

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“ESTUDIO Y ANALISIS DEL PROCESO DE OBTENCION DEL
SULFATO DE COBRE (II) PENTAHIDRATADO A PARTIR DEL
COBRE RECICLADO, CONSIDERANDO LOS RIESGOS Y
MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL MANIPULEO DEL ACIDO
SULFURICO Y EL PRODUCTO”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

ESTHER ALICIA MARTINEZ RIVERA

LIMA – PERU

2006

AGRADECIMIENTO

Este nuevo paso que he dado no habría sido posible sin mi madre Elsa a la cual admiro por la fortaleza que tiene en todo momento y mi padre Isaac, quienes a pesar de las limitaciones y las circunstancias que se presentaron, siempre estuvieron prestos a apoyarme incondicionalmente, a mi hermana Liliana quien estuvo a mi lado dándome fuerzas, comprendiéndome con mucha paciencia y mi tía Ursina que con sus palabras alimentaba mi alma.

También a mis amigas de siempre Susan y Sofia con las cuales he compartido mi vida y mi amigo Gilberto García que con sus sabias palabras y consejos me permitieron cumplir éste proyecto.

Al apoyo permanente del Ingeniero Elmo Pajares en la realización de éste informe, así como a los Ingenieros Carlos Morales, José Pérez y Violeta Chavarri.

Finalmente a los Ingenieros Miguel Nuñez y Julio Campos por su apoyo técnico y por supuesto a la empresa productora de sulfato.

RESUMEN

En el presente informe se ha considerado una explicación de los conceptos básicos de ingeniería concernientes al tema, teniendo en cuenta que esta información puede ser utilizada por personas que no cuentan con estudios de esta especialidad, luego se hace una descripción de las características de las materias primas e insumos, mencionando las principales aplicaciones del ácido sulfúrico, y del producto sulfato de cobre hidratado, obtenido de cobre reciclado.

La inclusión de un artículo de la revista técnica de la facultad de ingeniería de la universidad de Zulia, fue con el propósito de hacer más didáctico la explicación gráfica del comportamiento químico de éste proceso, información tan rebuscada. Se estudia y analiza la descripción del proceso de fabricación de una planta productora de sulfato de cobre hidratado, teniendo en cuenta su reacción química, condiciones de operación, los equipos empleados, diagrama de flujo. Se ha tomado en cuenta los riesgos y las medidas de seguridad adoptadas en el manejo de ácido sulfúrico por ser muy corrosivo y del producto $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, por sus múltiples aplicaciones en el sector industrial como agrícola, minero, tratamiento de agua entre otros.

En las observaciones, conclusiones y recomendaciones se brinda de manera más directa el aporte que incrementa beneficios al proceso productivo, ambiente y seguridad ocupacional.

Finalmente en el apéndice se describirá un método de obtención de sulfato de cobre pentahidratado a partir de chatarra de cobre y de una mezcla de H_2SO_4 y HNO_3 , datos de gráfica del cobre primario versus el secundario y la chatarra, glosario de abreviaturas y términos, gráficos de medidas de seguridad, así como los datos de exportación del sulfato de cobre hidratado obtenidos de Aduanet.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	3
I. INTRODUCCION.....	7
II. CONCEPTOS Y TÉCNICAS.....	8
2.1 Conceptos.....	8
2.1.1 Visión Molecular del Proceso de disolución.....	8
2.1.2 Cristales Metálicos	11
2.1.3 Solubilidad.....	11
A. Naturaleza del solvente.....	12
B. Naturaleza del soluto.....	12
C. Solubilidad de los sólidos y la temperatura.....	13
D. Solubilidad de los gases y la temperatura.....	14
E. Efecto de la presión en la solubilidad de los gases	16
2.2. Técnicas de Producción.....	18
2.2.1 Producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de chatarra de cobre y ácido sulfúrico aireado	18
2.2.2 Producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de chatarra de cobre y una mezcla de ácido sul_ fúrico y ácido nítrico.....	18
2.2.3 Producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de cemento de cobre.....	18
III. ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL SULFATO DE COBRE (II) PENTAHIDRATADO A PARTIR DE COBRE RECICLADO, CONSIDERANDO LOS RIESGOS Y	

LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL MANIPULEO DEL	
ÁCIDO SULFÚRICO Y EL PRODUCTO.....	19
3.1 Estudio y análisis del Proceso de Obtención del Sulfato de	
Cobre (II) Pentahidratado a partir de cobre reciclado.....	19
3.1.1. Proceso de obtención del sulfato de cobre (II)	
pentahidratado.....	19
A. Reacción química.....	19
B. Principales características	22
C. Principales aplicaciones	24
3.1.2. Características de la materia prima e insumos.....	39
A. Cobre metálico reciclado.....	39
B. Ácido sulfúrico.....	46
C. Agua (alcantarilla, no requiere ser tratada).....	50
D. Oxígeno (tomado del aire).....	51
3.1.3 Características técnicas y operativas del proceso	
de obtención del sulfato de cobre (II)	
pentahidratado de una planta industrial productora ...	52
A. Tipo de proceso y volumen de producción.....	52
B. Reacción química estequiométrica.....	52
C. Variables operativas.....	53
D. Descripción del proceso.....	53
3.2. Riesgos y medidas de seguridad en el manipuleo de ácido	
sulfúrico y el producto.....	63
3.2.1 Riesgos y medidas de seguridad en el manipuleo	
de ácido sulfúrico.....	63
A. Riesgos de fuego y explosión.....	63
B. Riesgos para la salud.....	64
C. Primeros auxilios.....	65
D. Control y prevención de accidentes.....	67
E. Instrucción y entrenamiento de personal.....	68
F. Equipo de protección personal.....	69

G. Medidas para controlar derrames o fugas... ..	71
H. Manipulación y almacenamiento.....	72
3.2.2. Riesgos y medidas de seguridad en el manipuleo del producto.....	75
A. Riesgos de fuego y explosión.....	75
B. Riesgos para la salud.....	76
C. Primeros auxilios.....	77
D. Riesgos de exposición.....	78
E. Equipo de protección personal.....	82
F. Estabilidad y reactividad.....	84
G. Derrames y emergencias.....	85
H. Manipulación y almacenamiento.....	85
I. Datos complementarios.....	86
J. Consideraciones sobre disposición final.....	88
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
4.1. Conclusiones.....	89
4.2. Recomendaciones.....	90
V. BIBLIOGRAFÍA.....	92
APÉNDICE A.....	93
APÉNDICE B.....	99
APÉNDICE C.....	102
APÉNDICE D.....	108
APÉNDICE E.....	113

I. INTRODUCCIÓN

El Sulfato de Cobre hidratado gracias a sus aplicaciones se convierte en el más importante de todos los compuestos químicos de cobre, debido a que varios compuestos de cobre usados en la industria se preparan utilizando como insumo este producto.

Se realizará el estudio y análisis de un proceso industrial de producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de cobre reciclado, lo cual indirectamente mejora el ambiente, ahorrando costos al utilizar y no desperdiciar el cobre resultante de otro proceso industrial y ácido sulfúrico aireado, teniendo en cuenta las características de la empresa productora de sulfatos.

Igualmente se considera los riesgos y las medidas de seguridad que se deben adoptar en el manipuleo del ácido sulfúrico como insumo primordial debido que es una sustancia controlada, corrosiva, mientras que el producto que es el sulfato de cobre hidratado es menos peligroso, pero aún así requiere de sumo cuidado, esto contribuye a la seguridad ocupacional de las personas.

II. CONCEPTOS Y TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN

2.1 Conceptos

A continuación se hace un breve repaso de los principales conceptos químicos a considerar en las técnicas de producción del sulfato de cobre pentahidratado.

2.1.1 Visión Molecular del proceso de disolución

Una disolución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias. Como esta definición no restringe en modo alguno la naturaleza de las sustancias requeridas, se pueden considerar seis tipos fundamentales de disoluciones, dependiendo de los estados originales (sólido, líquido o gaseoso) de los componentes de la disolución. La **tabla 2.1** muestra ejemplos de los tipos de disoluciones.

Tabla 2.1 Tipos de disoluciones.

Componente 1	Componente 2	Estado de la disolución resultante	Ejemplos
Gas	Gas	Gas	Aire
Gas	Líquido	Líquido	Agua gaseosa (CO ₂ en agua)
Gas	Sólido	Sólido	H ₂ gaseoso en paladio
Líquido	Líquido	Líquido	Etanol en agua
Sólido	Líquido	Líquido	NaCl en agua
Sólido	Sólido	Sólido	Cobre (Cu/Zn), Soldadura (Sn/Pb).

En los estados líquido y sólido las moléculas se mantienen unidas por atracciones intermoleculares. Estas fuerzas también juegan un papel central en la formación de las disoluciones. El dicho “lo semejante disuelve a lo semejante”, se basa en la acción de las fuerzas intermoleculares. Cuando una sustancia (el soluto) se disuelve en otra (el disolvente) por ejemplo, un sólido en un líquido, las partículas de soluto se dispersan homogéneamente en todo el disolvente. Las partículas del soluto ocupan posiciones que corresponden por lo normal a moléculas de disolvente. La facilidad con la que una partícula de soluto puede reemplazar a una molécula de disolvente depende de la fuerza relativa de tres tipos de interacciones, que son:

- Disolvente-disolvente.
- Disolvente-soluto.
- Soluta-soluta.

El proceso de disolución se lleva a cabo en tres etapas independientes, la primera etapa implica la separación de las moléculas de disolvente, la segunda implica la separación de las moléculas de soluto, estas dos etapas requieren la absorción de energía ($\Delta H_1 + \Delta H_2$) para romper las fuerzas de atracción intermolecular, por lo tanto, los procesos son endotérmicos. En la tercera etapa se mezclan las moléculas de disolvente y soluto, esta mezcla puede ser exotérmica o endotérmica, entonces, el calor de disolución, ΔH_{soln} , (la figura 2.1 muestra el enfoque molecular del proceso de disolución) está dado por la sumatoria de las energías absorbidas o liberadas en los tres procesos:

$$\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3.$$

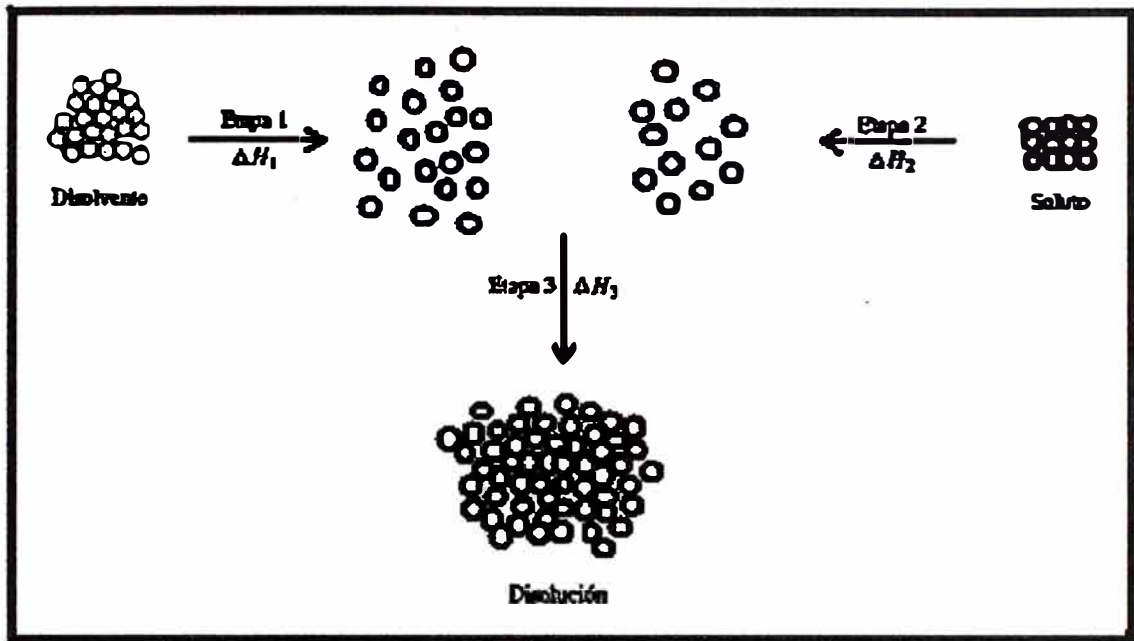


Figura 2. 1 Un enfoque molecular del proceso de disolución concebido en tres etapas.

Si la atracción soluto-disolvente es más fuerte que la atracción disolvente-disolvente y que la atracción soluto-soluto, será favorable el proceso de disolución; esto es, el soluto se disolverá en el disolvente. Dicho proceso de disolución es exotérmico ($\Delta H_{\text{soln}} < 0$).

Si la interacción soluto-disolvente es más débil que las interacciones disolvente-disolvente y soluto-soluto, entonces el proceso de disolución es endotérmico ($\Delta H_{\text{soln}} > 0$).

Cabe preguntarse por qué un soluto se disuelve en un disolvente si la atracción entre sus propias moléculas es más fuerte que la que se da entre sus moléculas y las del disolvente. Como todos los procesos físicos y químicos, el de disolución está regido por dos factores, uno es el energético, que determina si el proceso de disolución será exotérmico o endotérmico; sólo los procesos de disolución exotérmicos se relacionan con interacciones soluto-disolvente favorables.

El otro factor que debe considerarse es el desorden o aleatoriedad que resulta cuando se mezclan las moléculas de soluto y disolvente para formar una disolución. En estado puro, el disolvente y el soluto poseen cierto grado de orden. Por orden se entiende una disposición regular de átomos, moléculas o iones en el espacio tridimensional. Gran parte de este orden se destruye cuando el soluto se disuelve en el disolvente. Por lo tanto, el proceso de disolución siempre se acompaña de un incremento en el desorden o aleatoriedad. Es este incremento en el desorden del sistema lo que favorece la solubilidad de cualquier sustancia. Esto explica por qué una sustancia puede ser soluble en un disolvente aún cuando el proceso de disolución sea endotérmico.

2.1.2 Cristales Metálicos

En general, los metales no son solubles en disolvente alguno, sea polar o no polar. En vez de ello, numerosos metales reaccionan químicamente con el disolvente. A pesar que se usa el término "disolver", éste es en realidad un proceso netamente químico más que físico, ya que se produce una reacción química.

2.1.3 Solubilidad

Cantidad máxima de soluto (sustancia presente en menor cantidad en una disolución) que se puede disolver en una cantidad dada de disolvente (sustancia presente en mayor cantidad en una disolución), a una temperatura específica. La solubilidad de las sustancias, en gramos de soluto por 100 gramos de solvente agua, se representa gráficamente en función de la temperatura (°C). La solubilidad de una sustancia (sólida o líquida) en un solvente particular se determina por los factores que dependen de la naturaleza del solvente, soluto, condiciones de temperatura y presión.

Cuando una sustancia sólida (soluta) se disuelve en un líquido (solvente), la solubilidad del soluto es limitada o finita debido a que se forma una solución saturada.

En cambio, cuando dos líquidos forman una solución ideal son siempre miscibles en cualquier proporción, por lo tanto, tienen una solubilidad mutua ilimitada o infinita. Los principales factores de los cuales depende la solubilidad se describen a continuación:

A. Naturaleza del solvente

La solubilidad de una sustancia es mayor cuando las moléculas del soluto son semejantes eléctrica y estructuralmente a las del solvente. Por eso se dice que “lo semejante disuelve a lo semejante”. Si existe semejanza entre las propiedades eléctricas (momento dipolar grande) entre el soluto y el solvente, las atracciones entre sus moléculas son fuertes y en caso contrario son débiles. Por eso un compuesto polar, como el agua, es un buen solvente por tener una constante dieléctrica alta con respecto a otro también polar como el alcohol, y mal solvente de una sustancia no polar como la gasolina. En cambio el benceno es un buen solvente de la gasolina porque es una molécula no polar. En general, los solventes polares disuelven mejor a los compuestos iónicos que los solventes no polares. Por lo que, cuanto mayor sea la polaridad del disolvente mayor será la solubilidad en él de un compuesto iónico.

B. Naturaleza del soluto

Las interacciones soluto-solvente y soluto-soluta dependen del tipo de soluto y del tipo de solvente. Por ejemplo, a 20 °C la solubilidad del cloruro de sodio (NaCl, 58,45 g/mol) es de 36 g/100 mL de agua y la del azúcar (sacarosa, C₁₂H₂₂O₁₁, 342,3 g/mol) de 203,9 g/100 mL de agua. Con la solubilidad expresada en g de soluto/100 mL de solvente parece contradictorio porque el azúcar no es un

compuesto iónico y parece tener una mayor solubilidad que el cloruro de sodio. Para obtener conclusiones válidas al comparar la solubilidad de las sustancias conviene usar la concentración molar o Molaridad M (moles de soluto/litro de solución). Entonces, para el cloruro de sodio se tiene que la concentración es de 6,15 M y para la sacarosa de 5,96 M, lo que resulta lógico porque hay mayor atracción entre los iones Na^+ y Cl^- y las moléculas polares del agua, que entre las moléculas no polares de la sacarosa y las moléculas polares del agua. En la interacción soluto-soluto, sin mucho rigor se puede decir, que un soluto influye muy poco sobre la solubilidad de otras sustancias diferentes en la misma solución, a menos que su concentración sea muy elevada o que los solutos tengan un ión común.

C. Solubilidad de los sólidos y la temperatura

Se obtiene una disolución saturada cuando se ha disuelto la máxima cantidad de una sustancia en un disolvente, a una temperatura dada. Antes de que se alcance este punto sobre la curva de solubilidad, cuando una disolución contiene menor cantidad de soluto que la que le permite su capacidad para disolver, se tiene una disolución insaturada. En una disolución saturada existe un proceso de equilibrio dinámico. Tómese, como ejemplo, una disolución saturada de Bromuro de Litio, LiBr. La disolución se puede preparar añadiendo un exceso de LiBr sólido a un vaso de agua a 25°C. En cada instante se disolverán en el agua algunos iones Li^+ y Br^- provenientes del sólido, mientras que un número igual de iones Li^+ y Br^- de la disolución se depositarán para reconstituir el LiBr sólido. El proceso en el cual un soluto disuelto se separa de la disolución y forma cristales se denomina cristalización. En la mayoría, pero ciertamente no en todos los casos, la solubilidad de una sustancia sólida aumenta con la temperatura. Sin embargo, no hay una

correlación clara entre el signo del calor de la solución ΔH_{soln} y la variación de la solubilidad con la temperatura. *Por ejemplo, el proceso de disolución del cloruro de calcio, $CaCl_2$, es exotérmico y el del nitrato de amonio NH_4NO_3 es endotérmico. Pero la solubilidad de ambos compuestos aumenta al incrementarse la temperatura. En general la dependencia de la solubilidad con la temperatura se determina de manera óptima por experimentación.*

Muchas sustancias también pueden formar disoluciones sobresaturadas, soluciones que contienen más soluto que el presente en las disoluciones saturadas. Por ejemplo, se puede preparar una disolución sobresaturada de acetato de sodio, CH_3COONa , por enfriamiento de una disolución saturada. Si el proceso se lleva a cabo en forma lenta y cuidadosa, no cristalizará el exceso de acetato de sodio al disminuir la temperatura. Sin embargo, las disoluciones sobresaturadas son inestables. Una vez preparada la disolución sobresaturada, la adición de una pequeñísima cantidad de acetato de sodio (llamada semilla del cristal) provocará la cristalización inmediata del exceso de soluto. Nótese que tanto la precipitación como la cristalización describen la separación de la sustancia sólida de la disolución. Sin embargo, los sólidos que se forman en los dos procesos difieren en apariencia. Normalmente los precipitados están formados por partículas pequeñas, mientras que los cristales pueden ser grandes y bien conformados. La dependencia de la solubilidad de una sustancia con respecto a la temperatura varía en forma considerable. La solubilidad del nitrato de sodio, por ejemplo, aumenta rápido con la temperatura, mientras que la del bromuro de sodio prácticamente no cambia.

