbonato de sodio que reaccionará con cada volumen mínimo de sulfato de cobre, se tendrá el volumen mínimo de solución del carbonato de sodio, requerido para producir 1 tonelada de carbonato básico de cobre, de la forma siguiente:

$$\begin{array}{rcl} 212 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 & \text{-----} & 3.033 \text{ litros de sln. Na}_2\text{CO}_3 \\ 1.0 \times 10^6 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X = \frac{1.0 \times 10^6 \times 3.033 \text{ l sln. de Na}_2\text{CO}_3}{212 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3}$$

$$X = \frac{14,306 \text{ l. de sln. de Na}_2\text{CO}_3}{\text{tonelada de producto.}}$$

De acuerdo con los volúmenes críticos encontrados anteriormente, se concluye que el sulfato de sodio producido, siem-

....

pre estará en solución, y no será necesario calcular el volumen en que se disuelve, puesto que la suma del volumen del sulfato de cobre más el volumen del carbonato de sodio, supera al volumen crítico mínimo para el sulfato de sodio.

Ahora bien, si el objetivo principal es producir 5 -- toneladas de carbonato básico de cobre por mes, se tendrá:

1.- Solución de sulfato de cobre.

$$\frac{8,152 \text{ litros de } \text{CuSO}_4}{\text{toneladas de producto}} \times 5 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$$

será igual a 40,760 litros/mes de solución de sulfato de cobre.

2.- Solución de carbonato de sodio.

$$\frac{14,306 \text{ litros de } \text{Na}_2\text{CO}_3}{\text{toneladas de producto}} \times 5 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$$

será igual a 71,530 litros/mes de solución de carbonato de sodio.

Sumando las dos cantidades anteriores se tiene un total de:

112,290 litros por mes.

Pero como se tomará mes de 25 días de trabajo efectivo:

$$\frac{112,290 \text{ litros totales/mes.}}{25 \text{ días/mes.}} = \underline{4,492 \text{ litros/día.}}$$

'ATD/atd.



De acuerdo a lo anterior, se requerirá un reactor con  $5 \text{ M}^3$  de capacidad, y dando un margen de seguridad de 20%, el volumen del reactor en el que reaccionarán el sulfato de cobre y el carbonato de sodio para producir el carbonato básico de cobre será de  $6 \text{ M}^3$ .

Para el reactor de elaboración de solución de sulfato de cobre, se tiene:

$$\frac{40,760 \text{ litros de sulfato/mes}}{25 \text{ días/mes}} = 1631 \text{ litros/día.}$$

El reactor de formación de sulfato de cobre deberá ser de  $2 \text{ M}^3$  de capacidad, y dando un margen de seguridad de 20%, el volumen del reactor será de  $2.4 \text{ M}^3$ .

Ahora bien, la cantidad de cobre requerida por mes,-- para producir las 5 toneladas de carbonato básico de cobre será:

$$1,446.3 \text{ Kg CuSO}_4/\text{ton.} \times 5 \text{ ton. de producto/mes}$$

es igual a:

$$7232 \text{ Kg CuSO}_4/\text{mes}, \text{ y } 7232 \text{ Kg de CuSO}_4 \times \frac{63.54 \text{ Kg Cu}}{159.54 \text{ Kg}} = 2880 \text{ Kg Cu/mes.}$$

$$\frac{2880 \text{ Kg Cu/mes}}{8.9 \text{ Kg/dm}^3} = 323.6 \text{ dm}^3 \text{ Cu/mes.}$$

Que será el volumen que ocupará la chatarra de cobre en el reactor de producción de sulfato de cobre ó reactor de primera eta-

.....

pa en el proceso.

Y para conocer el volumen por día será:

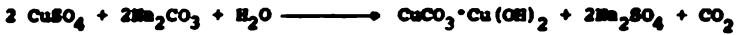
$$\frac{323.6 \text{ dm}^3 \text{ Cu/mes}}{25 \text{ días/mes}} = 13.00 \text{ dm}^3/\text{día}.$$

**C A P I T U L O   I V**

**DISEÑO DEL EQUIPO**

1.- Diseño de los reactores.

Como se dijo anteriormente, se requerirá un reactor de  $6 \text{ M}^3$  para la reacción principal del proceso; sea ésta:



Y partiendo entonces de:

$$V = 6 \text{ M}^3$$

y tomando como base que el reactor se diseñará en forma cilíndrica:

$$V_r = \pi r^2 h \quad (1).$$

Donde:

V = Volumen del cilindro.

h = Altura del cilindro.

r = Radio del cilindro en su base.

Si:

$D = 2r$  ; donde D = Diámetro de la base del reactor.

la relación (1) se expresa de la forma siguiente:

$$V = \pi (D/2)^2 h \quad (2).$$

Si se toma como primera aproximación que el diámetro del reactor sea la mitad de la altura del mismo, a fin de darle simetría de diseño:

$$h = 2D \text{ por lo que: } V = \pi (D/2)^2 2D$$

$$\text{o sea: } V = 2\pi D^3/4 \quad / \quad (3).$$

Ahora bien, para obtener las dimensiones del reactor se tiene:

$$D = \sqrt[3]{2V/\pi} \quad \text{y} \quad h = 2 \left( \sqrt[3]{2V/\pi} \right).$$

.....

Que numéricamente resulta:

$$D = \sqrt[3]{2(6)/3.1416}$$

y finalmente:

$D = 1.563$  M que es el diámetro del reactor de formación del carbonato básico de cobre.

y por lo tanto:

$h = 3.126$  M que es la altura del reactor de esta misma etapa. Para las dimensiones del reactor para producir el sulfato de cobre, se tiene por lo tanto:

$$V = 2.4 \text{ M}^3$$

Si el reactor se diseñará también cilíndrico, el volumen es:

$$V = \pi r^2 h \quad (1).$$

En donde:

V = Volumen del reactor.

r = Radio de la base del reactor.

h = Altura del reactor.

Por lo tanto:

$$D = 2r \quad \text{y} \quad h = 2D$$

Donde:

D = Diámetro de la base del reactor.

$$V = 2\pi (D/2)^2 D \quad (2)$$

o sea:

$$V = 2\pi D^3 / 4 \quad (3)$$

para obtener las dimensiones de este reactor será:

$$D = \sqrt[3]{2V/\pi} \quad \text{y} \quad h = 2(\sqrt[3]{2V/\pi})$$

que numéricamente resulta:

$$D = \sqrt[3]{2(2.4)/\pi} \quad D = 1.15 \text{ M.}$$

Que es el diámetro requerido para la base del reactor de la segunda etapa. Ahora la altura de este reactor será:

$$h = 2D \quad h = 2.30 \text{ M}$$

## 2.- Selección del soplador.

Como se requiere producir el sulfato de cobre a partir del ácido sulfúrico y del desperdicio de cobre, se necesita por lo tanto inyección de aire al reactor de la segunda etapa, para que la reacción entre la materia prima se lleve a cabo de acuerdo a la reacción que se mencionó anteriormente.

El soplador de aire deberá ser de alto gasto y baja presión para que la reacción sea completa en el tiempo estimado de 48 a 72 horas que como ya se indicó (4, 5) es el dato experimental práctico de residencia para obtener el sulfato de cobre en solución acuosa, con descarga intermitente del reactor.