D. Solubilidad de los gases y la temperatura

La solubilidad de un gas en un líquido, es la cantidad máxima del gas que se puede disolver en un volumen determinado del líquido,

depende de la naturaleza del gas y de la naturaleza del líquido, de la temperatura y de la presión. Pero la solubilidad del gas aumenta todavía más cuando ocurre una reacción química entre el gas y el solvente.

Se explican estas mayores solubilidades por la disminución de las moléculas libres de estos gases en la solución y por la hidratación de los iones. La solubilidad del oxígeno gaseoso, O_2 , en el agua es de interés para los peces. La solubilidad del oxígeno gaseoso, O_2 , en la sangre aumenta enormemente por la formación de un compuesto con la hemoglobina. Normalmente el oxígeno es escasamente soluble en el agua, como $2,9 \times 10^{-4}$ mol/L a 24°C y a la presión parcial de 0,2 atm que corresponde a su proporción molar en el aire a 1,0 atm. Cuando los gases se disuelven en el agua hay generalmente una liberación de calor, por lo cual estos gases se disolverán más en frío donde pueden fácilmente desprenderse del calor que liberan. Al contrario, un aumento en la temperatura implica una disminución en la solubilidad. Es por esta razón que se puede expulsar fácilmente a los gases de una solución acuosa mediante la ebullición de ésta. En cambio, en los solventes orgánicos la solubilidad de muchos gases aumenta con la temperatura, especialmente en aquellos de solubilidades muy bajas.

En contraste con la solubilidad de los sólidos, la solubilidad de los gases en agua siempre disminuye al aumentar la temperatura. La próxima vez que se caliente agua, obsérvense las burbujas de aire que se forman en las paredes del vidrio antes de que hierva el agua. A medida que se eleva la temperatura, las moléculas de aire disueltas "hierven" en la disolución mucho antes de que hierva el agua misma. En la figura 2.2 Nótese que la solubilidad disminuye a medida que aumenta la temperatura. La presión del gas disuelto sobre la disolución es de 1 atm.

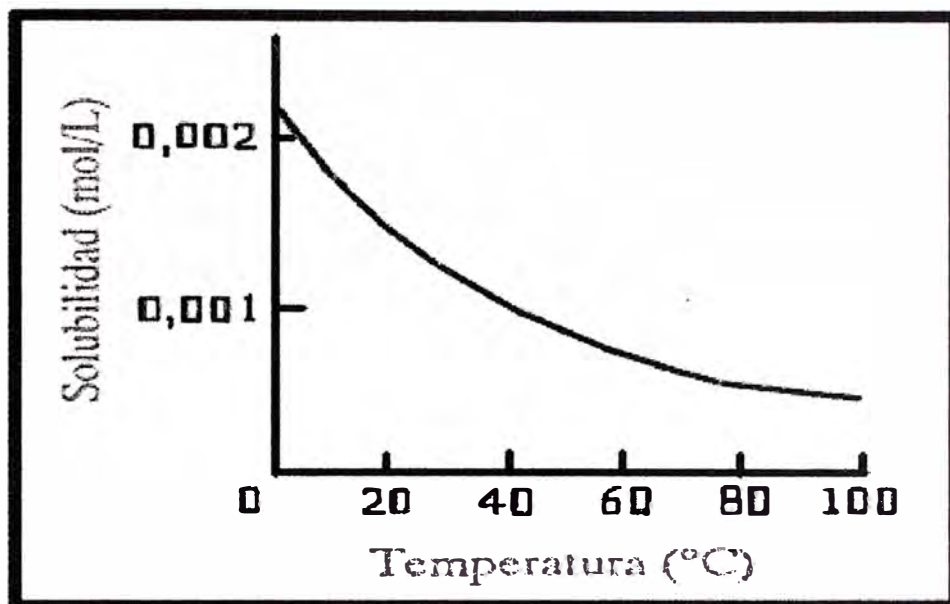


Figura 2.2 Dependencia de la solubilidad del oxígeno gaseoso, O_2 , en agua con respecto a la temperatura.

E. Efecto de la presión en la solubilidad de los gases

Para todos los propósitos prácticos, la presión externa no tiene influencia sobre la solubilidad de líquidos y sólidos, pero afecta mucho la solubilidad de los gases. La relación cuantitativa entre la solubilidad de los gases y la presión está dada por la ley de Henry, que establece que la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión del gas sobre la disolución: $c \propto P$, $c = kP$; aquí c es la concentración molar (mol/L) del gas disuelto; P es la presión del gas (en atmósferas) sobre la disolución; y, para un gas dado, k es una constante que depende sólo de la temperatura. La constante k tiene unidades de moles/L. atm y se conoce como constante de Henry. Se puede ver que cuando la presión del gas es 1 atm, c es numéricamente igual a k .

La ley de Henry se puede entender cualitativamente en término de la teoría-cinético-molecular. La cantidad de gas que se disolverá en un disolvente depende de cuán a menudo choquen las moléculas

del gas con la superficie del líquido y queden atrapadas por la fase condensada. Supóngase que se tiene un gas en equilibrio dinámico con una disolución (Fig. 2.3a). En cada instante, el número de moléculas de gas que entran en la disolución es igual al número de moléculas disueltas que se desplazan hacia la fase gaseosa. Cuando se aumenta la presión parcial, se disuelven más moléculas en el líquido, debido a que más moléculas están chocando con su superficie. Este proceso continúa hasta que la concentración de la disolución es de nuevo tal que el número de moléculas que salen de la disolución por segundo iguala el número de las que entran a ella. En la figura 2.3b se muestra que cuando la presión parcial del gas sobre la disolución aumenta de la figura “a” a la “b”, también aumenta la concentración del gas disuelto.

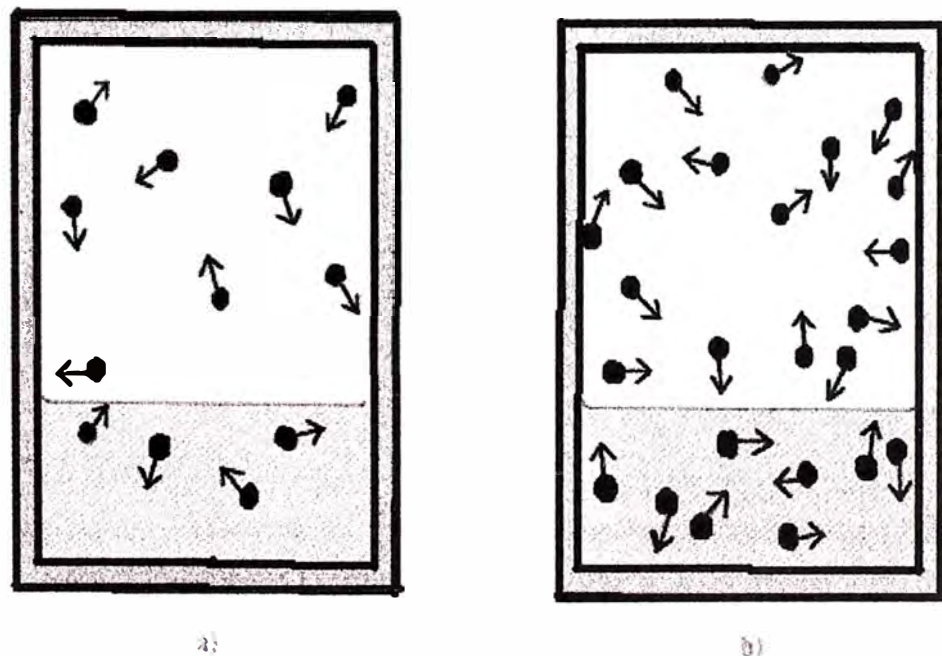


Figura 2.3 Una interpretación molecular de la ley de Henry.

2.2 Técnicas de Producción

2.2.1 Producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de chatarra de cobre y ácido sulfúrico aireado.

Esta técnica es el tema central del presente informe el cual será desarrollado en el capítulo siguiente.

2.2.2 Producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de chatarra de cobre y una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico

Esta técnica fue realizada en el laboratorio de la empresa de sulfato de cobre con la finalidad de reducir costos de producción. Las experiencias de laboratorio se incluyen en el Apéndice A.

2.2.3 Producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado a partir de cemento de cobre

Esta técnica consiste en lixiviar el mineral oxidado, seguido de precipitación con hierro, para eliminar las impurezas, la lixiviación del cemento de cobre y su cristalización directa, se obtiene un buen producto, tecnología que se puede aplicar a otros minerales parecidos muy abundantes en el Perú.

La producción de sulfato de cobre es una tecnología conocida y sencilla a partir de minerales oxidados y de soluciones ácidas de agua de mina; para que el sulfato de cobre alcance las características de la norma técnica respectiva, usualmente se hace mediante purificación y concentración de las soluciones de lixiviación mediante: extracción y reextracción con solventes orgánicos; como es de conocimiento general, esta tecnología es costosa y sólo está al alcance de la gran minería.

III. ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL SULFATO DE COBRE (II) PENTAHIDRATADO A PARTIR DE COBRE RECICLADO, CONSIDERANDO LOS RIESGOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD EN EL MANIPULEO DEL ÁCIDO SULFÚRICO Y EL PRODUCTO.

3.1 Estudio y análisis del Proceso de Obtención del Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado a partir de Cobre Reciclado

3.1.1 Proceso de Obtención del sulfato de cobre (II) pentahidratado

A. Reacción Química

La reacción global (1) con la cual se forma sulfato de cobre se explica a continuación:



i. Mecanismo de Reacción y Procesos de Transferencia de Masa

La Figura 3.1 muestra un esquema del mecanismo de oxidación del cobre en solución ácida aireada.

Las etapas del proceso que se pueden observar son:

- Migración de iones hidrógeno a la superficie del cobre (1)
- Flujo de electrones sobre la superficie metálica de cobre a los iones hidrógeno (2)
- Formación de hidrógeno atómico (3)
- Formación de moléculas de hidrógeno (4) y
- Liberación de hidrógeno molecular desde la superficie del cobre (5)

La Figura 3.2 muestra un esquema de las etapas del reactor en tres fases y la Figura 3.3 las concentraciones de oxígeno involucradas en el proceso.

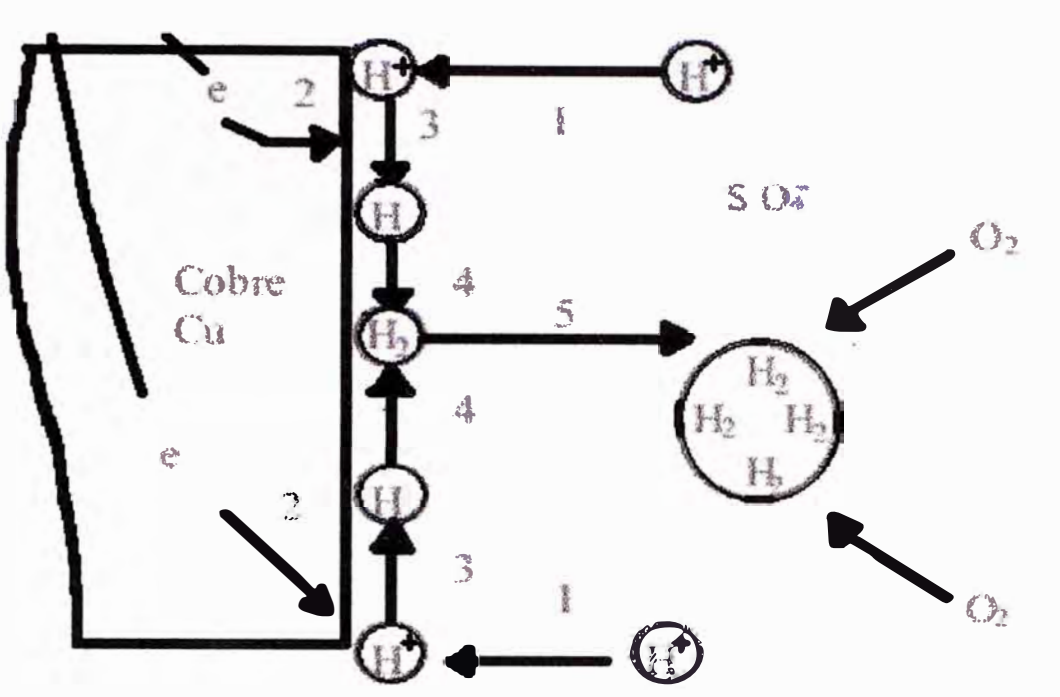


Figura 3.1 Mecanismo de reacción del cobre en ácido sulfúrico aireado.

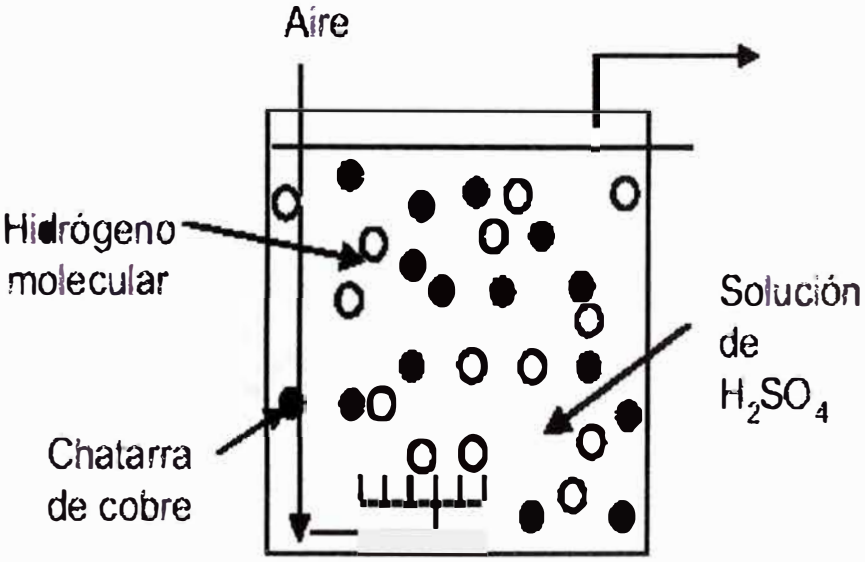


Figura 3.2 Modelo del reactor con tres fases.

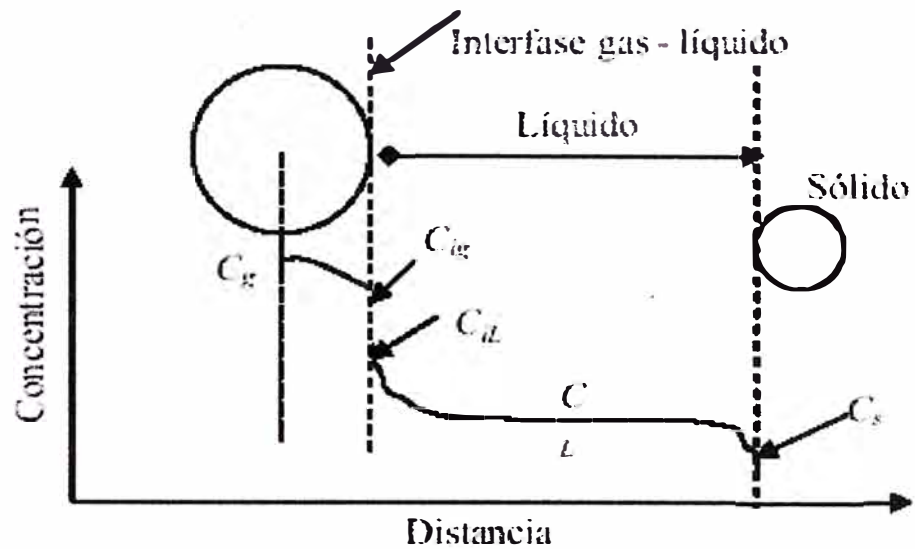


Figura 3.3 Perfiles de concentración de oxígeno en el reactor.

ii. Las cinco etapas por la que pasa el oxígeno del aire son:

- Transferencia desde la burbuja de gas a la interfase burbuja/líquido (1)
- Transferencia desde la interfase burbuja/líquido a la fase líquida (2)
- Mezclado y difusión en el líquido (3)
- Transferencia desde el líquido a la superficie externa del sólido (4) y
- Reacción en la superficie del sólido (5)

Conclusión: asumiendo que la distribución de oxígeno en el líquido es uniforme, debido a la agitación causada por las burbujas de aire, se puede descartar la etapa 3.

El llamado “proceso oxidante” para la obtención de sulfato cobre (II) consiste en tratar con ácido sulfúrico diluido y caliente un recipiente lleno de desperdicios o granallas de cobre. A intervalos cortos se deja escurrir el ácido, y el líquido que sale se vuelve a pasar por el ciclo hasta que el ácido ha sido neutralizado en gran parte. Es probable que en este proceso actúe el ácido sulfúrico en la

solución sobre el metal, formando sulfato cuproso, Cu_2SO_4 , que es oxidado después a Sulfato de Cobre (II) por la reacción con el oxígeno disuelto. Las soluciones de sulfato toleran muy poca sal cuprosa en proporción a la de Sulfato de Cobre (II). No obstante, ésta pequeña cantidad es una fase de transición en la oxidación. como se conoce el Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado, se vende en cristales de diferentes tamaños, según la aplicación a que se destine. Algunas impurezas cristalizan juntamente con el sulfato de cobre (II) pentahidratado. La cantidad de ellas depende en cierto grado de la pureza del cobre metálico usado como materia prima, pero principalmente de la pureza del ácido.

B. Principales características

El producto obtenido suele presentarse comercialmente como: Sulfato de Cobre (II), CuSO_4 , masa molar 159,63 para el compuesto anhidro, en forma del pentahidrato de color azul ultramar (vitriolo azul), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, que cristaliza de sus soluciones en el sistema triclinico (densidad 2,28 g/cc) y tiene una masa molecular de 249,68. El Sulfato Cobre (II) se caracteriza también por que forma también un trihidrato a 110°C (densidad 2,66 g/cc), que se transforma en el monohidrato (densidad 3,20 g/cc) a 150°C . En la forma anhidra es un polvo amorfo de color blanco verdoso o blanco grisáceo, de prismas incoloros o blancos o finas agujas prismáticas; p.f., 200°C ., que se descompone en óxido cúprico a 650°C .; d., 3,60).