La selección del soplador de aire, se realiza partiendo de las bases estequiométricas de la reacción indicada en el capítulo anterior y de acuerdo con las necesidades de producción mencionadas.

Por lo anterior los cálculos para conocer las cantidades de cobre y ácido sulfúrico necesarias para producir 1 tonelada de carbonato básico de cobre al mes; son los siguientes:

221.11 Kg de producto ——— 127.08Kg Cu

1000 Kg de producto ————— X

$$X = \frac{127.08 \times 1000}{221.11} = 575 \text{ Kg Cu/ ton de producto.}$$

Como se requiere producir el sulfato de cobre en solución acuosa, se necesita suficiente ácido sulfúrico para que se produzca el sulfato de cobre pentahidratado, por lo cual se necesitan:

a) Cantidad de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  por tonelada de producto.

221.11 Kg producto ——— 499.08 Kg  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

1000 Kg producto ————— X

$$X = 2,257 \text{ Kg } \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O/ ton. de producto.}$$

b) Cantidad de ácido sulfúrico por tonelada de producto.

499.08 Kg  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  ——— 196 Kg  $\text{H}_2\text{SO}_4$

2,257 Kg  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O/ton}$  ————— X

$$X = 886 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 / \text{ ton de producto.}$$

ó bien:

$$\frac{886 \text{ Kg } \text{H}_2\text{SO}_4 / \text{ mes}}{1.84 \text{ Kg/litro}} = 482 \text{ litros } \text{H}_2\text{SO}_4 / \text{ mes.}$$

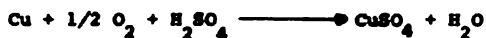
.....

Entonces:

Cobre total = 575 Kg Cu por mes.

Acido sulfúrico total = 482 litros por mes.

Aparte de estos datos, es necesario conocer la cantidad de oxígeno que se consumirá en la producción del sulfato de cobre, de acuerdo con la reacción básica:



de aquí se efectúa la relación siguiente:

63.54 g cobre ————— 11.2 litros (TPN).

575000 g cobre ————— X

X = 101.353 litros (TPN).

y de acuerdo con la relación

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

en donde las condiciones de temperatura y presión estandares y -- las consideradas para la ciudad de México, el volumen de oxígeno es:

$$V_1 = 101.353 \text{ litros} \times \frac{760 \times 298}{585 \times 273}$$



$$V_1 = 143,730 \text{ litros x oxígeno en México}$$

si el aire contiene 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno, la cantidad de oxígeno será:

$$\frac{143,730 \text{ litros}}{0.21} = 684,429 \text{ litros de oxígeno en México.}$$

Pero si la eficiencia de aprovechamiento del aire es según datos prácticos de 5% para la reacción y 95% para agitación, la relación será:

$$\frac{684,429 \text{ litros de O}_2}{0.05} = 13,688,588 \text{ litros de O}_2/\text{mes.}$$

$$\text{y por día: } \frac{13,688,588 \text{ litros de O}_2}{24 \text{ días}} = 570.36 \text{ m}^3/\text{día}$$

y dando dicho resultado en pies cúbicos por minuto:

$$\frac{570.36 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ hr/día} \times 60 \text{ min/hr}} = 425.7 \text{ litros/min} \times 0.035 \text{ Ft}^3/\text{l.}$$

$$= 14.9 \text{ Ft}^3/\text{min. En condiciones de la ciudad de México.}$$

Y con la ecuación inicial que relaciona presiones y volúmenes:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

$$V_1 = 14.9 \text{ Ft}^3/\text{min} \times \frac{0.770 \text{ atm}}{1.270 \text{ atm}} \times \frac{298}{298} = 9 \text{ Ft}^3/\text{min.}$$

9.0 Ft<sup>3</sup>/min. para las condiciones de 1.270 atm de presión en la salida y 298°K de salida; volumen que disolverá 575 Kg de cobre que como se vió anteriormente producirán:

2257 Kg CuSO<sub>5</sub> · 5 H<sub>2</sub>O/ mes. Que para 1 tonelada de di--  
cho sulfato será: .....

$$\begin{array}{rcl} 9 \text{ Ft}^3/\text{min} & \text{-----} & 2257 \text{ Kg CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O} \\ X & \text{-----} & 1000 \text{ Kg CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O} \end{array}$$

$$X = \frac{9000}{2257} = 3.98 \text{ Ft}^3/\text{min.}$$

Aproximando a 4.00 Ft<sup>3</sup>/min. para 1 tonelada de sulfato de cobre pentahidratado por mes. Lo cual para 5 toneladas de producto, - representa un gasto de 20 Ft<sup>3</sup>/min; para una presión manométrica de 5 metros de agua equivalentes a 7.35 Psi.

El dato anterior es necesario, en vista de que los fabricantes de equipos para inyección de aire, presentan toda su información en unidades inglesas.

De información de la compañía Sutorbilt, <sup>(20)</sup> fabricante de los sopladores rotatorios de desplazamiento positivo, se conoce que para el gasto de aire que requiere la planta a la presión - calculada, el modelo más adecuado es el 2MB/2MVB, con 1" de diámetro de salida operando con un motor de 1.5 H.P a 2540 r.p.m.

Este tipo de soplador es esencialmente una máquina con - operación de volumen constante y presión de descarga variable:- el volumen puede variar unicamente por el cambio de velocidad en el rotor, por algún tipo especial de By-Passing ó cambio de ~~bon~~

beo en la capacidad de la máquina. La presión de descarga varía con la resistencia en la descarga a un solo lado de su sistema.

Presenta alta eficiencia volumétrica y baja fricción-mecánica, lo cual representa para este diseño un método de ensamble muy preciso al reactor de la primera etapa y poder operar a descarga discontinua como se mencionó anteriormente.

**C A P I T U L O V**

**CONTROL QUIMICO DEL PROCESO**

El control químico de un proceso, debe ser lo más rápido, simple y exacto para poder tener resultados en corto --- tiempo y llevar un control adecuado durante la elaboración de los productos que se estén fabricando.

Por lo anterior, en este caso no se deberá de pensar en procedimientos analíticos complicados y además, considerando el valor del carbonato básico de cobre, el cual es relativamente bajo, no es posible pensar en métodos instrumentales de laboratorio, por lo que para seleccionar los métodos de control químico solo queda la aplicación del análisis volumétrico que es menos exacto que el gravimétrico, pero desde luego mucho más rápido.

El control químico de las materias primas tales como la chatarra de cobre, ácido sulfúrico concentrado y carbonato de sodio, no es muy necesario, puesto que son materias primas comerciales, que deben cumplir con su norma de calidad.

El primero de ellos se compra como chatarra y lo únco importante es seleccionarla de tal forma que no esté contaminada con fierro, es decir, se deberá conseguir chatarra de cobre de primera consistente en alambre de cobre limpio, el -- cual presentará una gran superficie de reacción durante su di-

.....

solución con el ácido sulfúrico oxigenado.

Los otros materiales, carbonato de sodio y ácido sulfúrico son materias primas que como ya se dijo anteriormente, -- son de tipo industrial que cumplen normas de calidad de las cuales pocas veces se apartan.

El control químico de la planta, se reduce entonces a examinar y comprobar las concentraciones utilizadas de las soluciones de ácido sulfúrico, sulfato de cobre, carbonato de sodio, y el carbonato de cobre producido.