En las tablas 3.1 y 3.2 se presentan datos de la solubilidad en función de la temperatura de sulfato de Cobre (II) anhidro y sulfato de Cobre (II) Pentahidratado, respectivamente.

En la figura 3.4 se observan las curvas de solubilidad del Sulfato de Cobre (II) Anhidro y Pentahidratado.

Tabla 3.1 Solubilidad del Sulfato de Cobre (II) Anhidro

Temp. ° C	0	10	20	30	40	60	100
CuSO ₄ g/100 g sol.	12,5	14,8	17,2	20,0	22,5	28,5	43,0

Tabla 3.2 Solubilidad del Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado

Temp. ° C	0	10	20	30	40	50	60	80	100
CuSO ₄ .5H ₂ O g/100 g sol.	14,3	17,4	20,7	20,5	28,5	33,3	40	55	75,4

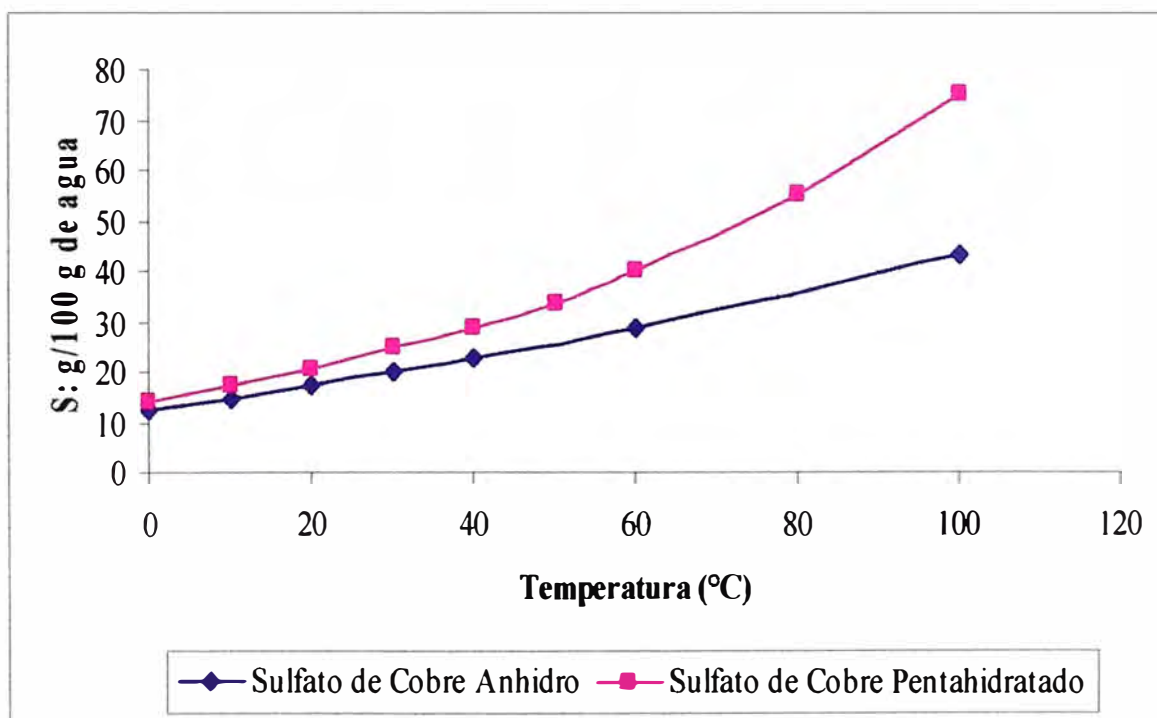


Figura 3.4 Curvas de solubilidad del sulfato de cobre anhidro y pentahidratado.

Fuente: Enciclopedia de tecnología química Kirk Raymond y Técnicas experimentales I, Elmo Pajares.

El Sulfato de Cobre (II) Pentahidrato es soluble en metanol, muy poco soluble en ácido sulfúrico concentrado. Se eflorece en el aire seco, perdiendo dos moléculas de agua.

C. Principales aplicaciones

El sulfato de cobre (II) pentahidratado es uno de los más importantes compuestos químicos de cobre, debido a sus múltiples aplicaciones. Como por ejemplo, algunos compuestos de cobre usados en la industria se obtienen utilizando como materia prima el sulfato de cobre pentahidratado.

A continuación se describen algunas aplicaciones de importancia:

i. Alimentos Balanceados

Los animales que pastan en terrenos deficientes en cobre, o que no reciben una cantidad adecuada de cobre, responden a los suplementos minerales que contienen sulfato de cobre. En forma de fino polvo se utiliza para formar premezclas minerales para fabricar alimentos balanceados para animales, como cerdos, bovinos o vacas, aves, perros, etc para esto es importante contar con una granulometría uniforme, un nivel mínimo de contenido de cobre y alta pureza. En la figura 3.5 se puede observar una forma de presentación de alimento balanceado para animales que contiene sulfato de cobre.



Figura 3.5 Alimento balanceado (Alpo lata cachorro carne & arroz 374 g.)

En la figura 3.6 se muestra el contenido de cobre, en alimentos para aves, dando lugar a productos alternativos como el cobre tribásico que es un aditivo para la nutrición animal, utilizado como promotor de crecimiento o fuente de cobre vitamínico-mineral, aceptados por las nuevas exigencias de los países líderes en producción animal, que contribuyen a mejorar la eficiencia nutricional en la producción avícola, optimizando la relación costo-beneficio (*).

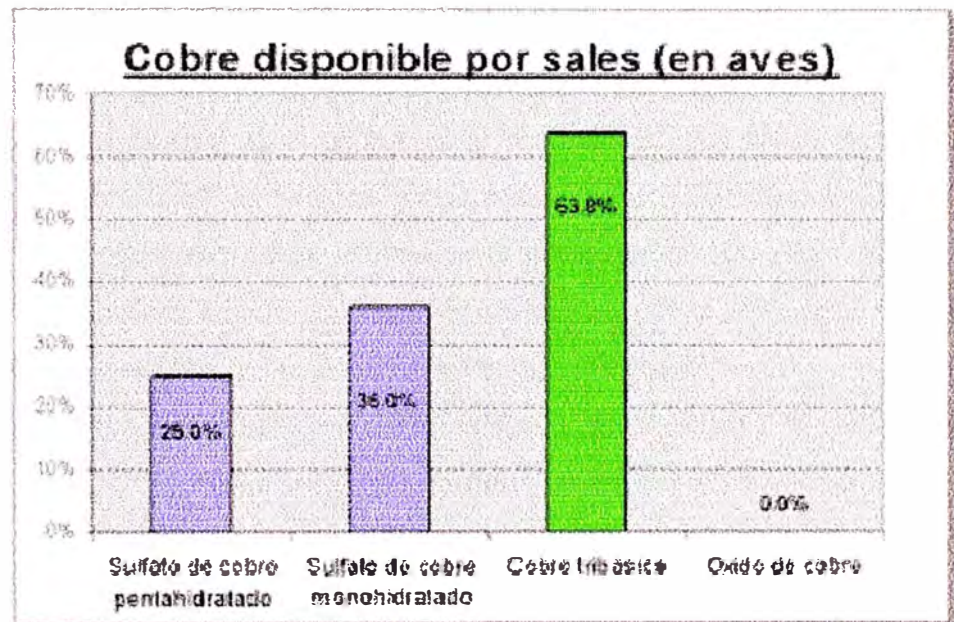


Figura 3.6 Contenido de Cobre en alimento para aves

Fuente: Empresa Argentina Porfenc (*)

ii. Agricultura

Fungicida

Su uso más extenso se encuentra en la agricultura como fungicida, es un ingrediente activo del caldo bordelés (mezcla de cal y sulfato de cobre (II) pentahidratado en agua, que se aplica por aspersion sobre las plantas), el sulfato de cobre (II) cúprico ha sido desde el año 1885 uno de los fungicidas más importantes para combatir

diversas enfermedades de la patata, el manzano, el melocotonero, la vid, el tomate, los árboles cítricos, el peral, el almendro, el apio y otras plantas.

Su uso ha ido en aumento al mismo tiempo que el interés por la protección de las cosechas agrícolas.

El uso más extensivo del cobre se encuentra en la formulación de fungicidas, su empleo comenzó, con el descubrimiento de que las semillas de grano puestas en remojo en sulfato de cobre inhibían el crecimiento de hongos que alteraban las semillas. Poco después al macerar las semillas en soluciones de cobre se convirtió en una práctica común en el campo para controlar el olor de desperdicios podridos del trigo lo que era endémico (enfermedad habitual que se repite constantemente) en cualquier parte que creciera éste. Hoy en día debido a las aplicaciones de sulfato de cobre, esta enfermedad de las semillas ya no significa un problema económico.

Debido a sus propiedades **fungicidas y bactericidas**, el sulfato de cobre fue usado además en campos como desinfectante contra la putrefacción de semillas almacenadas y la prevención de ciertas enfermedades animales, como la putrefacción de pies de ganado y ovejas.

Su alta solubilidad y su efectiva acción fungicida lo hace eficiente en el combate de plagas como: antracnosis, mancha de la hoja, sarna de fruto, mazorca negra, melanosis, etc., para los cultivos de cacao, vid, mango, palta, café entre otros.

De los fungicidas de contacto (cúprico) los más utilizados son el caldo bordales y en tiempos recientes los fungicidas a base de oxiclورو de cobre y de óxido cuproso. Entre los fungicidas de contacto los cúpricos tienen la ventaja de tener una buena tenacidad.

Tienen la desventaja de tender a retrasar el desarrollo vegetativo de la planta por ello se recomienda su utilización después de

empezada la floración. La tendencia moderna para mejorar la efectividad de los fungicidas cúpricos ha estado orientada a reducir el tamaño de sus partículas y cristales, así como permitir que sean absorbidos por el follaje y tornarse sistémicos. Es un **fungicida** valioso para muchos cultivos, entre ellos las uvas y las patatas. En la figura 3,7 se muestra un fungicida de sulfato de cobre, el cual también es usado como bactericida para instalaciones deportivas, ducha y zonas húmedas.



Figura 3.7 Fungicida de sulfato de cobre

Fertilizante

Como elemento nutriente para tierras con deficiencia de minerales, suplir funciones principales del Cobre en la planta, (Figura 3.8) y de azufre, así como en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos (los cultivos sin suelo). Incluso en los suelos que no carecen de cobre, se ha visto que las aplicaciones de sulfato de cobre (II) aumentan el rendimiento o mejoran la calidad de ciertas cosechas. Es un fertilizante de excelente solubilidad que permite su aplicación por vía edáfica, riego por aspersión, riego por goteo, riego por manguera.



Figura 3.8 Sulfato de Cobre (II) como nutriente de plantas

iii. Minería

La minería utiliza este compuesto químico como activador en la flotación de los minerales de cobalto, plomo, plata y cinc. Este reactivo químico imprescindible que sirve como separador de minerales en el proceso de flotación, la cual consiste en mezclar reactivos químicos en la pulpa (mezcla de agua y mena finamente molida) y hacer que el aire burbujee a través de ella. Las partículas del mineral de interés son arrastradas a la superficie por las burbujas de aire, formando una espuma que desborda desde el tanque. De esta espuma se recupera el concentrado mineral. Se usa especialmente en el caso de los minerales sulfurados.

En la figura 3.9 se puede observar una celda de flotación para concentración de minerales sulfurados y en la figura 3.10 la espuma del mineral seleccionado en la flotación.

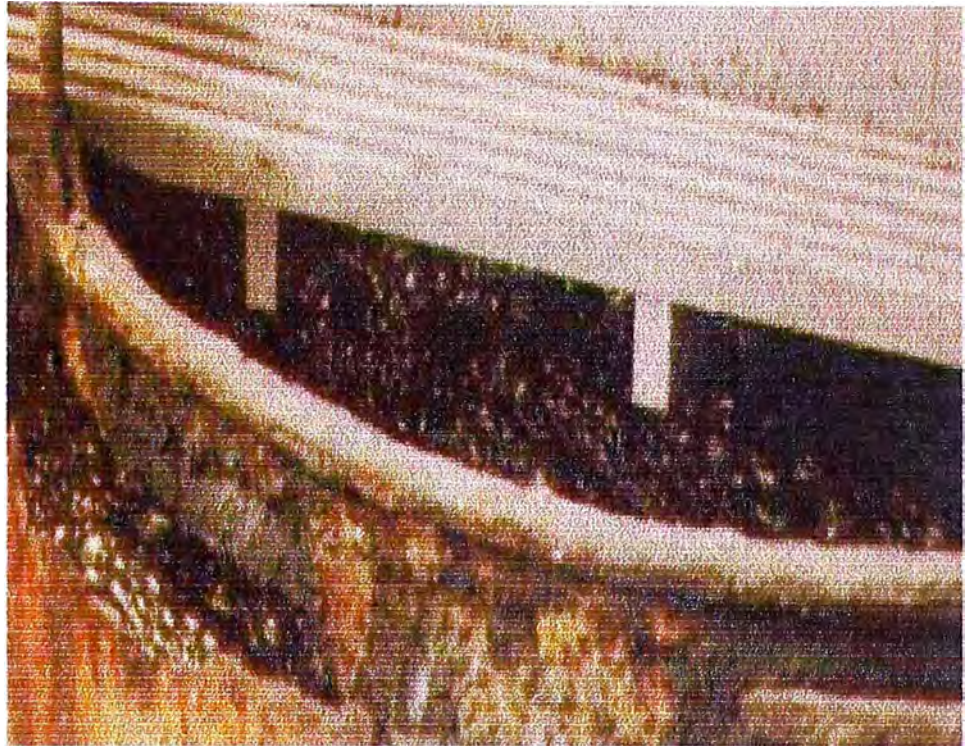


Figura 3.9 Tanque de Flotación con espuma mineralizada de sulfuro



Figura 3.10 Burbujas de Flotación

iv. Galvanoplastía

El Sulfato de Cobre se utiliza para el cobreado del hierro, que sirve como anticorrosivo de metales. En la figura 3.11 se muestra una fotografía de soldaduras de alambre sólido cobreado para aceros al carbón y baja aleación. Y en la figura 3.12 se muestra microalambres sólidos cobreados.



Fig. 3.11 Soldadura de alambre cobreado



Fig. 3.12 Microalambres cobreados

v. Tratamiento de agua

El sulfato de cobre se usa también como algicida. La destrucción de las algas y otros organismos en los depósitos, canales y tuberías de abastecimiento de agua potable, albercas de natación o piscinas, acequias y lagunas se consigue mediante aplicaciones de sulfato de cobre. El crecimiento de las raíces de los árboles en las alcantarillas se ha restringido también eficazmente y las aguas fecales se han acondicionado para su tratamiento posterior. (agua municipal y agua industrial).

En las plantas de tratamiento de agua se utiliza como algicida, así como para eliminar los malos olores y sabores que las algas originan.

Los alguicidas

La presencia de algas en la piscina produce color, turbidez, olor y sabor en el agua (ver figura 3.13). Aunque la presencia de algas en el agua sólo produce a priori problemas de tipo estético, su adhesión a las paredes y accesorios de la piscina genera unas películas deslizantes sobre los mismos con el consiguiente peligro de accidentes. Por otra parte, y lo que es más importante, produce un incremento considerable en la demanda de cloro de la piscina, así como su efecto protector de las colonias de bacterias frente a los efectos del cloro.

Para combatir el crecimiento de las algas existen varios productos, entre los que destaca por su uso más habitual el sulfato de cobre, siendo suficiente para que ejerza su acción una dosis de 0,1-2 mg por litro de ión cobre según los casos.

Durante el período de ausencia de bañistas, se puede utilizar preparando una solución de sulfato de cobre al 10% de producto comercial en polvo, que se introduce directamente a lo largo de las paredes de la piscina.

Aunque en los últimos años se han desarrollado diversos productos alguicidas orgánicos para sustituir al tradicional sulfato de cobre, hay que tener en cuenta que la mayoría de ellos tienen una demanda de cloro muy alta de forma que el uso indiscriminado del mismo puede consumir todo el cloro libre de la piscina. Por otra parte, pueden presentar tendencia a formar espumas en el agua y en el filtro.



Figura 3.13 Eliminación de algas de las piscinas

Biocidas

El límite máximo tolerable de la población microbiana en sistemas se determina en pruebas de laboratorio. Cuando se conocen estos datos en muchos casos el número de bacterias y de otros microorganismos necesita ser reducido. Esto se puede lograr mediante la adición de biocidas; productos químicos que son tóxicos para los microorganismos. Los biocidas son generalmente dosificados a un sistema para reducir eficaz y rápidamente la población de los microorganismos, los cuales no pueden recuperarse fácilmente del descenso de población. Hay varios tipos de biocidas, algunos de los cuales tienen una amplia gama de efectos sobre muchas y diversas clases de bacterias. Pueden ser divididos en agentes oxidantes y agentes no oxidantes como las sales de cobre. **Las sales de cobre** se han utilizado como biocidas durante mucho tiempo, pero su uso se ha limitado en los años

recientes debido a las preocupaciones por la contaminación con un metal pesado. Se aplican en cantidades de 1 a 2 ppm. Cuando el agua a tratar está situada en los tanques de acero las sales de cobre no se deben aplicar, debido a su capacidad de corroer el acero. Las sales de cobre no se deben utilizar en el agua que será aplicada como agua potable cualquiera, porque son tóxicas a los seres humanos. En la figura 3.14 se observa la toma de muestras para analizar el contenido de bacterias en el agua antes de aplicar la dosis de biocida.



Figura 3.14 Toma de muestras antes de aplicar la dosis de biocida

vi. Preservación de la madera

Impide la putrefacción de la madera, la durabilidad media natural del bambú es baja lo que significa que la vida útil de las estructuras hechas con estos materiales es generalmente corta. Una forma para extender su vida útil es a través del procesamiento y métodos de construcción que minimicen el ataque de hongos e insectos. Los métodos convencionales asiáticos tales como lavar con agua, disminuir el contenido de almidón que reduce el ataque de insectos, no superan los tratamientos y técnicas preservantes; los cuales podrían extender la vida útil de las estructuras de bambú considerablemente y aumentar así su valor económico. Al inyectarse enseguida el sulfato de cobre, desaloja instantáneamente todos los jugos putrescibles para ocupar su lugar e impartir dureza, solidez y duración a las piezas sobre las que se opere. Hay que tener presente que con esa preparación se pueden emplear las maderas redondas, sin necesidad de rebajarla como hoy acontece aprovechándose así los de menor diámetro. En las figuras 3.15; 3.16 y 3.17 se muestran las maderas sin preservante y tratados con el preservante, respectivamente.