De acuerdo a lo anterior, se procederá a presentar en forma simplificada los procedimientos de análisis volumétricos -- para determinar dichas concentraciones en las soluciones.

## I SOLUCION DE ACIDO SULFURICO.

Método directo:

- 1.1 Se toma un volumen conocido de muestra del ácido sulfúrico que va a ser utilizado en el reactor de producción de sulfato de cobre, y se titula con una solución valorada de hidróxido de sodio de concentración aproximada 0.1 N usando como indicador rojo de metilo.

Este método tan simple y rápido permite conocer la concentración del ácido con exactitud, si se procede a valorar correctamente el hidróxido de sodio usado en la titulación mediante el procedimiento descrito a continuación.

- 1.2 La solución de hidróxido de sodio debe prepararse, disolviendo la cantidad de NaOH necesaria (aproximadamente 5 g para 1 litro de solución 0.1 N) en 200 a 300 ml de agua destilada y calentando a ebullición, momento en el cual se le agregan dos o tres gramos de cloruro de bario, disueltos en 25 a 30 ml de agua destilada caliente.

Esta solución se enfría, para permitir que el carbonato de bario se asiente y se deja en reposo durante 24 horas y ya decantada se filtra a fin de eliminarlo; elimi-

.....

nando así también el  $\text{CO}_2$  disuelto en la solución.

La solución filtrada se pone en un frasco de polietileno (no usar vidrio, porque el  $\text{NaOH}$  lo ataca) y completando el volumen de solución requerido con agua destilada hervida y fría a la cual se le ha eliminado el  $\text{CO}_2$  por ebullición.

1.3 La solución de hidróxido de sodio, se valora con biftalato ácido de potasio. <sup>(11)</sup>

Esta valoración se lleva a cabo de acuerdo con la siguiente reacción:



Se escoge el biftalato ácido de potasio en vista de que puede obtenerse con 99.9% de pureza, y poder secarse a  $125^\circ\text{C}$ , siendo estable y teniendo además un elevado peso equivalente de 204.22.

Como indicador para la valoración del  $\text{NaOH}$ , se debe usar fenolftaleína o bien azul de timol.

Los cálculos requeridos para esta determinación son--

.....



primero conocer la normalidad exacta del hidróxido de sodio, previamente valorado con biftalato, mediante la relación:

$$N = \frac{W}{V \times \text{Meq}}$$

En donde:

**N** = Normalidad del hidróxido de sodio.

**W** = Peso en gramos de biftalato ácido de potasio.

**V** = Volumen en ml de solución de NaOH requerido en la titulación.

**Meq** = Miliequivalente del biftalato ácido de potasio igual a 0.20422.

Segundo la concentración del ácido sulfúrico de la solución del reactor, de acuerdo con la siguiente relación:

$$\% C = \frac{V \times N \times \text{Meq} \times 100}{V_1 \times D}$$

En donde:

**% C** = Concentración del ácido sulfúrico determinada en por ciento en volumen.

**V** = Volumen en ml de NaOH usado en la titulación.

**N** = Normalidad del NaOH.

**Meq** = Miliequivalente del ácido sulfúrico igual a ---  
0.04904.

**V<sub>1</sub>** = Volumen de muestra de ácido sulfúrico en ml.

**D** = Peso específico del ácido sulfúrico de muestra.

## II SOLUCION DE CARBONATO DE SODIO.

En el análisis de las muestras de carbonato de sodio, se tomará en cuenta también el método directo consistente en medir cuidadosamente un volumen de muestra del carbonato de sodio en solución, diluir si es preciso y de acuerdo a la probable -- concentración de la muestra y titular con ácido clorhídrico valorado 0.1 N; relacionando el valor obtenido al por ciento en volumen del carbonato en solución.

La manera de proceder para el análisis es la siguiente:

- 2.1 Se toman 3 a 4 muestras de 25 ml cada una, agregando 2 a 3 gotas de indicador rojo de metilo.
- 2.2 Se titula cada muestra con HCl valorado 0.1 N, y se registran los volúmenes de cada titulación.
- 2.3 Cuando el color de la solución vira de rojo a amarillo, - indica el final de la titulación.
- 2.4 Los cálculos para determinar el por ciento en volumen de - carbonato de sodio contenido en la muestra, son por medio de la relación siguiente:

.....

$$\% = \frac{V \times N \times \text{Meq} \times 100}{V_1 \times D}$$

Donde:

**%** = porcentaje de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  en la muestra.

**V** = Volumen en ml de ácido clorhídrico usado en cada titulación.

**N** = Normalidad de la solución de ácido clorhídrico

**Meq** = Millequivalente del carbonato de sodio igual a 0.0530.

**V<sub>1</sub>** = Volumen de muestra en ml.

**D** = Peso específico del carbonato de sodio de muestra.

2.5 Las 3 o 4 muestras se analizan de manera idéntica, por lo cual los resultados no deberán variar entre sí en más de 0.01%.

La valoración del ácido clorhídrico, se efectúa según se explica a continuación.

Para conocer la normalidad del ácido clorhídrico, son-  
(11)  
varios los métodos que se emplean, todos tienen como base el u-  
so de sustancias alcalinas de elevada pureza; como por ejemplo-  
carbonato de sodio grado reactivo Q.p. anhidro.

Este método se lleva cabo de la manera siguiente:

- a) Se seca previamente el carbonato de sodio Q.p. a 110°C du-  
rante media hora.
- b) Se coloca en un desecador hasta tener la temperatura am---  
biente.
- c) Se pesan varias porciones de 0.10 a 0.15 g en balanza ana-  
lítica con aproximación de 0.1000 mg y se colocan cada una  
de éstas en matraces erlenmeyer de 250 ml.
- d) Se disuelve cada porción en 50 ml. de agua destilada.
- e) A cada porción se le agregan 2 gotas de indicador rojo de-  
metilo y se procede a titular cada una por separado, con -  
el ácido clorhídrico del cual se quiere conocer la normali-  
dad.
- f) El final de la titulación ocurre cuando el indicador vira-  
.....

de color amarillo a rojo.

g) Se registra el volumen empleado en la titulación, junto -- con el peso del carbonato de sodio que corresponde a esa - titulación. Las siguientes titulaciones se hacen en la misma forma.

h) Los cálculos son:

$$N_x = \frac{W}{V \times \text{Meq.}}$$

En donde:

$N_x$  = Normalidad del ácido clorhídrico valorado.

W = Peso del carbonato de sodio en g.

V = Volumen en ml. de ácido clorhídrico gastado en la titulación.

Meq = Miliequivalente del carbonato de sodio igual a - 0.0530.

i) Los valores de las normalidades de cada una de las titulaciones, solo podrán variar en la cuarta cifra decimal de los resultados, por lo que la normalidad será entonces el promedio de las normalidades obtenidas.

### III CARBONATO DE COBRE.

Para determinar la cantidad de cobre contenido en el carbonato básico de cobre, el método yodométrico indirecto es el indicado,<sup>(11)</sup> pudiendo llevarse a cabo al pie de la letra en cualquiera de las sales de cobre, excepto en el carbonato; ya que esta sal difiere de los otros compuestos de cobre por su in-solubilidad en el agua.