Método Boucherie

Es un método que sirve para aplicación de preservantes y fue propuesto por Boucherie en 1873, consiste en hacer penetrar por presión hidrostática al sulfato de cobre o cualquier otro preservante por un extremo del bambú; el avance del preservante empuja la savia hacia afuera reemplazando a esta. Este tratamiento se aplica en bambúes recién cortados cuya savia está todavía en movimiento. Para aplicar este método se introduce en el extremo del tallo de bambú, al cual previamente se le han cortado las ramas y hojas, el extremo de un tubo de caucho o en su lugar una sección de un neumático usado. El tubo o neumático se llena con el preservante después de lo cual se cierra su extremo superior. Una vez hecha

esta operación, el bambú se coloca verticalmente de tal forma que el preservante colocado en la parte superior penetre a su interior por presión hidrostática. Es muy importante tener en cuenta que el extremo del bambú donde se coloca el tubo debe cortarse a ras del nudo; por otra parte, para evitar que el preservante salga por las zonas donde estaban las ramas, estas cavidades deben cubrirse con asfalto.



Figura 3.15 Maderas para preservar.



Figura 3.16 Maderas preservadas.



Figura 3.17 Preservante saliendo de la madera

vii. Pigmentos

También se usan en pinturas fluorescentes, las fosforescentes contienen sulfatos de cobre, cinc, o estroncio.

La mayoría de los pigmentos usados en pinturas y tintes deben su color a las propiedades químicas de los metales de transición; al contrario de los elementos alcalinos o alcalinotérreos como el sodio o el magnesio (con un solo estado de oxidación), los metales de transición pueden presentar dos o más estados de oxidación. De esta forma, el color depende del estado de oxidación del ión metálico y del tipo y disposición de las demás moléculas que se unen a él. En la figura 3.18 se muestra el pigmento de sulfato de cobre.

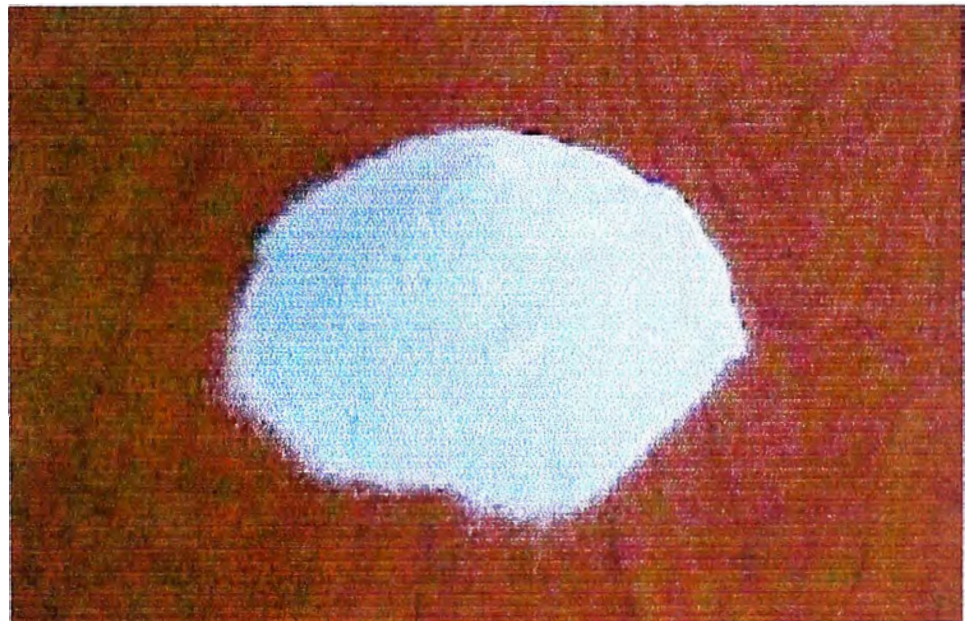


Figura 3.18 Pigmento de sulfato de cobre

viii. Mordientes de origen mineral

Son sustancias químicas naturales o sintéticas que en tintorería sirven como intermedio eficaz para fijar los colores. Antiguamente se usaban productos naturales (agallas de roble, cenizas, etc). Hoy en día, por su acción más energética, se utilizan sales metálicas de

aluminio, cobre, estaño,...la utilización de distintos mordientes con un mismo tinte dará como resultado diferentes tonalidades.

Los colorantes se utilizan para el teñido de fibras naturales y sintéticas como lanas. Dentro del proceso de teñido se requiere la incorporación de sales inorgánicas para fijar el color. Dichas sales son conocidas como mordientes que fijan el color de modo que penetre en la lana de manera uniforme y estable al contacto con la luz y el agua. La presencia o ausencia de las sales inorgánicas modifican la fijación del colorante sobre la fibra. Además experimentamos como la tonalidad del color es dependiente del tipo de mordiente utilizado. En la naturaleza mineral se encuentran estas sustancias y son en la mayoría de los casos, sales, y óxidos metálicos. Los mordientes también son utilizados para variar las tonalidades del color agregándolo como segundo mordiente en la parte final del tinturado como ejemplo, el sulfato de cobre, el sulfato de hierro y otros.

Los mordientes se usan en poca cantidad para no dañar la fibra volviéndola rígida y áspera. (Ver figura 3.19)



Figura 3.19 Mordientes utilizados en el teñido de lanas.

Caparrosa azul (Sulfato de Cobre)

Polvo cristalino de color verde pálido. Se usa al final del teñido. Tiene buena resistencia a la luz y al agua. Se puede sustituir por una olla de cobre, se obtienen tonos verdes. En la figura 3.20 se observa el mineral que contiene la caparrosa azul o sulfato de cobre cristalizado.

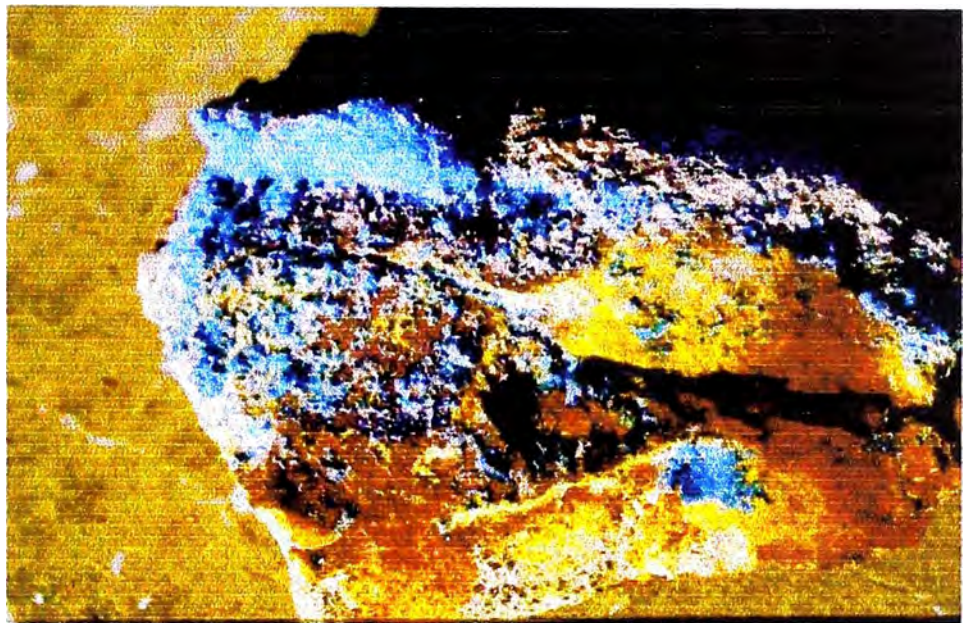


Figura 3.20 Mineral que contiene la Caparrosa azul.

ix. Otras aplicaciones secundarias del sulfato de cobre

En la agricultura son como herbicida y para matar los tallos de las patatas en la época de recolección. Los pesticidas, son sustancias químicas destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de seres vivos considerados plagas. Dentro de esta denominación se incluyen insectos, hierbas, pájaros, mamíferos, peces y microbios que compiten con los humanos para conseguir alimento, destruyen las siembras y propagan enfermedades. Los pesticidas no son necesariamente venenos, pero casi siempre son altamente tóxicos. En la refinación del petróleo, el sulfato de cobre desempeña un papel. El sulfato de cobre se usa para fabricar el

rayón, en la preparación del ferrocianuro de cobre para baños fotográficos.

3.1.2 Características de la materia prima e insumos

Se describe las características de la materia prima e insumos y las actividades operacionales de una planta industrial productora de sulfato de cobre pentahidratado.

Las materias primas son los recursos necesarios para producir el sulfato de cobre pentahidratado, de los cuales depende el costo de producción del sulfato de cobre, por que entran en transacciones económicas y tienen precio. Así mismo los precios del sulfato de cobre se basan en el valor del contenido del cobre (chatarra de cobre), a precios fijados por la demanda del metal en el mercado, más una pequeña cantidad adicional por la conversión en sulfato de cobre. En consecuencia, el precio de producción del sulfato de cobre suele tener las mismas fluctuaciones que el precio del cobre metálico.

Por lo tanto, para producir sulfato de cobre pentahidratado se requiere de los siguientes insumos:

- A. Cobre metálico (Chatarra de cobre)
- B. Ácido sulfúrico concentrado, entre 95 – 98 %
- C. Agua (alcantarilla)
- D. Oxígeno (tomado del aire).

A continuación se describirán sus principales características:

A. Cobre metálico reciclado

El cobre es un metal de transición y también metal no ferroso importante. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia, el cobre fue uno de los

primeros metales usados por los seres humanos. Es un metal comparativamente pesado, un poco paramagnético.

Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductibilidad.

Procedencia de la Chatarra de Cobre

Principalmente provienen de obras de construcción. Envases metálicos, talleres automotrices, ornamentación, etc.

Una fuente importante del cobre reciclado se encuentra en los radiadores de auto, en la producción de alambres desnudos, esmaltados, cables, en tubos de plomería e intercambiadores de calor.

El componente más reutilizable y el de más uso de estos residuos es el cobre. Lo primero que se arranca son los cables de los aparatos y los circuitos impresos, en los que hay un alto contenido de cobre.

Presentación: piezas, alambre, cable, partes de motor, etc.

Normalmente, el reciclado de cobre se realiza a partir de cables eléctricos y telefónicos (resultado de la sustitución de líneas telefónicas convencionales).

Descripción del problema-niveles de pureza:

En las empresas recicladoras de cables, tras diversos procesos sobre estos (eliminación de carcasa, triturado, cribado, y separación por densidad), se obtiene una mixtura de metales granulados compuesta predominantemente por cobre (>99%) y el resto formado por **impurezas** conteniendo plomo, estaño, aluminio, etc. La granulometría del conjunto es variada, aunque habitualmente presentan formas cilíndricas de dimensiones 8 - 15 mm largo, 1-3 mm ancho y 1 mm de alto. La figura 3.21 muestra de cobre granulado contaminado. No alcanza a tener una pureza superior al 99,9% adecuada para usos eléctricos. Es laborioso alcanzar estos

niveles de pureza por métodos mecánicos (gravimétricos, cribados, etc.) o físicos (campos eléctricos, etc.) y procedimientos como el fundido son altamente contaminantes. Sin embargo, los contaminantes son fácilmente identificables por su color a simple vista. Entre los contaminantes se pueden considerar a la tierra, piedras, cemento, caucho, plástico y otros metales.



Figura 3.21 Cobre granulado contaminado

En cualquier caso, una vez identificadas las partículas contaminantes, existe el problema, no trivial, de separarlas. La dificultad consiste, entre otras causas, en su pequeño tamaño.

Tipos de Chatarra

La planta productora de sulfato de cobre utiliza 2 tipos de chatarra.

Chatarra de cobre desnudo

- Cobre limpio.
- Cobre con impurezas.
- Escoria de colada continua (evaluación).

- Cobre estañado (evaluación).
- Barro de cobre de pozas de lubricante (evaluación).

Chatarra de cobre con plástico:

Dependiendo del calibre se procede a pelar o quemar en terrenos alejados, no en planta.

- Cobre con recubrimiento plástico (PVC, PE).
- Scrap de cables telefónicos.
- Alambre esmaltado.

Cobre limpio

En el presente informe sólo se describirá la chatarra de cobre desnudo, debido a que es el más apropiado al contener la menor cantidad de impurezas lo cual acelera la producción de sulfato de cobre (II) pentahidratado. El cobre limpio utilizado son láminas, alambres y granollas.

Constituirá chatarra en rollos e hilos verdosos de cobre no aleado, sin revestimiento, desnudo, no menor a 2 ó 3 mm de diámetro o láminas de hasta 2 mm de espesor.

También se utiliza ocasionalmente chatarra consistente de una mezcla de hilos y tubos de cobre no aleados que tenga un contenido nominal de cobre del 96% (mínimo 94%), determinado por análisis electrolítico.

Debe estar libre de tubo de cobre excesivamente estañado, emplomado, estaño soldado.

En las figuras 3.22; 3.23; 3.24 y 3.25 se pueden observar las diferentes presentaciones de cobre limpio, en láminas, rollos, hilos y tubos, respectivamente.



Figura 3.22 Láminas de cobre



Figura 3.23 Rollos de cobre



Figura 3.24 Hilos y rollos verdes de cobre.



Figura 3.25 Hilos y tubos verdes de cobre mezclado

Reciclado de cobre

El cobre es uno de los metales que ha sido utilizado y se utiliza con frecuencia a través del tiempo. Ha jugado un papel importante en el desarrollo de la civilización, debido a su gran ductilidad, maleabilidad, conductividad térmica y eléctrica y resistencia a la corrosión. El cobre es un material 100% reciclable. Virtualmente todos los productos hechos de cobre pueden ser reciclados. Si se encuentra en un estado crudo o contenido en un producto acabado, el cobre es reciclable en todas las etapas del ciclo vital de un producto. Los consumidores de Cobre reciclable son los mismos que consumen el Cobre Primario en la mayoría de los casos.

El cobre secundario no recibe un tratamiento tecnológico distinto al primario. Sólo se clasifica en calidades para su aleación posterior y mezclas con cobre primario. Por último, la situación no se circunscribe sólo a una cuestión de estrategia comercial, es decir, de cómo enfrentar lo que parece ser un proceso de competencia entre nuestro cobre extraído directamente de los yacimientos con un cobre reprocesado que se unen a un mismo cuerpo de oferta global. La chatarra nueva es reciclada rápidamente, ya que representa una fuente inmediata de ingreso para las plantas que la procesan.

En general, el cobre y sus aleaciones se reconocen fácilmente y por lo tanto es poco probable que sean desperdiciados cuando están disponibles para ser reciclados. Se utiliza muy poco cobre en polvo o sulfato, formas en que se dispersa y puede ser recuperado por medios electrolíticos (evaluar costos).

La actividad del reciclado hace dos décadas era "marginal" y prácticamente sin mayor reconocimiento dentro del escenario industrial. Con el crecimiento poblacional e industrial, los lugares aptos para enterrar desechos sanitarios e industriales van a escasear, de ahí, que entre otros motivos, hay la necesidad de practicar el

reciclado. La reciclabilidad de un residuo debe evaluarse de acuerdo a su valor agregado, tecnología del proceso, técnica de recolección y volumen a ser recuperado, economicidad del proceso de reciclado y aplicabilidad de la materia prima obtenida.

¿Por qué se debe reciclar el cobre?

- Reciclando metales se economizan altos costos de energía que se utiliza para extraer metales, protegemos nuestra salud, protegemos el medio ambiente y se preservan recursos no renovables.
- Porque es un proceso de impacto social que beneficia y reivindica a las familias que desarrollan éstas actividades. Es una alternativa de desarrollo económico que genera empleo e ingresos a los grupos o personas dedicadas a esta labor.
- Porque se evita la contaminación de los suelos y de las aguas, a la vez que se contribuye al aumento de la vida útil del relleno sanitario.
- Se trata de un metal noble que no necesita más que volverse a fundir para estar en el mercado como si fuera recién salido de una de las grandes minas de Chile, el mayor productor mundial de cobre.
- Se calcula que la mayor parte del cobre que ha producido el hombre a lo largo de su Historia sigue estando en uso en aplicaciones sucesivas.

B. Ácido sulfúrico

Desde épocas remotas, el ácido sulfúrico ha constituido un importante componente de reactivos químicos como en la producción de diferentes productos químicos, explosivos, superfosfatos, etc. Los antiguos alquimistas lo preparaban en grandes cantidades calentando sulfatos existentes en la naturaleza a altas temperaturas y disolviendo en agua el trióxido de azufre.

Fórmula: H_2SO_4 .

Nombres químicos: son ácido sulfúrico y ácido sulfúrico fumante. También se conoce comercialmente como aceite de vitriolo, ácido de baterías y ácido de fertilizantes.

La tabla 3.3 muestra varios grados que son comercializados para satisfacer los requerimientos de las industrias.

Tabla 3.3 Densidad y Graduación Baumé de las soluciones de

°Bé	Densidad Específica a 15,6 °C	% H_2SO_4
50	1,5263	62,18
56	1,6292	71,17
60	1,7059	77,67
63	1,7683	83,34
66	1,8354	93,19

Fuente: Enciclopedia de Tecnología Química, Kirk Raymond.

Características del ácido sulfúrico:

- El ácido sulfúrico al 100 por ciento es un líquido incoloro, inodoro, denso y viscoso. Esto se refiere al monohidrato, el cual puede ser considerado con una composición equimolecular de agua y trióxido de azufre.
- Es muy fuerte y corrosivo para la vida de los materiales estructurales. Además de atacar muchos metales, el ácido sulfúrico concentrado es fuerte agente oxidante y puede dar lugar a la ignición (inicio de explosión) al entrar en contacto con materia orgánica y compuestos tales como nitratos, carburos, cloratos, etc., con los cuales es incompatible y no se deben almacenar juntos.
- La dilución en agua desprende calor de forma exotérmica; tiene mayor desprendimiento de calor cuando la proporción es de dos moléculas gramo de agua por molécula gramo de ácido

sulfúrico, alcanzando una temperatura de 158°C. Presenta una gran afinidad por el agua, debido a lo cual, produce deshidratación de los compuestos orgánicos a veces tan fuerte que llega a carbonizarlos, es un importante agente desecante. Actúa tan vigorosamente en este aspecto que extrae el agua, y por lo tanto carboniza, la madera, el algodón, el azúcar y el papel. Debido a estas propiedades desecantes, se usa para fabricar éter, nitroglicerina y tintes.