Así entonces esta característica es la que propone -- primero, el disolver en medio ácido la sal, para seguir posteriormente con la neutralización con hidróxido de amonio y después acidulación con acético, para obtener el pH adecuado que permita la formación del yoduro cuproso y la liberación de yodo libre al adicionar el yoduro de potasio.

El método yodométrico indirecto se escoge por ser el que presenta mayor rapidéz en la determinación. El modo de operar es el siguiente:

3.1 Se pesan con exactitud 0.2 a 0.3 g de la sal de carbonato básico de cobre.

3.2 Se disuelve la muestra en 5 ml de ácido sulfúrico 1:4 y se calienta hasta disolución total.

Aquí el cobre se tiene al estado de sulfato de acuerdo con la reacción siguiente:



- 3.3 Se agrega a esta solución suficiente  $\text{NH}_4\text{OH}$  hasta obtener la coloración azul intenso, que indica la completa neutralización del ácido sulfúrico y la formación del complejo cuproamoniacal.
- 3.4 Se adiciona ácido acético glacial hasta la obtención de un color azul pálido, más 2 a 3 ml en exceso de éste.
- 3.5 Agitando la solución ácida, se agregan 2 a 3 g de KI, para formar el yoduro cuproso y liberar el yodo.
- 3.6 Se deja en reposo a la luz durante 5 minutos y el yodo libre se titula con una solución 0.1 N de tiosulfato de sodio valorada, agregando antes de la titulación 2 ml de en grudo de almidón, hasta que la solución presente un color amarillo pálido.
- 3.7 Para cálculos, se hace la relación del volumen de tiosulfato usado, a los gramos de cobre contenidos en la muestra, por medio del miliequivalente 0.06357 correspondien-
- .....

te al cobre. Aquí 1 ml de solución 1 normal de tiosulfato de sodio equivale a 0.06357 g de cobre.

3.8 Así entonces los cálculos son:

$$G = \frac{V \times N \times Meq}{W}$$

Donde:

G = Cantidad de cobre en g.

V = Volumen de tiosulfato de sodio en ml

N = Normalidad del tiosulfato obtenida en la valoración.

Meq = Miliequivalente del carbonato básico de cobre.

W = Peso de la muestra en g.

Uno de los métodos usados para valorar la solución de tiosulfato de sodio, requerida para la determinación anterior, es con cobre electrolítico disuelto en medio ácido para la formación de la sal de cobre, la cual reacciona con el yoduro de potasio poniendo una cantidad de yodo en libertad, equivalente al cobre que reaccionó, el yodo liberado se titula con la solución de tiosulfato cuya normalidad se desea conocer.

Los resultados obtenidos son muy buenos, cuando la --

.....



solución valorada por éste método se emplea en titulaciones de cobre como la descrita anteriormente para el carbonato. La relación entre el tiosulfato, el yodo y el cobre es:




en donde como se dijo:

0.06357 g Cu = 1 ml de solución de tiosulfato de sodio

y

$$N = \frac{\text{gramos de cobre usados}}{\text{Volumen de tiosulfato} \times \text{Meq del cobre}}$$



C A P I T U L O VI

CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Habiendo quedado establecido el proceso de fabricación del carbonato básico de cobre a partir de los desperdicios de cobre metálico, así como el equipo mínimo necesario para su producción, este capítulo comprenderá los costos aproximados -- del mismo, a fin de tener una idea de cual será la inversión requerida.

En segundo término se presentará el costo de los reactivos necesarios, para considerar los gastos en cuanto a materia prima se refiera.

En vista de que la planta se presenta como una adición a otra planta en operación, el costo de mano de obra y mantenimiento de equipo, será tomado como un porcentaje del total de los costos de operación de la planta principal que se trate.

Esta es la razón por la cual éste capítulo se nombra -- consideraciones económicas del proceso, ya que no contempla un estudio económico completo, en el cual sería indispensable calcular el punto de equilibrio para determinar la rentabilidad -- del proceso en operación.

Se parte de un diagrama de flujo sencillo en el cual, se representa el equipo mínimo necesario para el proceso completo  
.....

to en sus dos etapas, presentando algunos cálculos sencillos - de diseño y calculo de material, que permiten dar el costo total del equipo y de las materias primas utilizadas.

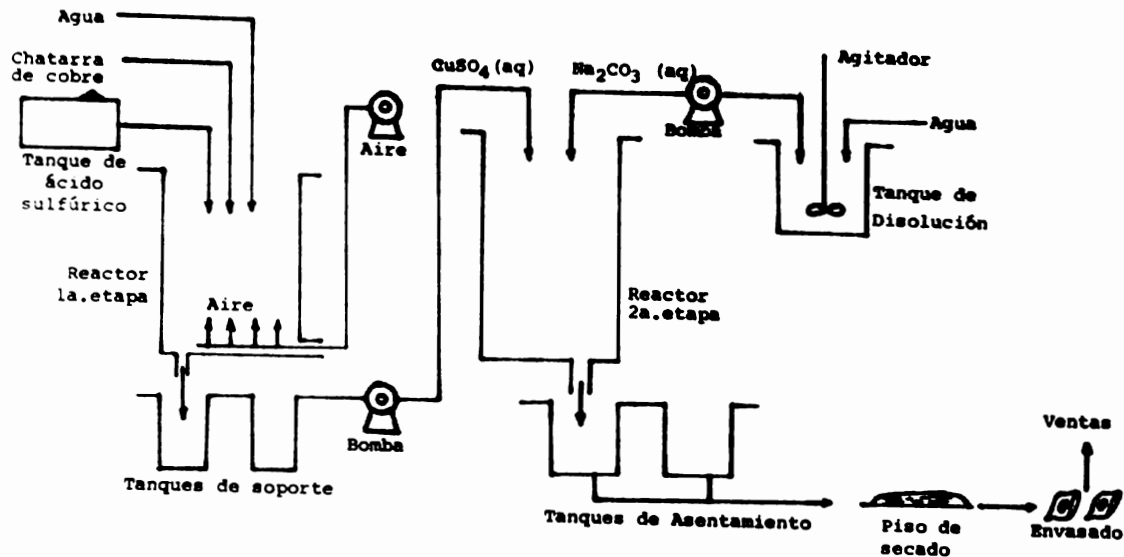


DIAGRAMA DE FLUJO.- Proceso de fabricación del carbonato básico de cobre.

Para las necesidades de producción descritas en el capítulo anterior, y de acuerdo con el diagrama de flujo que presenta el proceso de fabricación del carbonato básico de cobre, el equipo necesario y su costo por material y materia prima para su construcción es:

#### I TANQUE DE ACIDO SULFURICO.

Volumen mensual requerido es de 2,410 litros, para -- producir 5 toneladas de carbonato básico de cobre por mes. Se necesita un tanque de almacenamiento de  $2.4 \text{ M}^3$  de capacidad, más un 30% de volumen como rango de seguridad, por lo que serán  $3.12 \text{ M}^3$ .

Tanque horizontal cilíndrico de  $3.12 \text{ M}^3$  de volumen:

$$V = 3.12 \text{ M}^3$$

$$V = \pi r^2 L$$

suponiendo  $L = 3r$  para dar simetría de diseño:

$$V = \pi r^2 3r$$

$$V = 3\pi r^3 \text{ y si } V = 3.12 \text{ M}^3$$

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

y substituyendo valores:

$$r = 0.69 \text{ M y } D = 1.38 \text{ M}$$

si  $L$  es igual a  $3r$ :

$$L = 2.07 \text{ M}$$

Ahora si  $V = 3.12 \text{ M}^3$   $L = 2.07 \text{ M}$  y  $D = 1.38 \text{ M}$ .