- Es soluble en todas las proporciones en agua, al mezclar ácido sulfúrico con agua se libera una considerable cantidad de calor. A menos que la mezcla se agite bien, el agua añadida puede calentarse más allá de su punto de ebullición y la formación repentina de calor puede hacer saltar el ácido fuera del recipiente. Una libra de ácido sulfúrico al 100 por ciento diluido a 90 por ciento libera 80 Btu y diluido a 20 por ciento libera 300 Btu.
- El ácido sulfúrico puede contener ciertas cantidades de anhídrido sulfúrico libre y en estas condiciones se conoce como óleum, el cual presenta un aspecto nebuloso; sus vapores son irritantes, de olor penetrante y tóxico.
- El ácido sulfúrico es capaz de disolver grandes cantidades de trióxido de azufre, produciendo varios grados de oleum. Cuando estas soluciones (ácido sulfúrico-óxido sulfúrico) son mezclados con agua, el oxido se combina con agua, formando mas ácido sulfúrico.
- El ácido sulfúrico es un ácido fuerte, es decir, en disolución acuosa, se disocia fácilmente en iones hidrógeno (H^+) e iones sulfato (SO_4^{2-}). Cada molécula libera al disociarse dos iones (H^+), por lo que el ácido sulfúrico es diprótico. Sus disoluciones diluidas muestran todas las características de los ácidos: tienen sabor amargo, conducen la electricidad,

- neutralizan los álcalis y corroen los metales activos desprendiéndose gas hidrógeno. A partir del ácido sulfúrico se pueden preparar sales que contienen el grupo sulfato SO_4^{2-} , y sales ácidas que contienen el grupo hidrogeno sulfato, HSO_4
- Cuando se calienta, el ácido sulfúrico concentrado se comporta como un agente oxidante capaz, por ejemplo, de disolver metales tan poco reactivos como el cobre, el mercurio y el plomo, produciendo el sulfato del metal, dióxido de azufre y agua.
 - Es un líquido altamente corrosivo, corroe los metales, con excepción del oro, iridio y rodio, dando lugar al desprendimiento de hidrógeno.
 - Posee punto de ebullición alto y se puede emplear para producir ácidos volátiles como el Cloruro de Hidrógeno HCl y el Cianuro de Hidrógeno HCN .

Principales aplicaciones del ácido sulfúrico

El Ácido Sulfúrico es un producto industrial fundamental. Sus aplicaciones son numerosísimas y su consumo es extraordinario, por su facilidad de reacción con otras materias. Este Ácido es un producto que directa o indirectamente está presente en toda industria, y su consumo es el termómetro de la industria de un país, se menciona algunas de sus principales aplicaciones:

- Producción de fertilizantes.
- Detergentes: en la sulfonación de dodecil-benceno, que es la materia prima básica para la mayoría de los detergentes utilizados en el hogar y la industria. También para esto se utiliza óleum al 22%.
- Fábricas de Papel: se utiliza en el proceso de producción de la pulpa de papel.
- Producción de sulfato de cobre.
- Refinación de Petróleo: en el proceso de hidrodesulfuración.

- Producción de sulfato de aluminio: se utiliza en reacción con hidróxido de aluminio. El sulfato de aluminio producido se utiliza principalmente en potabilización de aguas, producción de papel y sales de aluminio.
- Producción de sulfato de cromo: se utiliza en reacción con dicromato de potasio y un agente reductor. El sulfato de cromo se utiliza principalmente para el curtido de cueros (curtido al cromo).
- Fabricación de productos orgánicos, pinturas, pigmentos y rayón.
- Fabricación de explosivos por su gran capacidad de reacción.

C. Agua (alcantarilla)

El agua es el líquido que más sustancias disuelve, por eso decimos que es el disolvente universal; debido a la propiedad de disolver en mayor o menor grado, cualquier sustancia inorgánica y muchas sustancias orgánicas.

Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno. Las moléculas del disolvente universal son polares; es decir, tienen una “parte” más positiva y otra “parte” más negativa. Con lo cual, al introducir un compuesto químico en el agua, la zona más positiva de esta molécula tiende a ir hacia el anión y la negativa hacia el catión. Más tarde, el agua rodea a los iones y a los cationes y si puede los arranca. A este proceso se le llama hidratación si el disolvente es agua, y solvatación si el disolvente es otro compuesto.

El agua es el disolvente universal ya que es polar, porque hace que la constante “k” de la ley de Coulomb sea muy pequeña ($F = kq_1q_2/r^2$), y porque el Oxígeno es uno de los elementos más electronegativos y el Hidrógeno uno de los menos electronegativos, entonces la ionización sucede por que las fuerzas

coulómbicas entre las cargas opuestas son débiles y por tanto, se rompen fácilmente, estas fuerzas son proporcionales a $q^+q^-/\epsilon r^2$, en donde ϵ es la constante dieléctrica, q^+ y q^- son la carga catiónica y aniónica respectivamente; por lo cual el agua tiene una constante dieléctrica muy elevada ($\epsilon = 78.5$ a 25°C), por ejemplo en el caso de las disoluciones iónicas los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua, quedando "atrapados" y recubiertos de moléculas de agua en forma de iones hidratados.

La capacidad disolvente es la responsable de que sea el medio donde ocurren las reacciones. El agua utilizada en el proceso es de alcantarilla y no requiere ser tratada, pero pasa por un filtro industrial. Este líquido es alimentado al caldero, el cual suministra el vapor de agua al proceso. La empresa cuenta con la autorización sanitaria respectiva para el uso de éste servicio.

Una alcantarilla es un acueducto subterráneo, o sumidero, fabricado para recoger las aguas llovedizas o inmundas y darles paso (casi todas las aguas despedidas por la industria y de uso doméstico).

D. Oxígeno (tomado del aire)

El oxígeno libre se encuentra en el aire en la proporción aproximada de un quinto (21 % en volumen), forma compuestos que en su mayor parte son óxidos.

El Oxígeno es parte de la reacción para la formación del sulfato de cobre (oxidante) y es tomado del aire (oxidación con aire) del entorno y suministrado por una compresora. A través de un conducto o tubo perforado para producir las burbujas de aire dentro del reactor, un rotámetro y una válvula con los cuales se mide y controla el caudal de aire. El aire que es absorbido para ser comprimido es necesario filtrarlo previamente, de manera que se le quita todo tipo de impurezas que podrían dañar el compresor o el motor. Se usan filtros de tipo carbónico para eliminar suciedad,

humedad, polvo y las numerosas partículas abrasivas que contiene el aire de nuestras ciudades densamente contaminadas. Expulsa el oxígeno mediante un difusor de burbujas.

3.1.3 Características técnicas y operativas del proceso de obtención del sulfato de cobre (II) pentahidratado de una planta industrial productora de sulfato de cobre.

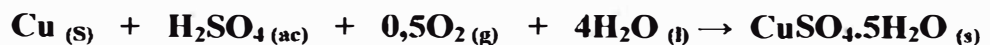
A. Tipo de Proceso y Volumen de Producción

El proceso es de tipo batch o por lotes, el cual produce 8 000 litros de solución saturada de sulfato de cobre durante 14 ó más horas, de un batch se obtiene aproximadamente 3 500 kg de cristales de sulfato de cobre.

Bajo estas condiciones se está produciendo 46 batch/mes esto es aproximadamente 161 toneladas/mes de cristales de sulfato de cobre.

B. Reacción Química Estequiométrica

La ecuación química balanceada de la Reacción Química se muestra a continuación



Teórico (kg)	254	392	64	288	1000
-------------------------	-----	------------	----	-----	------

* Ver recomendaciones.

El ácido sulfúrico que se utiliza tiene una concentración que varía entre 95 – 98 %. Para producir 8 000 L de solución (11 048 kg de solución, densidad_{sol} = 1,381 g/cc) de solución

de sulfato de cobre pentahidratado se requiere aproximadamente la siguiente carga al reactor:

- 2 806 kg de cobre metal.
- 4 353 kg de ácido sulfúrico concentrado al 95%.
- 707 kg de oxígeno (tomado del aire).
- 3 182 kg de agua (de alcantarilla, no requiere ser tratada).

C. Variables operativas

- i. Temperatura: 75° - 85 °C.
- ii. Presión: 1 atmósfera.
- iii. Grados Baumé inicial: 25 °Bé.
- iv. Grados Baumé final: 38 – 40 °Bé.
- v. pH inicial: 0,5.
- vi. pH final: 2,0.

D. Descripción del proceso

El proceso de producción industrial de Sulfato de Cobre Pentahidratado comienza con la preparación de la chatarra o cobre reciclado, siendo completada por la función que realiza cada equipo como el reactor, dosificador, tanque de recirculación, cristizador, centrifugado, tamizado y por último el pesado- envasado (ver figura 3.31).

i. Preparación de la chatarra de cobre desnudo

Generalmente se utilizan el cobre limpio y el cobre con impurezas (viene ya quemado, si es necesario se vuelve a quemar para eliminar impurezas y suciedad en terrenos alejados, no en planta), en este caso se ha utilizado el cobre limpio.

Cobre limpio: Si el tamaño de la chatarra es apropiado se usa como está. Por consecuencia, se usa por ejemplo alambre de cobre de 2 ó 3 mm de diámetro, o láminas de cobre hasta 2 mm de

espesor. Las láminas pueden ser dobladas en dos antes de alimentarse al reactor. Espesores mayores de cobre también se pueden usar, pero hay que tener en cuenta que mientras mayor sea el espesor, el tiempo de reacción también será mayor. La idea central es que a mayor área superficial, mayor reacción. Bajo esta premisa, los bloques o tamaños mayores se funden para obtener ampollas o granallas de cobre. En el proceso de fundición el cobre es convertido a granallas (semejante a esferas huecas) que tienen una alta área superficial, ideal para la reacción. La temperatura de fusión es de 1 080 ° C aproximadamente.

En la actualidad, en la planta de sulfatos, no se funde cobre.

ii. Reactor

Se carga al reactor la materia prima, como el oxígeno es parte de la reacción para la formación del sulfato de cobre, éste es tomado del aire suministrado por una **compresora**.

También ingresa vapor de agua por la parte inferior del reactor (en sentido ascendente).

De esta manera hay un mejor contacto del vapor con la solución y se reduce la pérdida de vapor al ambiente. Este vapor es suministrado por un caldero. La temperatura promedio en el reactor es de 80 °C.

El reactor es de acero inoxidable 316 (ver Figura 3.31).

iii. Dosificador

El Dosificador es un tanque que está conectado al Tanque de Recirculación. El ácido sulfúrico ingresa al Dosificador y acidifica la solución de sulfato.

La dosificación de ácido sulfúrico es mayor al inicio del proceso, disminuyendo conforme avanza la concentración.

Por ejemplo se puede ir adicionando ácido a un flujo de 5 L/h durante un par de horas; luego, se disminuirá este flujo según lo requiera el proceso (°Bé y pH de la solución). El tanque Dosificador es de acero inoxidable 316.

iv. Tanque de recirculación

La solución que se forma en los tanques va al Tanque de recirculación-dosificador-reactor y sigue éste proceso durante aproximadamente 18 horas, siendo este tiempo necesario para que la disolución sea óptima y con lo cual obtenemos 1 batch de 8 000 L (11 048 kg); obteniéndose 3 500 kg de cristales.

La obtención de un batch (cuando la solución de sulfato de cobre ha llegado a las condiciones deseadas), puede durar 14 ó más horas. Esto depende de varias condiciones: temperatura, pH y tipo de cobre alimentado.

El Tanque de Recirculación es de acero inoxidable 316 y tiene un serpentín por donde circula el vapor suministrado por un caldero de 30 BHP.

La solución tiene temperatura promedio de 80 °C.

NOTA: El tiempo desde la descarga de 1 batch hasta la cosecha de cristales toma 6 días.

v. Cristalizador

Antes se hará un breve comentario sobre el proceso de cristalización, en el cual un soluto disuelto se separa de la disolución y forma cristales ya que se produce la unión de átomos en forma de una red cristalina, formada por el cobre, moléculas de agua y los iones sulfato.

La cristalización utilizada por la empresa es un proceso de solidificación, el cual es el paso de un líquido sobresaturado a sólido por enfriamiento.

Habitualmente, para que comience a formar el cristal, es necesario lo que se llama un germen o semilla de cristalización. Sobre estas semillas se comienzan a depositar los iones y comienza el crecimiento de los cristales.

Estas semillas o gérmenes pueden formarse a partir de: impurezas o imperfecciones de la superficie del recipiente contenedor (cristalizador).

La formación de cristales consta de dos fases:

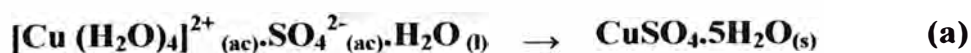
Primero: el cristal se tiene que formar, ésta formación de una nueva fase sólida en una disolución sobre un inerte se llama NUCLEACIÓN.

Segundo: el aumento de tamaño del núcleo formado por la adición capa a capa del soluto se llama CRECIMIENTO.

El $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ se considera un compuesto que generalmente cristaliza en proporciones fijas, es decir, cristaliza con 5 moléculas de agua por cada molécula de sulfato de cobre.

Por otra parte, un estudio detallado de la estructura cristalizada (con rayos X y técnicas espectroscópicas) lleva a la conclusión de que los nudos de la red cristalina los componen tanto las moléculas de agua como las de sulfato y que, además, existe interacción molecular fuerte entre los oxígenos del sulfato y las moléculas de agua de forma que el producto es un compuesto de coordinación. (Por otra parte si no existiese esta interacción no cambiaría de color).

La ecuación (a) con la cual se forma el cristal del sulfato de cobre (II) pentahidratado se explica a continuación:



La estructura espacial de la sustancia se muestra en la figura 3.26; donde se observa que 4 moléculas de agua están ligadas directamente al ión Cu^{2+} y una está formando la red.

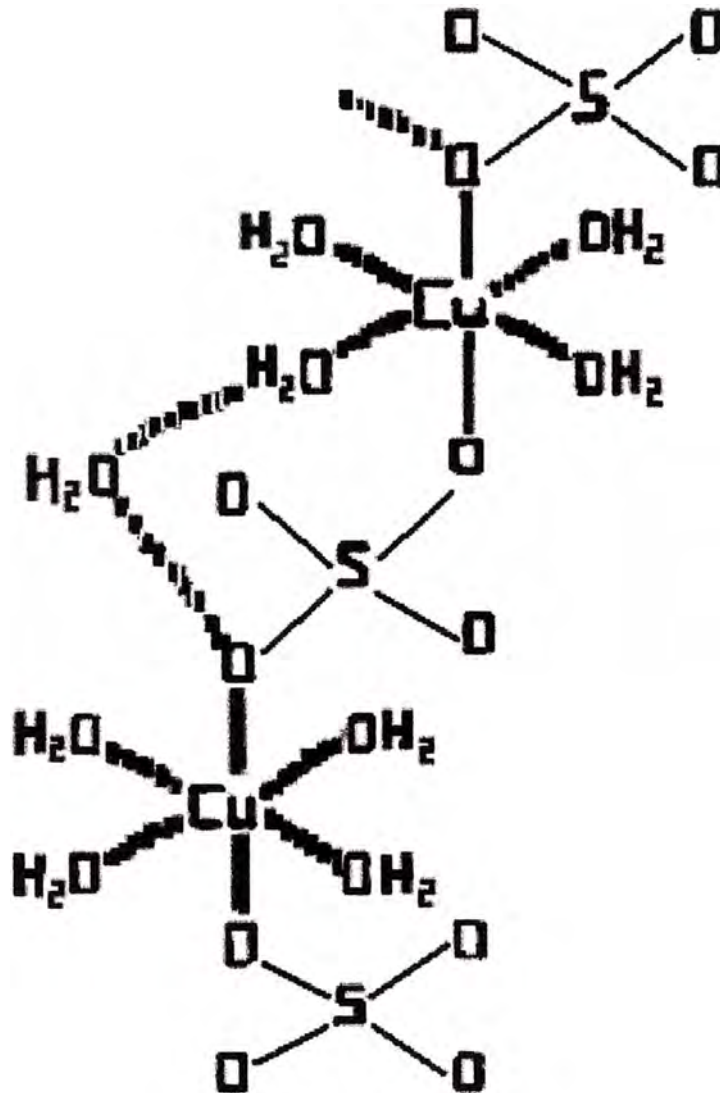


Figura 3.26 Estructura del Sulfato de Cobre Pentahidratado (*)

En el cristalizador se vierte la disolución de sulfato de cobre pentahidratado, en las imperfecciones del cristalizador se forman las semillas de los cristales los cuales van creciendo por la adición de iones, debido a las corrientes de concentración del soluto. El sulfato de cobre pentahidratado es un sólido azul que cristaliza en el sistema TRICLÍNICO (ver Figura 3.30). Luego se realiza la cosecha de cristales, la cual es una operación manual que toma aproximadamente 5 horas por cristalizador, por lo que para 2 batch diarios se emplea 10 horas/día.

Para la cosecha se tiene que sacar el sulfato adherido a las paredes del cristalizador y chancarlo. El sulfato chancado se va arrumando a un costado del recipiente para que escurra, para luego pasar al proceso de centrifugado. El número de cristalizadores depende de la cantidad de batches preparados por día y el tiempo de cristalización (puesto que los cristalizadores estarán ocupados mientras dure la cristalización). En la empresa se usan 15 cristalizadores y todos son de acero inoxidable 316, y tienen 3 m de diámetro x 1,20 m de altura.

vi. Centrifugado

Los cristales de sulfato de cobre han pasado por una tolva para llegar a la centrifugadora, aquí se retira la humedad separando el agua madre restante de los cristales, y reciclada a unos tachos especiales, cerrados herméticamente, para darles el tratamiento adecuado. La Centrífuga es de acero inoxidable, cuya canastilla interna pueda procesar al menos 150 kg de sulfato. Cada acto de centrifugado toma 15 minutos, para una carga aproximada de 170 kg. Esto es 680 kg/h y para 3 500 kg de cristales demora 309 minutos (aproximadamente 5 horas).

vii. Tamizado

Esto se hace con la finalidad de poder determinar la granulometría o tamaño del cristal. Se realiza al 100% bajo Malla N° 20 (0,85 mm) y según Norma ASTM E11. La velocidad de tamizado es mayor a 680 kg/h. Para el tamizado se usa la serie standard del tamiz (US Standard Sieve), se utiliza distintos tipos de aberturas de mallas. Esto dependerá del tipo de tamaño de grano que se quiera separar. Por ejemplo:

- Cristales grandes: se retienen en malla de ¼” (6,30 mm).
- Cristales medianos: pasan la malla de ¼” (6,30 mm).
- Cristales pequeños: pasan la malla de 1/8” (3,175 mm).
- Cristales tipo nieve: pasan la malla N°14 (1,4 mm).

viii. Pesado-embolsado

Cómo la producción es de 3 500 kg de cristales por batch y cada bolsa pesa 25 kg. Entonces como la planta funciona 6 días a la semana, las 24 horas (3 turnos) se produce aproximadamente 6 700 kg de cristales por día, y su velocidad de envasado es a razón de 2 bolsas por minuto. Por lo tanto el número de bolsas por día:

$$N^{\circ} = \frac{6\ 700}{25} = 268 \text{ bolsas / día.}$$

Entonces se necesita aproximadamente 9 horas para llenar 268 bolsas.

La balanza de sobrepeso es electrónica y tiene una capacidad de 60 kg (esta balanza puede ser usada para el envasado de sulfato en sacos de 25 Kg. o en sacos de 50 kg). Es conveniente que tenga indicador para dos decimales. Los sacos utilizados en el envasado son de polipropileno (ver figura 3.28 y 3.29).



Figura 3.27 Disolución de Sulfato de Cobre



Figura 3.28 Sacos de Polipropileno de 25 kg



Figura 3.29 Sacos de Polipropileno de 200 kg.



Figura 3.30 Cristales de Sulfato de Cobre Pentahidratado

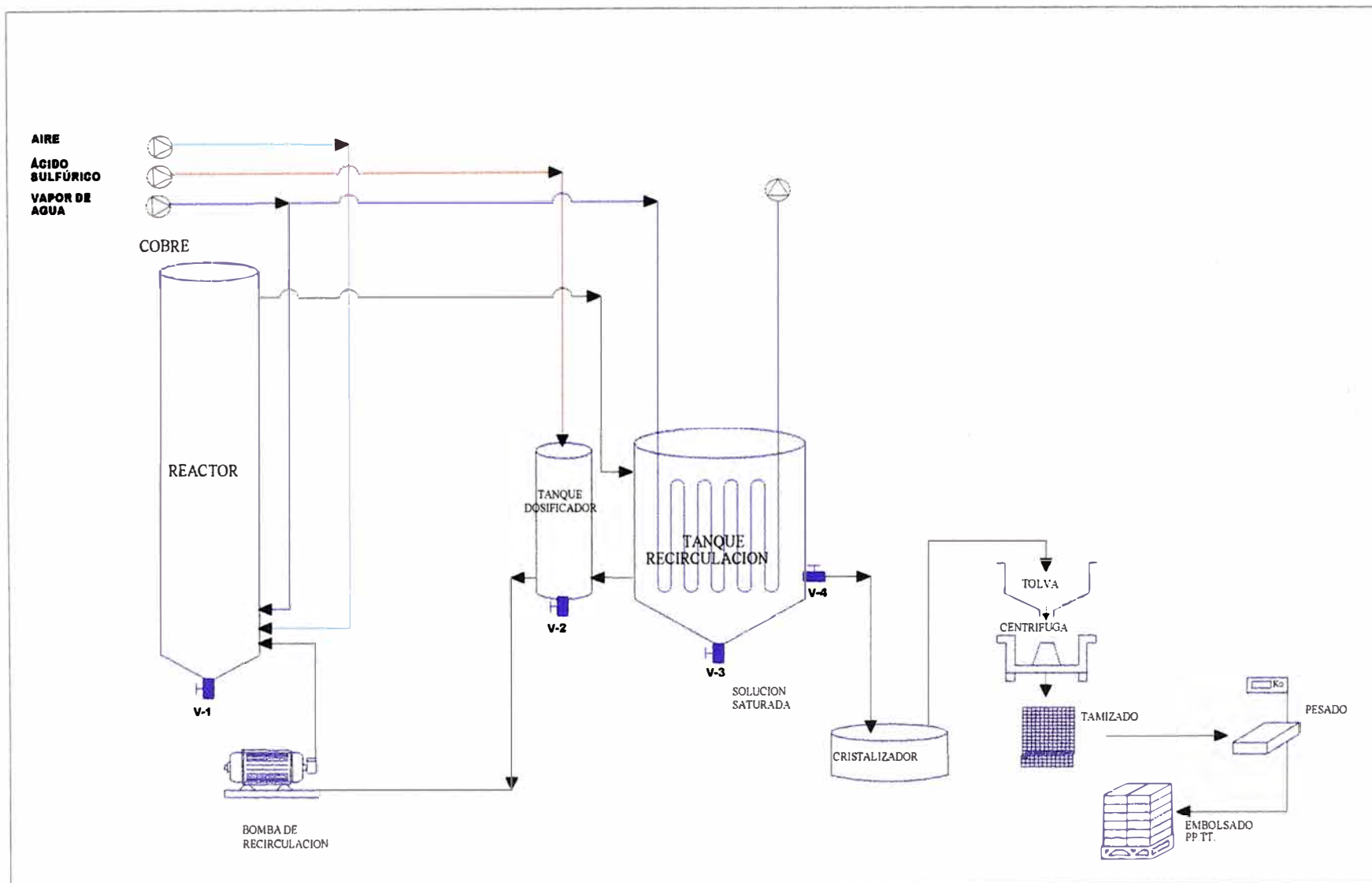


FIGURA 3.31 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO

3.2 Riesgos y medidas de seguridad en el manipuleo del ácido sulfúrico y el producto

3.2.1 Riesgos y medidas de seguridad en el manipuleo del ácido sulfúrico

El personal que maneja ácido sulfúrico debe estar perfectamente informado sobre los riesgos que implica su manejo inadecuado con el objetivo de tomar precauciones necesarias, como evitar derrames, fugas, inhalación de vapores, daños al equipo o a las instalaciones. Además, debe estar bien instruido acerca de los procedimientos para casos de emergencia y sobre la forma de proporcionar primeros auxilios en caso de contacto con el ácido o sus vapores.

A. Riesgos de fuego y explosión

Riesgos específicos

Altamente corrosivo, sin embargo el fuego puede resultar del calor generado por el contacto del ácido sulfúrico concentrado con materiales combustibles. El ácido sulfúrico reacciona con la mayoría de los metales, especialmente cuando se diluye con agua, para producir gas hidrógeno altamente inflamable, que puede explotar si hay ignición. Reacciona violentamente con agua y materiales orgánicos con evolución de calor. Durante un fuego pueden ser generados los óxidos de azufre tóxicos/irritantes. Los contenedores pueden explotar con el calor de un fuego.

Métodos específicos para combatir el fuego son evacuar el área y combatir el fuego desde una distancia segura o una posición protegida. Aproxímese al fuego a favor del viento. Si es posible, los materiales aislados no son envueltos por el fuego y protege el personal.

Evacuar los contenedores del área de fuego si esto puede hacerse

sin riesgo. Por otro lado, use agua en cantidades considerables como un spray o niebla para mantener los contenedores expuestos fríos y absorber calor. Aplicar agua, como un extintor o como un enfriador, desde tan lejos como sea posible. Tenga cuidado que el agua no entre en contacto con el ácido. El ácido sulfúrico y los productos de descomposición son muy riesgosos para la salud. No entre sin vestir equipo especializado de protección adaptado para la situación. La ropa normal de protección de los bomberos no provee adecuada protección. Un traje de cuerpo completo encapsulado resistente a los químicos de presión positiva con aparato de respiración auto-contenido puede ser necesario. El equipo especial para el combate de fuego es el equipo de protección respiratoria (SCAB), botas de seguridad, ropa de seguridad para químicos corrosivos.

B. Riesgos para la salud

El ácido sulfúrico es un líquido corrosivo. Debido a sus propiedades corrosivas, oxidantes y de sulfonación, las soluciones de ácido sulfúrico, particularmente las más concentradas, destruyen rápidamente los tejidos del cuerpo, produciendo severas quemaduras. La constante exposición a bajas concentraciones puede producir dermatitis. En contacto con los ojos es particularmente peligroso; causa daños serios y, en algunos casos, la pérdida de la vista. La inhalación del vapor concentrado del ácido sulfúrico caliente o de óleum puede ser muy peligrosa. La inhalación de pequeñas concentraciones de vapor por un periodo de tiempo prolongado puede ocasionar inflamación crónica del tracto respiratorio superior.

La sensibilidad al vapor es variable: de *0,125 a 0,50 ppm* puede ser medianamente molesto; de *1,5 a 2,5 ppm*, definitivamente desagradable y de *10 a 20 ppm* intolerable.

La máxima concentración permitida en el ambiente (TLV-TWA) para trabajar 8 horas diarias sin perjuicio para la salud es de 1 mg/m^3 de aire.

El ácido en sí mismo no es inflamable, pero se le debe aislar de materiales orgánicos, nitratos, carburos, cloratos y polvos metálicos. El contacto del ácido concentrado con estos materiales puede causar ignición. El ácido sulfúrico en tambores, carros-tanque y tanques de almacenamiento metálicos causa desprendimiento de hidrogeno, el gas hidrógeno es explosivo en el rango de 4 a 75% volumen de hidrógeno en el aire. Cuando se llega a ingerir ácido sulfúrico es muy peligroso y puede causar la muerte. No se han descubierto otros efectos que no sean los mencionados y recurrentes.

C. Primeros auxilios

En caso de que el ácido haya caído sobre la piel o los ojos se deberán lavar las partes afectadas haciendo uso de las regaderas de seguridad, fuentes lavaojos o garrafones que contienen solución de bicarbonato de sodio, y retirar al paciente del área contaminada. Se deberá llamar inmediatamente al médico, explicándole con exactitud lo sucedido.

i. Contacto con la piel y membranas mucosas:

Las personas que hayan tenido contacto con el ácido sulfúrico deberán meterse a las regaderas de seguridad para lavar las partes afectadas con agua en abundancia, retirándoles la ropa lo más rápido posible. Como complemento de este primer auxilio puede utilizarse jabón para lavar las partes afectadas. Las partes quemadas recibirán posteriormente un tratamiento médico.

ii. Contacto con los ojos

Si el ácido sulfúrico entra en contacto con los ojos, se les deberá irrigar de inmediato con agua en abundancia, por lo menos durante 15 minutos. Los párpados deberán mantenerse abiertos durante la irrigación, para asegurar el contacto del agua con los tejidos de la región. Acuda o llame inmediatamente al médico, de preferencia al especialista. Si después de la irrigación continúan las molestias, se necesitará una segunda irrigación de 15 minutos más. También se podrán aplicar 2 ó 3 gotas de un anestésico líquido, protegiéndolos después con un parche. No aplicar aceites ni ungüentos oleosos.

iii. Ingestión

Si accidentalmente una persona llegara a ingerir ácido sulfúrico deberá darse a tomar inmediatamente grandes cantidades de agua, con el objeto de reducir la concentración, y una vez hecho esto, puede darse a tomar leche de magnesia o agua de cal para neutralizar el ácido. No debe provocarse el vómito ni hacer lavado de estomago. Deberá recibir atención médica inmediata.

iv. Inhalación

Las personas que inhalen niebla de ácido deberán ser trasladadas a zonas no contaminadas; debe llamarse inmediatamente al médico, quién los mantendrá en observación durante un tiempo suficiente, por si llegara a presentarse una reacción pulmonar. Si se dispone de los medios necesarios, una persona capacitada o un médico, pueden suministrar oxígeno al paciente. La presión de exhalación deberá ser ajustada de acuerdo con la tolerancia del paciente. La inhalación del oxígeno deberá continuar el tiempo necesario para mantener el color normal de la piel de las membranas mucosas. En caso de exposición grave, el paciente deberá respirar oxígeno bajo presión positiva de exhalación por un periodo de media hora cada

hora, durante por lo menos 3 horas; si el paciente no respira, deberá aplicarse un método artificial para reanudar la respiración. Cualquier droga o tratamiento de shock deberá ser administrado únicamente por el médico. "Jamás debe intentarse administrar algo por la boca a un paciente inconsciente".

D. Control y prevención de accidentes

Esta instrucción y esta supervisión deberán tener como objetivo principal evitar el contacto del ácido con la piel, con los ojos o la inhalación de sus vapores. En las áreas donde se maneja o se almacena ácido sulfúrico deberán existir, convenientemente distribuidas, regaderas de seguridad, fuentes de agua para lavado de ojos o red de tubería de agua potable para irrigación de los ojos o para lavar cualquier parte del cuerpo que haya sido salpicada. El agua que se emplea en la alimentación de estas regaderas y fuentes lava ojos, deberá ser de preferencia tibia y las regaderas deberán suministrar agua en abundancia a una presión moderada habiendo una válvula de acción rápida y que una vez operada queda abierta. La localización de estos dispositivos deberá ser estratégica para permitir un rápido y fácil acceso.

En el caso de las instalaciones para el llenado o vaciado a carros-tanques, estos dispositivos de seguridad deberán estar localizados cuando más a 7,6 m del sitio donde se efectúe la operación y además deberán existir otras fuentes de agua para usarse en caso de derrame del producto.

Todos los trabajadores que laboren en áreas de ácido, deben conocer la localización de los dispositivos de seguridad mencionados. Para preparar soluciones de ácido sulfúrico con agua, deberá tenerse la precaución de agregar lentamente y en pequeñas cantidades el ácido al agua, agitando la mezcla al mismo tiempo. Nunca deberá agregarse el agua al ácido, ya que de esta manera se

genera una violenta elevación de temperatura que provoca la proyección del líquido, lo cual puede ocasionar salpicaduras de éste.

Se deben colocar escaleras, plataformas y pasillos para tener acceso a la parte superior de los tanques. Debido a que el ácido sulfúrico es muy corrosivo para muchos metales y aleaciones, es imperativo el proyecto y la selección adecuados del equipo para su almacenamiento, manejo y procesamiento. Es importante mantener una ventilación adecuada en todos los ambientes en donde se maneja el ácido sulfúrico, ya que los vapores son extremadamente irritantes para la parte superior de las vías respiratorias.

E. Instrucción y entrenamiento de personal

La seguridad en el manejo de ácido sulfúrico depende, en gran parte, de la efectividad en la instrucción del personal, entrenamiento correcto en las prácticas de seguridad, uso del equipo de seguridad y de una supervisión inteligente. La supervisión es responsable de la instrucción y el entrenamiento de los empleados para que estos trabajen con seguridad y utilicen el equipo de protección personal que se les proporciona. Con objeto de que los trabajadores estén ampliamente informados sobre los riesgos a que se expondrían en caso de realizar maniobras inadecuadas, y para que además sepan como actuar cuando se presente una emergencia, se deberán impartir periódicamente charlas de capacitación, tanto de trabajadores nuevos como a los que tienen años de servicio, sobre los siguientes aspectos principales:

- Localización, propósito y uso del equipo de protección personal, regaderas de seguridad, fuentes para lavado de ojos, garrafrones de solución de bicarbonato de sodio para casos de emergencia.

- Localización, propósito y uso del equipo contra incendio, alarmas y equipo de emergencia, tales como válvulas o interruptores.
- Medios para evitar la inhalación de vapores o vapor de ácido sulfúrico y contacto directo con el líquido.
- Forma de actuar, procedimientos a seguir en casos de emergencia y medidas de primeros auxilios
- Precauciones y procedimientos a seguir durante la carga y descarga de este producto.

F. Equipo de protección personal

Es necesario considerar como un complemento de carácter imprescindible y obligatorio el uso del equipo de protección personal a quien tenga contacto o este implicado en el manejo directo del ácido sulfúrico, y no exime al trabajador de tomar todo tipo de medidas de precaución en cuanto a su comportamiento y desempeño personal en el ejercicio de cualquier operación.

El equipo de protección personal deberá seleccionarse, tomando en cuenta el trabajo que se va a desarrollar, por ejemplo para el ácido sulfúrico se puede usar: botas de hule, guantes de hule, mandil de hule, chaqueta y pantalón de hule o de otro material resistente al ácido, gafas o goglees contra sustancias químicas, pantallas faciales, máscara con cartucho para vapores orgánicos y gases ácidos, máscara o capuchón con suministro de aire forzado, cinturones o arneses.

1. Protección para los ojos

- Las gafas o goglees de seguridad con bordes de metal o plástico con protecciones laterales. Se pueden usar en los lugares donde es conveniente una protección continua a los ojos, tal como en

los laboratorios. Sin embargo, no deben usarse donde se necesita una protección total de los ojos contra el ácido sulfúrico.

- Las caretas de plástico (de cobertura total, como mínimo de 20,32 cm), con protección para la frente, se pueden emplear como complemento de los anteojos de seguridad antiácidos, en donde exista el peligro de impacto en los ojos desde abajo o alrededor de las partes laterales de la careta.

ii. Protección respiratoria

Se pueden usar mascarillas para gas del tipo de filtro industrial, equipadas con protector facial que cubra toda la cara y dotadas del filtro correcto para la absorción del ácido sulfúrico. Estas mascarillas deben usarse solo durante periodos de exposición relativamente cortos. No son apropiadas para usarse en emergencias debido a que en esos momentos la concentración real del vapor es desconocida y puede haber una deficiencia de oxígeno.

iii. Protección para la cabeza

Debe usarse los cascos en los lugares donde hay peligro de impactos de objetos que caen. Si no se considera necesario el uso del casco, se pueden emplear gorras para dar protección contra fugas y salpicaduras de líquidos.

iv. Protección para los pies

Se recomienda el uso de zapatos de seguridad de hule con casquillos internos de acero para los trabajadores que manejan tambores y garrafones con ácido sulfúrico. Los zapatos de hule se sobreponen a los zapatos de seguridad de piel. Deben limitarse totalmente cuando hayan sufrido contaminación en su uso.

v. Protección del cuerpo, la piel y las manos

En los lugares en donde hay posibilidad de contacto con el cuerpo, se deben usar guantes de hule y mandiles. Se recomienda utilizar un equipo completo de hule con anteojos químicos, botas de hule y mascara de plástico, para efectuar limpieza de carros-tanque equipos en los cuales se debe suministrar aire fresco.

vi. Resistencia de materiales para ropa protectora

Muy buena: Goma Butil, Butil/neopreno, polietileno, teflón.

Buena: Neopreno + goma natural.

Pobre: Nitrilo, Cloruro polivinilo.

Nota: Resistencia de materiales específicos pueden variar de producto a producto. Evaluar la resistencia bajo condiciones de uso y mantención cuidadosa del vestir.

G. Medidas para controlar derrames o fugas

Medidas de emergencia a tomar si hay un derrame del material, vestir equipo de protección personal adecuado. Detenga o reduzca la fuga si es posible hacerlo en forma segura.

i. Pequeños derrames

Empape el derrame con material absorbente que no reaccione con el químico derramado. Ponga el material en contenedores adecuados, cubiertos y etiquetados.

ii. Grandes derrames

Contacte a los servicios de emergencia y bomberos y al proveedor para la asistencia y el aviso. Contenga el derrame con arena seca, arcilla, o material absorbente que no reacciones con el material

derramado. Cautelosamente diluya y neutralice con cal o ceniza de soda. Remueva el líquido con bombas resistentes a la corrosión o bombas de vacío. Coloque en contenedores adecuados, cubiertos y etiquetados. El material absorbente contaminado puede poseer los mismos riesgos que el producto derramado.

Mueva o aisle los materiales incompatibles o inflamables. Notifique a las autoridades de salud, prevención y ambientales.

Precauciones personales: No toque el material derramado.

Precauciones para el medio ambiente: Evite que el material ingrese en espacios confinados, alcantarillas o cursos de agua.

Métodos de limpieza: forme diques con arena o tierra secas. No usar aserrín u otro material orgánico. Enjuague con abundante agua. El material absorbente contaminado con producto, presenta los mismos riesgos que el producto concentrado.

Recuperación: No aplicable.

Neutralización: Esta operación debe ser efectuada solo por personal entrenado (usar bicarbonato o carbonato de sodio o carbonato de calcio).

Eliminación de desechos: Retirar los residuos en recipientes de seguridad con identificación de su contenido y enviar a plantas autorizadas para su manejo..

H. Manipulación y almacenamiento

i. Manipulación

Manipule las cantidades más pequeñas posibles en un área separada del área de almacenamiento. Las personas desprotegidas deben evitar todo contacto con el químico incluyendo el equipamiento contaminado. Contenedores desprotegidos. Evite contenedores dañados. Mantenga los contenedores fuertemente cerrados cuando no estén en uso. Asuma que los contenedores vacíos contienen

residuos que son riesgosos. Siga las advertencias del fabricante / proveedor del químico respetando la ventilación de los tambores. Inmediatamente contacte al fabricante/proveedor del químico para instrucciones de manejo si los tambores de este material parecen estar derramados. Siga las precauciones de manipulación en la Hoja de Seguridad. Tenga equipo de emergencia adecuado para fuego, derrames y fugas siempre disponible.

ii. Almacenamiento

Almacene en un área seca, fría, bien ventilada fuera de la luz solar directa y alejada del calor y fuentes de ignición. Mantenga las cantidades almacenadas en cantidades tan pequeñas como sea posible. Evite el almacenamiento a granel en interiores.