.....

la superficie será:

$$S = \pi DL$$

y sustituyendo valores la superficie será:

$$S = 897.42 \text{ dm}^2$$

y esta superficie por el espesor del material con que se -  
construirá el tanque, que será acero al carbón de 1/8", se  
obtendrá el volumen de material necesario.

$$V = 897.42 \text{ dm}^2 \times 0.125 \text{ in} \times 0.254 \text{ dm/in}$$

$$V = 28.49 \text{ dm}^3 \text{ de material.}$$

Que dado en kilogramos es:

$$\text{Kg de material} = 28.49 \text{ dm}^3 \times 7.85 \text{ Kg/dm}^3 = 223.64 \text{ Kg.}$$

El precio por Kg de material en el mercado es de \$ 22.50

$$223.64 \text{ Kg} \times 22.50 \text{ $/Kg} = \$ 5,032 \text{ (M.N.)}$$

más otro tanto en servicios de mano de obra da un costo to-  
tal del tanque de:

$$\$ 10,064.00 \text{ (M.N.)}$$

más el material requerido para las tapas laterales del tan-  
que se calculan en un costo de \$ 3,355.00 (M.N.) lo que dá  
un costo total neto de:

$$\underline{\underline{\$ 13,419.00 \text{ (M.N.)}}}$$

## 2 REACTOR DE FORMACION DE $\text{CuSO}_4$ .

Las dimensiones del tanque para la reacción del ácido sulfúrico con el cobre se calcularon en el diseño de equipo - en el capítulo IV, de ahí se tiene:

$$\text{Volumen del reactor} = 2.4 \text{ M}^3$$

$$\text{Altura del reactor} = 2.30 \text{ M}$$

$$\text{Diámetro del reactor} = 1.15 \text{ M}$$

Con estos datos y suponiendo el diseño cilíndrico, para facilidad de cálculo se tiene:

$$\text{superficie del reactor} = \pi Dh = 831 \text{ dm}^2$$

$$\text{volumen de material requerido} = S \times e = 26.38 \text{ dm}^3$$

$$\text{cantidad de material requerido en Kg} = V \times \text{Densidad} = 207 \text{ Kg}$$

$$\text{material para la base del tanque de reacción} = 25.9 \text{ Kg}$$

$$\text{material total requerido} = 213 \text{ Kg}$$

precio por Kg de material (también se construirá de acero bajo carbono, 1/8" de espesor) para construir el tanque de la primera etapa:

$$22.50 \text{ \$/Kg}$$

costo de la lámina de acero necesaria:

$$\text{\$ } 4,792.50$$

más una cantidad igual por mano de obra:

$$\text{\$ } 9,585.00$$



Como este tanque llevará recubrimiento de resina poliester, se supondrá la misma cantidad de material necesario, - 213 Kg; y la resina poliester se compra preparada a razón de -- 62.80 \$/Kg. Por lo tanto:

$$213 \text{ Kg} \times 62.80 \text{ \$/Kg} = 13,176 \text{ \$ (M.N.)}$$

se supone en mano de obra la mitad de esta cantidad, pues la resina se compra preparada y es simplemente la colocación en la - pared de los tanques.

El costo total calculado para este tanque es:

tanque de acero al carbon incluyendo mano de obra:

$$\text{\$ } 9,585.00 \text{ (M.N.)}$$

recubrimiento incluyendo mano de obra:

$$\text{\$ } 20,064.00 \text{ (M.N.)}$$

total:

$$\underline{\text{\$ } 29,649.00 \text{ (M.N.)}}$$

3 TANQUES DE SOPORTE- RECIBO DE SOLUCION DE  $\text{CuSO}_4$ . (Soln. Acuosa).

Se producirán 40,760 litros por mes de sulfato de cobre, que es la cantidad necesaria para la producción total mensual de producto; este volumen es equivalente a  $1.63 \text{ M}^3/\text{día}$ , - tomando en cuenta 25 días de trabajo efectivo mensual; esto -- quiere decir que teniendo dos tanques de soporte de capacidad de  $1 \text{ M}^3$  cada uno, se logra el perfecto manejo de las descargas de sulfato de cobre a estos depósitos.

Entonces se toma como base de cálculo  $1 \text{ M}^3$ , de ahí -- que:  $V = 1 \text{ M}^3$

con este volumen se calcula mediante

$$V = \pi r^2 h \quad \text{y} \quad h = D$$

para forma cilíndrica en los tanques, el material a utilizarse en la construcción de éstos.

entonces:

$$\text{la superficie} = \pi D h = \pi (10.83 \text{ dm} \times 10.83 \text{ dm}) = 368.47 \text{ dm}^2$$

$$\text{volumen de material} = S \times e = 11.7 \text{ dm}^3$$

$$\text{material en Kg requeridos} = 91.84 \text{ Kg.}$$

$91.84 \text{ Kg} \times 22.50 \text{ \$/Kg} = 2,066.50 \text{ \$}$  (M.N.), más el material para la base circular del tanque, que son  $22.92 \text{ Kg}$ , será:

$$22.92 \text{ Kg} \times 22.50 \text{ \$/Kg} = \$ 515.75 \text{ (M.N.)}$$

el precio por los dos tanques será entonces:

$$2(2,066.50 + 515.75) = \$ 5164.50$$

.....

más esta misma cantidad por la mano de obra:

$$2(5,164.50) = \underline{\$ 10,329.00}$$

4 SOPLADOR DE AIRE COMPRIMIDO BAJA PRESION Y ALTO GASTO PARA EL REACTOR DE FORMACION DE SULFATO DE COBRE.

Según la información dada por el fabricante Sutorbilt para un soplador de tipo rotatorio con las especificaciones de diseño descritas en el capítulo de diseño de equipo, el costo para dicho equipo es de \$ 25,300.00 más \$ 5,000.00 del motor que se compra por separado, serán \$ 30,300.00; pero se aumentan a dicha cantidad los costos de envío, impuestos e instalación, calculados para dar un costo total del equipo de

\$ 40,000.00 (M.N.)

## 5 REACTOR DE FORMACION DEL CARBONATO BASICO DE COBRE.

Construido en lámina de acero al carbón de 1/8" de espesor, forma cilíndrica, recubierto con resina poliester preparada y con las dimensiones calculadas en el capítulo de diseño de equipo.

$$V = 6 \text{ M}^3$$

$$h = 3.126 \text{ M}$$

$$D = 1.563 \text{ M}$$

Con los que se calculan:

$$\text{la superficie del material} = \pi Dh = 1534.96 \text{ dm}^2$$

$$\text{el volumen} = S \times e = 48.73 \text{ dm}^3$$

$$\text{cantidad de material en Kg} = V \times \text{Densidad} = 383 \text{ Kg}$$

$$\text{precio del material} = 22.50 \text{ \$/Kg}$$

$$\text{que da un costo de material} = \$ 8,617.50 \text{ (M.N.)}$$

$$\text{cantidad de material para la base} = 47.63 \text{ Kg}$$

$$\text{costo del material de la base} = \$ 1,071.85 \text{ (M.N.)}$$

$$\text{costo del material de recubrimiento} = \$ 24,129.00 \text{ (M.N.)}$$

más 30% del costo total del material por mano de obra, se calcula un costo total del reactor de:

$$\underline{\$ 50,727.00 \text{ (M.N.)}}$$

### 6 TANQUES DE ASENTAMIENTO DE CARBONATO BASICO DE COBRE.

La descarga del reactor de formación del carbonato básico de cobre se recibirá en dos tanques de asentamiento, en los cuales mediante el proceso de decantación por diferencia de pesos específicos de los materiales, el sulfato de sodio quedará en solución acuosa sobrenadante en el carbonato básico de cobre el cual se asienta y se descarga por la parte inferior de estos tanques, para ser trasladado al patio de secado.

Estos tanques también se fabricarán de lámina de acero bajo carbono de 1/8" de espesor, cilíndricos y con un volumen igual a 1.25 M<sup>3</sup> de capacidad cada uno. La capacidad se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{8152 \text{ litros de sln. CuSO}_4}{\text{ton de CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2} \times \frac{1.58 \text{ litros de sln. Na}_2\text{SO}_4}{2.607 \text{ litros de sln. CuSO}_4}$$

$$\times \frac{5 \text{ ton CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{25 \text{ días}} = 988 \text{ litros de Na}_2\text{SO}_4/\text{día} =$$

$$= 0.988 \text{ M}^3 \text{ de Na}_2\text{SO}_4/\text{ día}$$

más el volumen que ocupará el carbonato básico de cobre producido por día:

$$\frac{200 \text{ Kg CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2/\text{día}}{1 \text{ día}/3.85 \text{ Kg/litro}} = 51.94 \frac{\text{litros de CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2}{\text{día}}$$

.....

o igual a  $0.052 \text{ M}^3$  por día de producción.

Y si  $0.988 \text{ M}^3 + 0.052 \text{ M}^3 = 1.040 \text{ M}^3$  totales, más un 20% de rango de seguridad a este volumen, resulta  $1.25 \text{ M}^3$  de capacidad - en cada tanque; y si por razones de diseño la altura de cada - tanque es igual a su diámetro se tiene:

volumen del material =  $\pi r^2 h$  y  $h = D$  el volumen es =  $13.65 \text{ dm}^3$  pues  $h = 1.17 \text{ M}$  y  $D = 1.17 \text{ M}$  también.

la superficie resulta:

$$S = \pi Dh = 430 \text{ dm}^2$$

la cantidad de material requerido es 107 Kg que se redondea a 110 Kg para cada tanque.

Costo calculado para cada tanque = \$ 2,475.00 (M.N.)

más el material para la base que son 26.76 Kg:

$$26.76 \text{ Kg} \times 22.50 \text{ \$/Kg} = 602.30 \text{ \$ (M.N.)}$$

el costo total por los dos tanques será :

$$2(2,475.00 + 602.30) = \underline{\$ 6,154.60 \text{ (M.N.)}}$$

más la misma cantidad aproximadamente por mano de obra:

$$2(6,154.60) = \underline{\$ 12,310.00 \text{ (M.N.)}}$$

### 7 AGITADOR PARA TANQUE DE SOLUCION DE SULFATO DE SODIO.

Con base en la selección de un modelo de agitador fijo, tipo mezclador para volúmenes medianos de soluciones acuosas, y según recomendaciones de proveedores consultados (16), se escogió un agitador que crea alta presión en el fondo del tanque de sulfato de sodio y redissuelve perfectamente bien las partículas o cristales que hayan quedado sedimentados durante la descarga de solución; por esto mismo, mantiene la solución acuosa en las condiciones de operación necesarias, mientras la solución se esta mandando al reactor principal.

Dicho agitador tiene las características siguientes:

Potencia de 1/4 HP desarrollada por un motor eléctrico de 115 V a 60 Hz de corriente alterna.

Velocidad de rotación de 500 rpm mínima a 3450 rpm máxima, operando de 50 a 100 PSI (0.2 atm.) de presión.

El agitador incluye también un regulador para el flujo de aire; esta construido en acero inoxidable 316 de 36" de longitud.

Este agitador representa un costo de \$ 10,971.00 (M. N.), más impuesto:

Total : \$ 12,068.00 (M.N.)

**8 TANQUE DE PREPARACION PARA SOLUCION ACUOSA DE CARBONATO DE SODIO.**

Tomando como base la cantidad de 71,530 l por mes que se requieren para producir las 5 toneladas de carbonato básico de cobre, serán 2,861 l/día de carbonato de sodio necesarios, lo que representa un volumen de  $3.0 \text{ M}^3$  de capacidad para este tanque de disolución, más un 20% de rango de seguridad por la agitación que tendrá, será de un volumen de  $3.6 \text{ M}^3$

Siendo entonces  $V = 3.6 \text{ M}^3$ , tendremos los datos del diámetro y la altura del tanque, siguiendo los lineamientos de los cálculos anteriores, de aquí que:

$$V = 3.60 \text{ M}^3$$

$$D = 1.66 \text{ M}$$

$$r = 0.83 \text{ M}$$

$$\text{y } h = 1.66 \text{ M (por cuestiones de diseño)}$$

con estos datos obtenemos los resultados siguientes:

$$\text{superficie} = \pi Dh = 865.7 \text{ dm}^2.$$

volumen del material =  $S \times e = 27.48 \text{ dm}^3$ . La lámina es de acero al carbón de 1/8".

$$\text{cantidad de material en Kg} = V \times \rho = 215.76 \text{ Kg}$$

material para la base del tanque:

$$\text{superficie} = \pi r^2 = 216.42 \text{ dm}^2$$

$$\text{volumen de material} = S \times e = 6.87 \text{ dm}^3$$

$$\text{cantidad de material en Kg} = V \times \rho = 54 \text{ Kg}$$



precio del material = 22.50 \$/Kg

precio por el material para el tanque:

$$(215.76 \text{ Kg} + 54 \text{ Kg}) \times 22.50 \text{ \$/Kg} = \$ 6,069.20 \text{ (M.N.)}$$

pero suponiendo la misma cantidad por mano de obra:

$$\underline{\$ 12,138.40 \text{ (M.N.)}}$$

**9 BOMBAS DE RECIRCULACION PARA SOLUCION DE SULFATO DE COBRE  
Y CARBONATO DE SODIO.**

Las bombas para recirculación de soluciones serán de tipo vertical, motor eléctrico, de velocidades fijas o variables según se requiera; estas bombas pueden operar con cero - carga de succión. Trabajan con cargas o presiones de hasta -- 120 M con capacidad máxima de 1,500 l.p.m. y pueden trabajar a temperaturas hasta 120°C. El costo por bomba es de: \$ 7,645.00 (M.N.) que incluye impuestos y colocación.

Así entonces, el gasto por las dos bombas que se requieren será de :

$$\underline{\$ 15,290.00 \text{ (M.N.)}}$$

### Consideraciones económicas de materia prima

Las necesidades de producción en cuanto a materia prima se refiere, son basicamente:

#### 1.- Chatarra o desperdicio de cobre.

Se requieren mensualmente 575 Kg de cobre por cada tonelada de producto, o sean, 2,875 Kg totales para 5 toneladas. El precio por Kg de chatarra es de 20 \$/Kg, para la chatarra de primera. El gasto calculado es :

\$ 57,500.00 (M.N.)