En instalaciones de almacenamiento de gran escala, muros, pisos, iluminación y sistemas de ventilación en el área de almacenamiento deben ser hechas de materiales que resistan el ataque de ácido sulfúrico.

Condiciones de almacenamiento

Apropiadas

Es importante que el ácido sulfúrico sea almacenado lejos de muchos materiales que son incompatibles. Inspeccione todos los contenedores que ingresan para asegurarse que están debidamente etiquetados y no dañados. Siempre almacene en contenedores originales etiquetados o en el tipo de contenedor recomendados por el fabricante/proveedor. Proteja la etiqueta y manténgala visible. Mantenga los contenedores fuertemente cerrados cuando no estén en uso y cuando se vacíen. Proteja del daño. Almacene contenedores a un altura conveniente para la manipulación, bajo el nivel del ojo si es posible. Almacene en un rango de temperatura recomendado por el fabricante/proveedor del químico.

Inapropiadas

Almacenar cerca de químicos orgánicos e inorgánicos incluyendo agua, acrilonitrilo, soluciones alcalinas, cloratos, nitratos, metales en polvo, ácido nítrico y materiales orgánicos, 4-nitrotolueno, etilenglicol, los acetaldehídos pueden polimerizar violentamente en la presencia de ácido sulfúrico.

iii. NFPA-Rombo de seguridad: Asociación Nacional de Protección de Fuego

- Salud (azul): 3 Corta exposición puede causar serio daño temporal.
- Inflamabilidad (rojo): 0 – No se quema.
- Reactividad (amarillo): 2 – Fácilmente sufre cambio químico violento a temperaturas y presiones normal o elevadas, o reacciona violentamente con agua, o puede formar mezclas explosivas con agua.
- Especial (blanco): Reactivo al agua.

En la figura 3.32 se pueden observar el rombo de seguridad para el transporte, los elementos de protección y el pictograma utilizados en el manipuleo de ácido sulfúrico.



Figura 3,32 Medidas de seguridad en el manipuleo del ácido sulfúrico

I. Disposición final del ácido sulfúrico

Disposición del ácido sulfúrico: depositar residuos en envases de seguridad para trasladar a plantas autorizadas para su tratamiento.

Disposición embalaje/envase contaminado: no reutilizar envase vacíos, incinerar en plantas autorizadas.

Reglamentos Locales para la disposición de desechos: Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligros.

Ley N° 28256, ley que regula el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, 18 de Junio del 2004.

3.2.2 Riesgos y medidas de seguridad en el manipuleo del producto

El sulfato de cobre (II) está en la lista de sustancias peligrosas y su uso está reglamentado por OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacionales).

A. Riesgos de fuego y explosión

El sulfato de cobre (II) posiblemente arda, pero no se enciende fácilmente y no es considerado como un riesgo de **incendio**, sin embargo tener en cuenta las siguientes aplicaciones:

- Use una sustancia química seca, CO₂, rociador de agua o **extinguidores** de espuma; al incendiarse, se producen gases venenosos como óxidos de azufre, es posible que los recipientes exploten y use rociador de agua para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio.
- En caso de un fuego, usar la ropa protectora completa y el aparato respiratorio autónomo NIOSH-aprobado.
- Si son los empleados quienes deben apagar los incendios, deben estar entrenados y equipados de acuerdo con lo establecido en OSHA.

B. Riesgos para la salud

i. Inhalación

Causa irritación a la zona respiratoria, los síntomas pueden incluir tos, garganta dolorida, y respiración lenta. Cuando está calentado, este compuesto puede emitir el humo de cobre, que puede causar los síntomas similares al resfrío común, incluyendo congestión de las fosas nasales y dolor de cabeza.

ii. Ingestión

Puede causar quemaduras dolorosas en la boca, el esófago, y el estómago. Si no ocurre el vómito, el envenenamiento sistemático de cobre inmediatamente puede ocurrir. La muerte puede ocurrir por un shock o de falla renal. Las fatalidades han ocurrido como resultado de ingerir cantidades en gramos de sulfato de cobre.

iii. Contacto de la piel

Puede causar irritación y picazón.

iv. Contacto visual

El polvo puede causar irritación. El contacto puede causar conjuntivitis, ulceración o nublar la córnea.

v. Exposición crónica

La exposición prolongada o repetida de la piel puede causar dermatitis, decoloración de la piel o el cabello, los daños en la sangre y el hígado, ulceración y perforación del tabique nasal, nariz que moquea, gusto metálico, y los cambios e irritación de las membranas mucosas.

vi. Provocación de condiciones preexistentes

Las personas con desórdenes preexistentes de la piel, hígado deteriorado, riñón o la enfermedad pulmonar de Wilson preexistente pueden ser más susceptibles a los efectos de este material.

C. Primeros auxilios

i. Inhalación

Llevar al aire fresco. Si no está respirando, dar la respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Llamar a médico.

ii. Ingestión

Inducir al vomito inmediatamente según lo dirigido por el personal médico. Nunca dar cualquier cosa por vía oral a una persona inconsciente. Llamar al médico inmediatamente.

iii. Contacto de la piel

En caso de contacto, limpiar el exceso del material de la piel inmediatamente con un chorro de agua por lo menos durante 15 minutos. Quitar la ropa y los zapatos contaminados. Lavar la ropa antes de la reutilización. Llamar al médico.

iv. Contacto visual

Inmediatamente limpiar con abundante agua por lo menos durante 15 minutos, levantando párpados superiores e inferiores de vez en cuando. Conseguir la atención médica inmediatamente.

D. Riesgos de exposición

i. Límites de Exposición en el lugar de trabajo

Sulfato de cobre.

AGGIH TLV (Estados Unidos).- TWA:

1 mg/m³ para polvos sulfatos de cobre.

ii. Exposiciones mixtas

Es posible que los siguientes **efectos agudos (de corta duración)** en la salud ocurran inmediatamente o poco tiempo después de haberse expuesto al sulfato de cobre (II)

- El contacto puede causar irritación y quemaduras severas de la piel. El contacto repetido puede causar el endurecimiento de la piel.
- El sulfato de cobre (II) puede causar severas quemaduras en los ojos y dañarlos en forma permanente.
- Respirar el sulfato de cobre (II) puede irritar la nariz, la garganta y los pulmones causando tos y respiración con silbido.
- La exposición a los vapores del sulfato de cobre (II) calentado puede causar “fiebre de vapor metálico”. Esta es una enfermedad parecida a la gripe con síntomas de gusto metálico, fiebre y escalofríos, dolores, pecho cerrado y tos.

iii. Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) en la salud pueden ocurrir en cualquier momento después de haberse expuesto al sulfato de cobre (II) y durar meses o años.

- Riesgo de cáncer
Es posible que el sulfato de cobre (II) cause mutaciones (cambios genéticos). Se necesita realizar estudios adicionales para definir si origina riesgo de contraer cáncer.
- Riesgo para la reproducción:

Es posible que el sulfato de cobre (II) cause daño a los testículos (glándulas reproductivas masculinas) y por que disminuye la fertilidad en animales machos y hembras.

○ Efectos de larga duración

La exposición repetida puede causar la contracción del revestimiento de la nariz interna, es posible que el sulfato de cobre (II) cause alergia a la piel. Si se produce una alergia, futuras exposiciones, aunque sean muy bajas pueden causar picazón y salpullido y la exposición repetida al sulfato de cobre (II) puede dañar el hígado. También puede causar depósitos de cobre en la piel y el pelo, dejando una tonalidad de color verde.

iv. Condiciones empeoradas por la exposición

La enfermedad “Wilson’s Disease” es una condición rara que interfiere con la capacidad del cuerpo de deshacerse del cobre. Si tiene esta enfermedad, consulte con su doctor sobre la exposición al cobre.

v. Sistemas de control y prácticas en el lugar de trabajo

Donde sea posible, transfiera el sulfato de cobre (II) en forma automática desde los tambores u otros recipientes de almacenamiento a los recipientes de procesamiento. Mantener buenas *prácticas en el trabajo* puede reducir el riesgo a las exposiciones.

Entre estas prácticas se recomiendan las siguientes:

- Los trabajadores cuya ropa ha sido contaminada por el sulfato de cobre (II) deben cambiarse inmediatamente y ponerse ropa limpia.

- No lleve a su casa la ropa de trabajo contaminada. Podría exponer a los miembros de su familia.
- La ropa de trabajo contaminada debe hacerse lavar por personas que estén informadas acerca de los peligros de la exposición al sulfato de cobre (II).
- El área inmediata de trabajo debe estar provista de fuentes de provisión de agua para el enjuague de los ojos en caso de emergencia (ver figura 3.34).
- Si existe la posibilidad de exposición de la piel, deben suministrarse instalaciones para duchas de emergencia, como la que se muestra en la figura 3.33.
- Si se produce el contacto del sulfato de cobre (II) con la piel, lávese o dúchese inmediatamente para quitarse la sustancia química. Al final de la jornada de trabajo, lávese cualquier parte del cuerpo que pueda haber estado en contacto con el sulfato de cobre (II), aunque Ud. no esté seguro si se produjo o no un contacto con la piel.
- No coma, fume o beba donde se manipula, procesa o almacena el sulfato de cobre (II), pues se puede tragar la sustancia química. Lávese cuidadosamente las manos antes de comer, beber, fumar o ir al baño.
- Use una aspiradora o un método húmedo para reducir el polvo durante la limpieza. NO BARRA EN SECO.

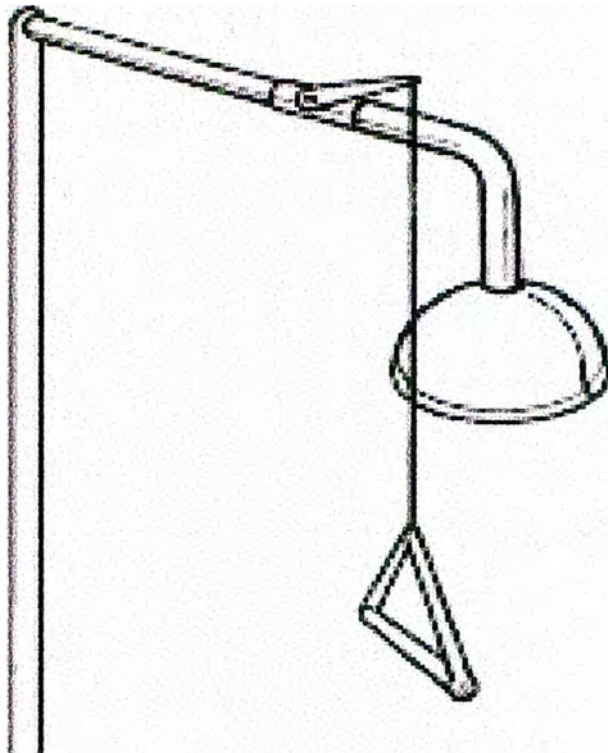


Figura 3.33 Ducha de Seguridad

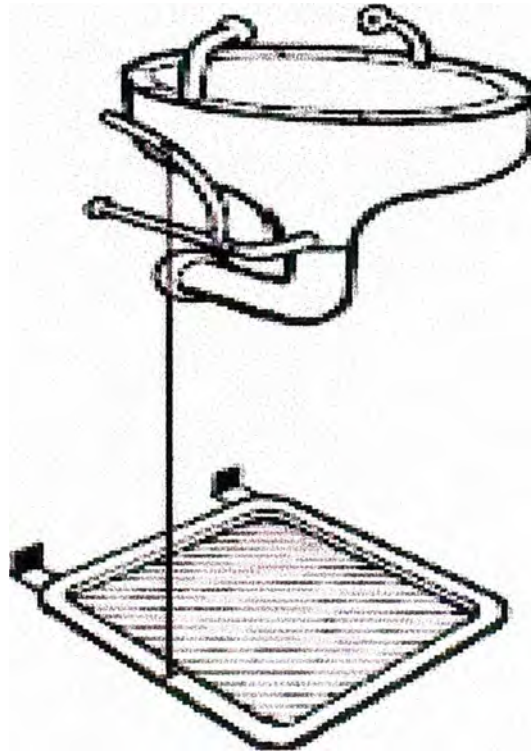


Figura 3.33 Fuente lavaojos

E. Equipo de protección personal

Planear sistemas de control en el lugar de trabajo es mejor que usar equipo de protección personal.

Sin embargo, para ciertos trabajos (tales como trabajos: al aire libre, en un área encerrada, realizados sólo de vez en cuando, o realizados mientras se instalan los elementos de control) puede resultar apropiado usar un equipo de protección personal.

La norma OSHA requiere que los empleadores determinen el equipo de protección personal apropiado para cada situación de riesgo y provea entrenamiento a los empleados sobre cómo y cuándo debe usarse el equipo de protección.

Las siguientes recomendaciones son sólo a modo de guía y quizás no se apliquen en todas las situaciones.

i. Piel/Cuerpo

Antes de utilizar este producto se debe seleccionar equipo protector personal para el cuerpo basado en la tarea a ejecutar y los riesgos involucrados y debe ser aprobado por un especialista.

Evite el contacto de la piel con el sulfato de cobre (II). Use ropa de protección como bata de laboratorio de la figura 3.35.



Figura 3.35 Bata de Laboratorio

ii. Manos

Guantes químico-resistentes e impenetrables que cumplen con las normas apropiadas deben ser usados siempre que se manejen productos químicos, si el evalúo del riesgo indica que es necesario

> 8 horas por jornada de trabajo (tiempo de saturación), se utilizará guantes de Nitrilo, como los mostrados en la figura 3.36.



Figura 3.36 Guantes de laboratorio

iii. Protección de los ojos

Equipo protector ocular que cumpla con las normas aprobadas debe ser usado cuando una evaluación del riesgo indique que es necesario

- Use protección para los ojos que resista impactos como protectores laterales o gafas.
- Cuando trabaje con esta sustancia, no debe usar lentes de contacto.
- Se recomienda: lentes anti salpicaduras o máscara con gafas de seguridad, como los de la figura 3.37.



Figura 3.37 Lentes de seguridad

iv. Protección respiratoria

El uso incorrecto de los respiradores (máscaras protectoras) es peligroso. Los recomendados son los respiradores NIOSH aprobados:

- Necesario si se manipula en entornos ventilados.

- Si excede el límite de la exposición y los controles de la ingeniería no es factible, una media pieza facial como el respirador de partículas: tipo N95, se puede usar hasta por 10 veces el límite de la exposición.
- Un respirador de partículas del pedazo de la lleno-cara: tipo N100 de NIOSH, se puede usar hasta por 50 veces por el límite de la exposición. Este equipo sólo debe usarse cuando el empleador tenga un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones en el lugar de trabajo, los requisitos para el entrenamiento de los trabajadores, pruebas del ajuste de los respiradores y exámenes médicos, como los que se describen en OSHA (ver figura 3.38).



Figura 3.38 Respirador para partículas N95

F. Estabilidad y reactividad

i. Estabilidad

Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenaje.

Productos peligrosos en la descomposición: cuando está calentado al óxido cúprico en la descomposición y puede formar óxido de azufre.

ii. Incompatibilidades

Las soluciones son ácidas y pueden reaccionar con magnesio para desarrollar el gas hidrógeno inflamable. Puede reaccionar con acetileno para formar sustancias peligrosas

Condiciones a evitar

Incompatibles.

G. Derrames y emergencias

Si se derrama o hay un escape de sulfato de cobre (II), tome las medidas siguientes:

- Evacue a toda persona que no lleve equipo protector del área del derrame, hasta que se complete la limpieza.
- Reúna el material pulverizado de la manera más segura y conveniente y deposite en recipientes herméticamente cerrados.
- Ventile el área del derrame después de haber completado la limpieza.
- Si son los empleados quienes deben limpiar los derrames, estos tienen que estar entrenados y equipados adecuadamente.
- Protección Personal en el caso de un derrame importante: gafas de seguridad, lentes protectores u protectores de cara, guantes impermeables, ropa de protección completa, botas. En caso de que se desconozcan los niveles de exposición, usar respiradores autónomos aprobados por NIOSH o equipo de protección integral equivalente.

H. Manipulación y almacenamiento

- Antes de trabajar con sulfato de cobre (II), usted debe ser entrenado en la manipulación y el almacenamiento apropiados de esta sustancia.
- El sulfato de cobre (II) puede formar materiales explosivos.
- Se aísla de sustancias incompatibles. El sulfato de cobre (II) no es compatible con hipobromito sódico; hidrazina; bases fuertes.
- Almacene en recipientes bien cerrados, en un área fría, seca, bien ventilada. Proteger contra daño físico. Las soluciones son corrosivas al acero de aleación débil. Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos, puesto que conservan los residuos del producto (polvo, sólidos).

Observar todas las advertencias y precauciones enumeradas para el producto.

I. Datos complementarios

i. Requisitos de etiqueta

Causa quemaduras en los ojos.

Nocivo por ingestión.

Puede provocar irritación en la piel.

ii. Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos o Hazardous Material Information System (Estados Unidos-HMIS): Para condiciones normales de operación.

HMIS Código/Letra de Identificación del Equipo de E.P.P. (Equipo de Protección Personal): C

En la figura 3.39 se muestra una etiqueta HMIS.

Salud	3
Riesgo de incendio	0
Reactividad	0
Protección personal	C

Figura 3.39 Etiqueta HMIS

ii. **Asociación Nacional de Protección contra Incendios o Nacional FIRE Protection Association (Estados Unidos-NFPA):**
Para condiciones de respuesta a emergencias.

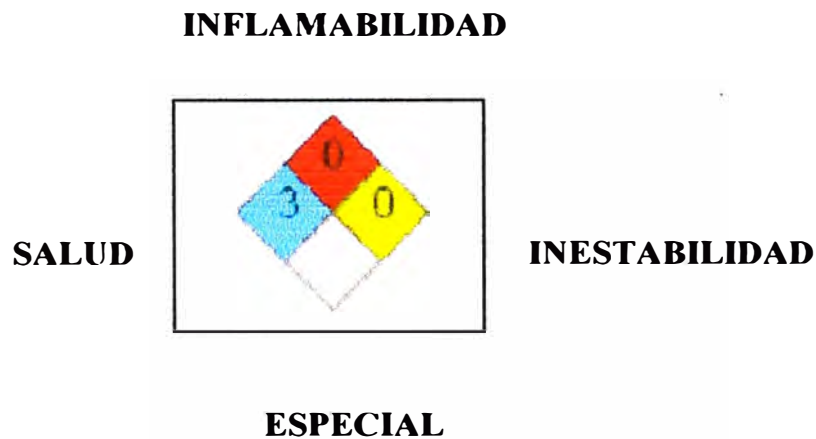


Figura 3.40 Etiqueta NFPA

iv. **Información sobre el transporte:**

En la **figura 3.41** se pueden observar las etiquetas de transporte requeridas por la UN, DOT y otras regulaciones.