#### 2.- Acido sulfúrico.

La cantidad mensual necesaria es de 2,410 litros mensuales, se considerará esta cantidad con un 25% mas como rango de seguridad, entonces serán 3,000 litros/mes de ácido sulfúrico.

El precio actual en el mercado de este producto, fluctúa de acuerdo al precio del cobre electrolítico en el mercado, por lo que se toma el precio promedio en los últimos 6 meses, el cual es de \$ 5.50 el litro.

Esto representa un gasto en ácido sulfúrico mensual de:

\$ 16,500.00 (M.N.)

### 3.- Carbonato de sodio decahidratado.

Se requieren 958.8 Kg de carbonato de sodio por tonelada de producto, lo cual quiere decir que serán 3,795 Kg de  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ , por 5 toneladas de carbonato básico de cobre. Dando un rango de seguridad de 20% más, lo que da un total de 4,554 Kg de carbonato de sodio, que a razón de --- \$ 4.80 por kilogramo representa un gasto mensual de:

\$ 21,859.20 (M.N.)

Consideraciones económicas al 100 % de venta del producto.

Se producirán 5 toneladas de carbonato básico de cobre por mes, este producto se venderá a un precio de \$ 32.00 -- (M.N.) por kilogramo, durante un período aproximado de 2 años;-- según las cotizaciones del cobre metálico en el mercado, este precio, igual que los calculados anteriormente para la materia-prima, fluctuarán entre un 10 y un 20 % de su valor actual.

Suponiendo que la venta del producto sea del 100 %, -- para considerar cuestiones de amortización y factibilidad del -- proceso, se tendrá:

cantidad total mensual producida igual a 5 toneladas

precio por kilogramo del producto igual a \$ 32.00 (M.N.)

ingresos mensuales por venta del 100 % del producto igual a ---

\$ 160,000.00 (M.N.) por mes

Consideración económica general.

Si consideramos todos los gastos por concepto de mano de obra, material para equipo y materia prima para proceso, se tiene la cotización del proceso.

Gastos por concepto de equipo incluyendo mano de obra para construcción :

	\$ (M.M.)
1.- Tanque de ácido sulfúrico .....	13,419.00
2.- Reactor de formación de sulfato de cobre .....	30,814.00
3.- Tanques de soporte .....	10,329.00
4.- Soplador de aire .....	40,000.00
5.- Reactor de formación de carbonato básico de cobre .....	50,727.00
6.- Tanques de asentamiento (2).....	12,310.00
7.- Agitador centrífugo .....	12,068.00
8.- Tanque de solución acuosa de carbonato de sodio .....	12,139.00
9.- Bombas de recirculación (2) .....	15,290.00
10.- Sacos para envasado .....	<u>5,000.00</u>
<b>TOTAL .....</b>	<b>\$ 202096.00</b>

## Consideraciones de gastos por concepto de materia prima:

	\$ (M.N.)
1.- Chatarra de cobre .....	57,500.00
2.- Acido sulfúrico .....	16,500.00
3.- Carbonato de sodio .....	<u>21,859.00</u>
TOTAL .....	\$ 95,859.00

## Gastos por concepto de operadores:

	\$ (M.N.)
1.- Operadores de equipo .....	22,000.00
2.- Analista .....	<u>10,000.00</u>
TOTAL .....	\$ 32,000.00

## Cantidad total de gastos de proceso:

\$ 329,955.00 inversión inicial

## Cantidad total de ventas:

\$ 160,000.00 mensuales

## Gastos mensuales por concepto de materia prima y trabajadores:

\$ 127,859.00 mensuales

## Ganancias brutas mensuales:

\$ 32,141.00 mensuales

Como resultado de estas consideraciones, el tiempo de recuperación de la inversión será máximo de un año.

## COCLUSIONES.

En la actualidad, la mayor parte de las industrias, -  
tienden a desarrollar nuevos procesos para el mejor aprovecha-  
miento de sus recursos, optimizan sus métodos, mediante la pro-  
yección de nuevas tecnologías, que siendo poco costosas y adap-  
tables a las técnicas existentes, se aplican a materiales que-  
durante las etapas anteriores, se suponían sin valor producti-  
vo y se desechaban como desperdicios.

El trabajo realizado, demuestra claramente como los-  
desperdicios de cobre pueden ser aprovechados para obtener un-  
producto con valor agregado aceptable y remunerable, mediante  
el diseño de un proceso que puede fácilmente llevarse a cabo.-  
Comprende equipo de diseño sencillo en el cual se llevan a ca-  
bo reacciones que son fáciles de lograr por las propiedades --  
que los materiales presentan.

Dentro de la fabricación del carbonato básico de co-  
bre, se menciona el proceso de obtención del sulfato de cobre-  
lo cual hace notar también que el proyecto de desarrollo de es  
ta planta puede ser factible en la primera etapa del proceso -  
para obtener el sulfato pentahidratado en cristales y poster<sup>fi</sup>  
mente agregando la segunda etapa, obtener primero el sulfato -  
en solución acuosa y después el carbonato básico de cobre que-

.....

tiene mayor valor comercial.

Los cálculos para obtener resultados reales son por -  
métodos estequiométricos y matemáticos fácilmente comprensibles  
y aplicables al proceso.



**A P E N D I C E**

T A B L A I

Principales características de los minerales más representativos del cobre.

<u>MINERAL</u>	<u>COMPOSICION</u>	<u>DUREZA</u>	<u>GRAVEDAD ESPECIFICA</u>
<b>SULFURADOS:</b>			
Bornita	$Cu_5FeS_4$	3	5.06-5.08
Calcopirita	$CuFeS_2$	3.5-4	4.1-4.8
Energita	$Cu_3(As,Sb)S_4$	3	4.43-4.45
Tetraedrita	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	3- 4.5	4.6
Tenantita	$Cu_{12}As_4S_{13}$	3- 4.5	4.37-4.49
Calcocita	$Cu_2S$	2.5-3	5.5-5.8
Covelita	$CuS$	1.5-2	4.64-4.76
<b>OXIDADOS:</b>			
Cuprita	$Cu_2O$	3.5-4	6.14
Tenorita	$CuO$	3.5	5.8-6.4
Malaquita	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	3.5-4	3.9-4.03
Azurita	$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	3.5-4	3.77-3.89
Brocantita	$Cu_4SO_4(OH)_6$	3.5-4	3.9
Atacanita	$Cu_2Cl(OH)_3$	3-3.5	3.76-3.78
Crisocola	$CuSO_3 \cdot 2H_2O$	2-4	2.00-2.40
<b>NATIVO:</b>			
Cobre Nativo	$Cu$	2.5-3	8.95

'ATD/atd.

I -DENSIDADES DEL CARBONATO DE SODIO DEPENDIENDO  
DE LA TEMPERATURA Y LA CONCENTRACION

%/T	<u>0°C</u>	<u>10°C</u>	<u>20°C</u>	<u>30°C</u>	<u>40°C</u>	<u>60°C</u>	<u>80°C</u>	<u>100°C</u>
1	1.0109	1.0103	1.0086	1.0058	1.0022	0.9929	0.9814	0.9683
2	1.0219	1.0210	1.0190	1.0159	1.0122	1.0027	0.9910	0.9782
4	1.0439	1.0423	1.0398	1.0363	1.0323	1.0223	1.0105	0.9980
8	1.0878	1.0850	1.0816	1.0775	1.0732	1.0625	1.0503	1.0380
12	1.1319	1.1284	1.1244	1.1200	1.0500	1.1039	1.0914	1.0787
14	1.1543	1.1506	1.1463	1.1417	1.1365	1.1251	1.1125	1.0996
16				1.1636				
18				1.1859				
20				1.2086				
24				1.2552				
28				1.3031				
30				1.3274				

**II - DENSIDADES DEL SULFATO DE SODIO DEPENDIENDO  
DE LA TEMPERATURA Y LA CONCENTRACION**

<b>%/T</b>	<b><u>0°C</u></b>	<b><u>20°C</u></b>	<b><u>30°C</u></b>	<b><u>40°C</u></b>	<b><u>60°C</u></b>	<b><u>80°C</u></b>	<b><u>100°C</u></b>
1	1.0094	1.0073	1.0046	1.0010	0.9919	0.9805	0.9671
2	1.0189	1.0164	1.0135	1.0098	0.0007	0.9892	0.9758
4	1.0381	1.0348	1.0315	1.0276	1.0184	1.0068	0.9934
8	1.0773	1.0724	1.0682	1.0639	1.0544	1.0426	1.0292
12	1.1174	1.1109	1.1062	1.1015	1.0915	1.0795	1.0661
16	1.1585	1.1506	1.1456	1.1406	1.1299	1.1176	1.1042
20	1.2008	1.1915	1.1865	1.1813	1.1696	1.1569	
24	1.2443	1.2336	1.2292	1.2237			

III -DENSIDADES DEL SULFATO DE COBRE DEPENDIENDO  
DE LA TEMPERATURA Y LA CONCENTRACION

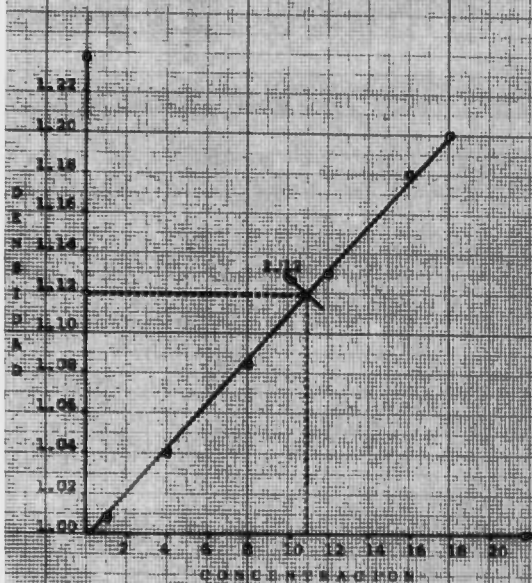
<u>%/T</u>	<u>0°C</u>	<u>20°C</u>	<u>40°C</u>
1	1.0104	1.0086	1.0024
4	1.0429	1.0401	1.0332
8	1.0887	1.0840	1.0764
12	1.1379	1.1308	1.1222
16		1.1800	
18		1.2060	

IV - SOLUBILIDADES DE LOS COMPUESTOS A DIFERENTES TEMPERATURAS

Compuesto/T°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	5.0	9.0	19.4	40.8	--	--	--	--	--	--	--
$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	14.3	17.4	20.7	25	28.5	33	40	--	55	--	75.4
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	7.0	12.5	21.5	38.8	--	--	--	--	--	--	--

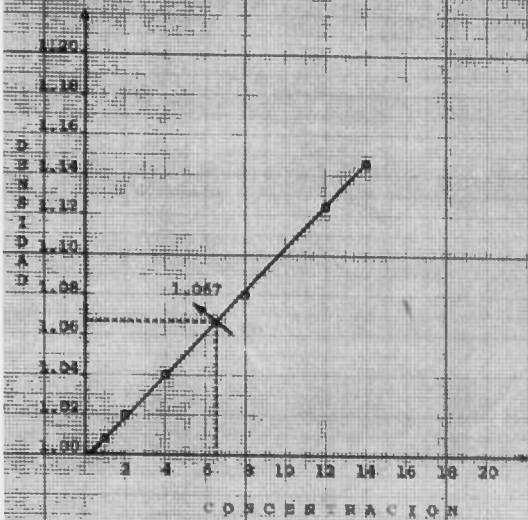
TABLA II

GRAFICA II



Densidad del  $\text{CaCl}_2$  a  $20^\circ\text{C}$  en solución acuosa a diferentes concentraciones.

GRAFICA III



Densidad del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a  $20^\circ\text{C}$  en solución acuosa a diferentes concentraciones.



## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Thorpe's Dictionary of Applied Chemistry. By J.F. Thorpe.  
Vol III. 4<sup>th</sup> Edition. Ed. Longmans. Pags. 355-356.
- 2.- Clark & Hawley. Enciclopedia de Química. Ed. Omega. Pags.  
324-325.
- 3.- Gessner G Hawley. Diccionario de Química y Productos Quí-  
micos. Ed. Omega. Pags. 234-236.
- 4.- Thorpe, J.F. Enciclopedia de Química Industrial. Vol II.-  
Pags. 572-573.
- 5.- División de Ingeniería de la Industria de Productos Quími-  
cos. Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial.
- 6.- Ingeniería Industrial de Productos Químicos, S.A. Sn. An-  
drés Atoto # 9, Edo. de México.
- 7.- Kirk Othmer., Enciclopedia de la Industria Química. Vol.2  
2da. Edición.
- 8.- Tesis. La industria Mexicana del Cobre.

- 9.- N. Christian Nielsen., Enciclopedia Británica., Vol. 6 --  
Central Methodist College. Pags. 131-139.
- 10.-Blucher.,Enciclopedia de Química Industrial. Derivados de  
cobre, pigmentos de cobre. Pags. 312-315.
- 11.-Orozco, D. Fernando Dr. Análisis Químico Cuantitativo ---  
Caps. 14, 15 y 26., Pags. 212, 215-217, 362-363.
- 12.- Perry H. John. Chemical Engineers' Handbook. 4<sup>th</sup> Edition  
Mc. Graw Hill- Kogakusha. Pages. 3-77, 3-79; tabla 3-138
- 13.- Flaschka, Barnard Jr. & J. Sturrock.Quantitative Analyti  
cal Chemistry. Barnes & Noble, inc., 1969.
- 14.- Seidell, A. Solubilities of Inorganic An Metal Organic -  
Compounds. 3<sup>rd</sup> Edition. Vol I. D. Van Nostrand Company,-  
Inc., New York. Pags. 553-601.
- 15.- Coordination Compounds, Mc. Graw-Hill Book Co., Inc. New  
York. pps. 630-632.
- 16.- Sistemas de Bombeo.,ITT, Ocelco, S.A. de C.V. Negra Modg  
lo # 20 Fracc. Alce Blanco., Naucalpan, Edo. de México.

17.- Miranda A. Miguel., Matemáticas Mercantiles. Ed. Patria  
A.P. 784. 4<sup>a</sup> Edición 1977, Cap. 24., Pags. 417-428.

18.- Sutorbilt California., Series B. Bulletin 8-59 V. Rotary  
Positive Blowers and Vacuum Pumps.