Figura 3.41 Etiquetas de transporte

Número ONU: UN3077

Nombre de envío adecuado:

SUSTANCIAS PELIGROSAS PARA EL MEDIO AMBIENTE
SÓLIDAS.

Clase: 9.

Grupo de embalaje: III.

J. Disposición final del producto

Se debe evitar o minimizar la generación de desechos cuando sea posible. Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, los canales, los desagües y las alcantarillas. La eliminación de éste producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del ambiente y disposición de desechos y todos lo requisitos de las autoridades locales (Ley General de Residuos Sólidos-LEY N° 27314, 20 de Julio 2000).

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La reacción se efectúa en un rango de temperatura de 75° a 85°C y una atmósfera de presión, en un reactor por lotes donde ocurre la oxidación del cobre en presencia de aire y ácido sulfúrico en medio acuoso, y tiene una duración de 14 a 18 horas, por lo que el tiempo de elaboración del producto final es alto.
- La reacción química utilizada por la empresa no está expresada de adecuadamente, el agua no se debería considerar en la reacción ya que es una disolución acuosa, también el producto final en la reacción química debería de expresarse sólo como $\text{CuSO}_{4(\text{ac})}$, pero no en forma de los cristales de cobre $\text{CuSO}_{4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(\text{s})}}$ por que este producto se forma en el proceso de cristalización.
- El agua utilizada en el proceso no es tratada previamente debido a que el uso del sulfato de cobre (II) no es para consumo humano, y teniendo en cuenta que el cobre y el ácido sulfúrico tienen propiedades desinfectantes, estos autodesinfectan el agua.
- La mejora en la calidad de oxígeno da la posibilidad de aumentar la conversión del proceso lo que será beneficioso para una alimentación dada, ya que mejora la capacidad de emisión y mezclado, por medio de la reducción de la cantidad de nitrógeno aportada por el aire, lo que acelera el proceso y disminuye el caudal del gas. Cuando el flujo de aire es alto, aumenta la velocidad relativa entre el gas y el líquido, así como entre el líquido y el sólido, en consecuencia, las resistencias a la transferencia de oxígeno del líquido al sólido, es despreciable.
- En lo referente a la materia prima, el reciclado, en este caso el cobre, constituye una oportunidad en beneficio de la protección ambiental, como también de la reducción de costos.
- La primera herramienta en contra de los peligros sobre riesgos y el mal manejo de ácido sulfúrico y sulfato de cobre (II) pentahidratado es el entrenamiento y capacitación del personal, crear conciencia en los

trabajadores para que cumplan las normas y los procedimientos para que no perjudiquen su salud, los sistemas de identificación contribuyen a lograr una mayor seguridad, dando cumplimiento a las normativas vigentes, cómo la Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda revisar la reacción química utilizada por la empresa productora de sulfato de cobre ya que difiere con la reacción química empleada por la Universidad de Zulia en su estudio “Cinética de la producción de sulfato de cobre pentahidratado a partir de chatarra de cobre”, sabiendo que en ambas reacciones se usan los mismos reactivos.
- Para llegar a producir 1 batch cada 12 horas ó 200 Ton/mes, se tiene que realizar reducciones de los tiempos de descarga y carga de un batch, utilizando cobre ampollado proveniente de la fundición del mismo, estableciendo condiciones de procesos más favorables, etc.
- Se recomienda hacer un estudio para saber si económicamente es más beneficioso trabajar con agua tratada que no tratada, ya que debido a la cantidad de sólidos disueltos, materias en suspensión y ser agua dura, a medida que el agua dura circula por un recipiente (caldera, tubería, etc), los iones disueltos son atraídos a la superficie del recipiente formándose cristales como caliche y sarro y se caracteriza por la dureza de las incrustaciones- CaCO_3 que tienen efectos negativos como el de impedir la circulación de los fluidos.
- Automatizar el proceso para mejorar la calidad del producto, aumentando la eficiencia y disminuyendo las fallas.
- Se recomienda incluir en el sistema *concentradores de oxígeno* (generadores de oxígeno) para mejorar la calidad del oxígeno por ser equipos económicos, extendiéndole la vida al compresor de aire, el aire comprimido pasa a través del medio de absorción que atrae el Nitrógeno y otras impurezas a alta presión y posteriormente los libera a baja presión (proceso de regeneración). El

resultado es una producción de oxígeno de hasta 93% de pureza. La velocidad de reacción aumenta al incrementa el flujo de aire, presión y la temperatura.

- Comprobar si los equipos de cristalización no constituyen un cuello de botella, en la producción.
- Se recomienda el enchaquetado del reactor para mantener la temperatura de reacción y disminuir la pérdida de calor al ambiente.
- La empresa de sulfato llama al líquido que sale del caldero vapor de agua, pero en nuestro caso sería preferible llamarlo agua caliente, ya que tiene una temperatura promedio de 80°C.
- El tamaño de partícula de la chatarra de cobre cuanto más pequeño, mejor, ya que al aumentar el área superficial mejora el tiempo de reacción, por tal razón es aconsejable realizar una selección exhaustiva de la chatarra con el fin de evitar la contaminación con otros materiales, lo cual puede acarrear desviaciones del comportamiento cinético del proceso.
- Para disminuir el tiempo de reacción en un reactor industrial, se recomienda operar a presión atmosférica, temperatura de 90°C, y un flujo de alrededor de 1,2 L/min.

V. BIBLIOGRAFÍA

- 5.1. Aduanet, “Exportaciones de sulfato de cobre del año 2000 al 2006”,
www.aduanet.gob.pe/operatividadAduana/index.html
- 5.2. Alexiev V. “Semimicroanálisis, Químico Cualitativo”, Pág: 578.
- 5.3. Chang R. “Química”, Pág: 500, 504,510.
- 5.4. Kirk R. “Enciclopedia de Tecnología Química”, Pág: 1033.
- 5.5 MMSD, Proyecto Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable, “Estudios de caso de minerales, capítulo 5
www.iied.org/mmsd_pdfs/ab/ab_capitulo05.pdf.
- 5.6. New Jersey Department of Health and Senior Services, “Hoja informativa sobre sustancias peligrosas-Sulfato de cobre”,
www.state.nj.us/health/eoh/rtkweb/0549sp.pdf.
- 5.7. Pájaros E. “Técnicas Experimentales 1, Química Inorgánica”, Pág: 1, 6.
- 5.8 Phelps Dodge Corporation, “Hoja de datos de seguridad del material SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO”,
www.phlpsdodge.com/NR/rdomlyres/D3A56AF-F1F6-4B7C-B4A9-1099DA943F4F/0/CuSulfateMSDSpanish.pdf.
- 5.9 Química del Sur y Cía. Ltda., “Hoja de seguridad de productos químicos ácido sulfúrico”,www.quimicadelsur.cl/H2SO4_completa.pdf.
- 5.10 Valera A., Arias A., Reyes Y. ” Cinética de la producción de sulfato de cobre pentahidratado a partir de chatarra de cobre”, Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 2003, v26 n2, Pág:1.

APÉNDICE A

PRODUCCIÓN DE SULFATO DE COBRE (II) PENTAHIDRATADO PARTIR DE CHATARRA DE COBRE Y UNA MEZCLA DE ÁCIDO SULFÚRICO Y ÁCIDO NÍTRICO

1. Producción de sulfato de cobre (II) a partir de chatarra de cobre y una mezcla de ácido sulfúrico con ácido nítrico:

1.1. Marco referencial

La metodología usada consistió en tener como base el procedimiento realizado en planta para obtener el sulfato de cobre pentahidratado, se realizaron pruebas preliminares para obtener los parámetros que diera la solución saturada más cercana a la obtenida en planta, teniendo en cuenta que la alimentación había variado, por que aparte de ácido sulfúrico se le agregaba también ácido nítrico, y que no se le inyectaba oxígeno tomado del aire. Se realizaron tres pruebas debido a que el ácido sulfúrico y el ácido nítrico son sustancias controladas.

1.2. Procedimiento desarrollado

A continuación se nombran los materiales y reactivos utilizados para la realización de la prueba, seguida de la descripción del procedimiento.

A. Materiales

- a) 1 vaso de vidrio de 2 000 mL de capacidad.
- b) 1 bagueta de vidrio de aproximadamente 30 cm de longitud.
- c) 1 agitador magnético con placa calentadora de 10 – 250°C.
- d) 1 Termómetro de -10 a 150°C.
- e) 1 Hidrómetro para medir grados Baumé.
- f) 1 pH metro digital con porta electrodos (escala de 0-14)
- g) 1 balanza 1510 g.
- h) 1 cubeta cuadrada de vidrio de aproximadamente 30 cm. de lado y 10 cm de alto.

B. Reactivos

- a) 500 g de cobre en forma de láminas, alambre y granallas.
- b) 450 g de agua.
- c) 550 g de una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

C. Descripción del Procedimiento

- a) La prueba comienza a las 9:40 a.m.; en el recipiente de vidrio se echó el cobre y el agua.
- b) Se vierte lentamente y con agitación permanente la mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico, operación que dura aproximadamente 30 minutos.
- c) A las 10:10 a.m. se terminó de verter la mezcla de ácidos, se tomaron los siguientes datos:
 - Temperatura: 80 °C
 - pH: 0,5
 - °Bé: 50
 - Coloración: verdosa.
- iv. Mediante un calentador eléctrico se le suministra calor para mantener la temperatura constante (80°)
- v. A las 10:45 a.m. se tomaron los siguientes datos:
 - Temperatura: 78°C
 - pH: 1,5
 - °Bé: 44
 - Coloración: azul verdoso claro.
- vi. A las 11:15 a.m. se culmina la prueba obteniendo los siguiente datos de la solución:
 - Temperatura: 77°C
 - pH: 5,0
 - °Bé: 39.5
 - Coloración: azul verdosa oscuro.

En la tabla A1 se indican el N° de pruebas realizadas así como las masas de los reactivos.

Tabla A.1 Número de pruebas realizadas y masa de los reactivos utilizados

Reactivo	N° Prueba			Peso Promedio	%W(promedio)
	1	2	3		
Cu (g)	500,1	500,3	500,0	500,1	33,33
H₂O (g)	450,4	450,2	450,1	450,2	30,01
H₂SO₄ +HNO₃	550,1	550,2	550,1	550,1	36,66

Se realizaron los análisis del porcentaje de pureza en un laboratorio particular de la mezcla de ácido sulfúrico con ácido nítrico y de los cristales que se formaron de la prueba realizada, y se determinó que la mezcla contiene 82,97% en masa de H₂SO₄. En la tabla A.2 se muestran los componentes de la mezcla de ácidos.

El H₂SO₄ está al 98% en masa y a una concentración de 18 M, mientras que el HNO₃ está al 68% en masa y a 15,7 M.

Tabla A.2 Componentes de la mezcla de ácidos utilizada

Componentes	W(g)	%W
H ₂ SO ₄	456,4	82,97
HNO ₃	93,7	11,58
H ₂ O	30	5,45

En la tabla A.3 se observa las masas de la mezcla final

Tabla A.3 La mezcla final con sus respectivas masas

Reactivos	W _{cada componente} (g)	W _{mezcla final} (g)	% W	M _{final}
H ₂ SO ₄	456,4	456,4	45,63	8,38
HNO ₃	63,7	63,7	6,37	1,47
H ₂ O	30,2	480,2	48,00	-
H ₂ O _(mezcla final)	450,2			

1.3. Ecuación estequiométrica



1.4. Observación

- Se observa que la cantidad de grados baumé iniciales es prácticamente el doble (50°Bé) de lo que normalmente se indica en planta, esto puede ser debido a que las condiciones de operación son diferentes, por lo tanto, el contenido de cobre o sólidos fue mayor, pero conforme el sistema se estabilizó bajando hasta obtener un grado baumé final normal (39,5 °Bé).

1.5. Conclusiones

- El pH de la solución final preparada en el laboratorio fue de 5,0 el cual es mayor al pH normalmente indicado en planta 2,0; esto muestra que el ácido ha sido neutralizado en gran parte.
- El equipo utilizado en la prueba de laboratorio, no contaba con un compresor de aire, lo cual disminuye la conversión.
- En lugar de agregar el HNO₃ como un reactivo mas, fue agregado como parte de la cantidad de H₂SO₄ necesario para la reacción, disminuyendo la pureza de este, por tal razón el sulfato de cobre disminuyó su pureza.
- Si se hubiera agregado el HNO₃ como un reactivo más, hubiera actuado como un agente oxidante mostrando una alta conversión de producto, sin variar el flujo de aire respecto a las condiciones de operación de un reactor

industrial, esto lo demuestra un artículo publicado en la revista técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, en un estudio realizado sobre la Cinética de la producción de sulfato de cobre pentahidratado a partir de la chatarra de cobre. La tabla A.4 muestra las condiciones experimentales en las que se trabajó, en el experimento N° 8 se agrega HNO_3 y en el N° 9 se adiciona H_2O_2 . Debido a la presencia de agentes oxidantes, se puede concluir de aquí que la velocidad de transferencia de oxígeno es favorecida por la generación in situ de oxígeno, a causa de la presencia de agentes oxidantes, Todos los resultados que se adjuntan en la tabla A.4, sugieren que la etapa determinante del proceso es la difusión de oxígeno a la superficie metálica.

1.6. Recomendaciones

- También se recomienda planificar otra serie de experimentos con el fin de determinar el efecto de otras variables.
- Para este tipo de pruebas es necesario realizar una recristalización, por que la purificación es parcial y el proceso deberá repetirse tantas veces como sea necesario hasta obtener un cristal de alta pureza, si no se cuenta con otros métodos de análisis, se determinará el punto de fusión del cristal luego de cada recristalización. Se considerará que el cristal tiene un alto grado de pureza, cuando coincida el punto de fusión de dos recristalizaciones sucesivas.

Tabla A.4 Condiciones Experimentales de Referencia

Experimento	Temperatura (°C)	Presión Manométrica (bar)	Caudal del Aire (L/min)	Agente Oxidante
1	90	0,93	0,4	Reactor Industrial
2	95	0,93	0,4	
3	85	0,93	0,4	
4	90	1,32	0,4	
5	90	1,70	0,4	
6	90	0,93	0,8	
7	90	0,93	1,2	
8	90	0,93	0,4	HNO ₃
9	90	0,93	0,4	H ₂ O ₂
10	90	1,32	0,8	
11	95	1,32	1,2	
12	90	1,7	1,2	
13	95	1,7	0,8	

APÉNDICE B

CHATARRA DE COBRE

Existen dos vías principales por las cuales se recicla cobre. La chatarra de cobre libre de materiales de aleación (incluye la chatarra de aleación contaminada o 'sucia') es refinada en fundiciones secundarias para producir cobre puro refinado (absolutamente equivalente al cobre refinado producido a partir de minerales y concentrados). La chatarra de aleación limpia (de la que la chatarra de latón es un componente mayoritario) es reciclada en la misma aleación por fabricantes de productos semielaborados. El cobre ocupa el tercer lugar después del acero y el aluminio. La figura B.1 muestra datos del consumo total de cobre en los años 1975 y 1999, pero no toma en cuenta la ex Unión Soviética y China.

El suministro de cobre secundario es sensible al precio del cobre en el corto plazo. Los bajos precios del metal provocan la acumulación de chatarra vieja en la cadena de recolección. La chatarra nueva es reciclada con independencia del precio. En la tabla B.1 se muestran datos de empresas productoras de chatarra de cobre y en la tabla B.2 se observan datos de proveedores de sulfato de cobre.

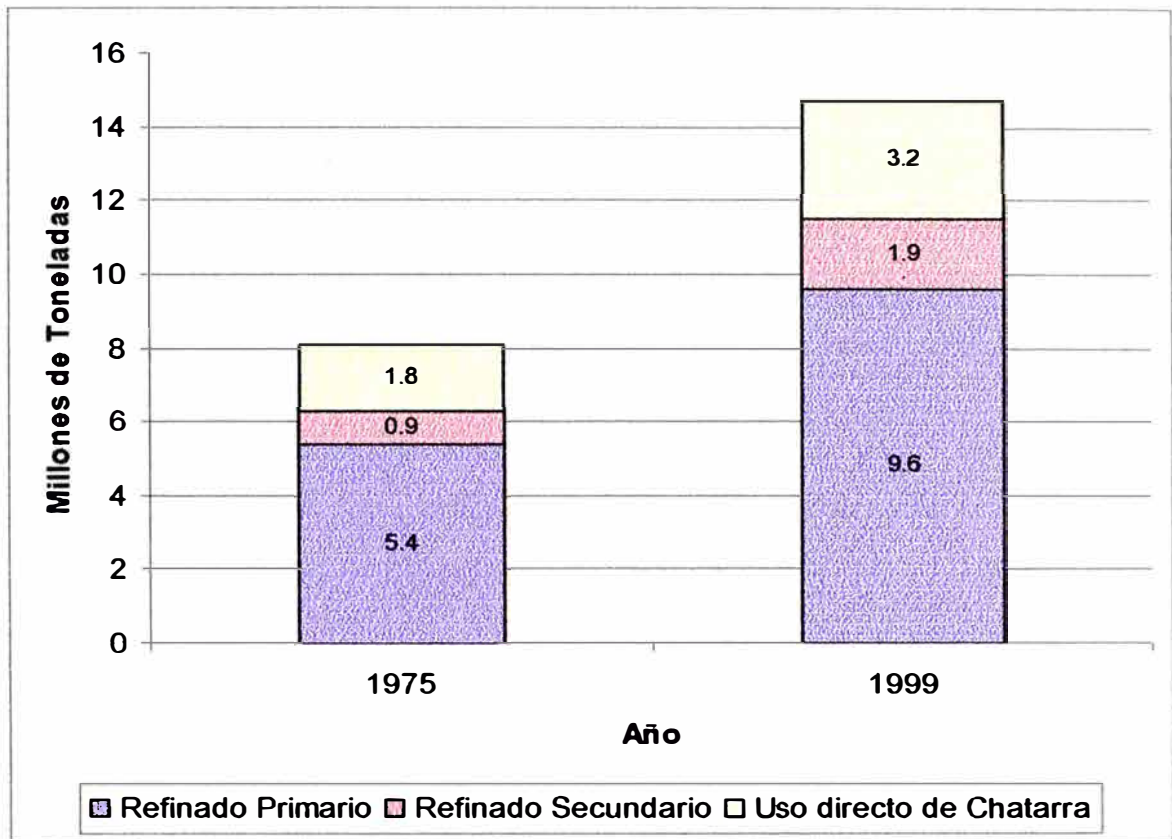


Figura B.1 Consumo total de cobre primario versus secundario y chatarra
Fuente: CRU Internacional.

Tabla B.1 Proveedores de chatarra de cobre en Lima:

Empresa	Dirección	Teléfonos
Chatarra Mimos	Av. Argentina 392, Callao.	484-0633 9831*6476
Inversiones Julio Cesar E.I.R.L.	Av. Argentina 6320 -6326, Callao.	451-5860 9979*4001
Metal Scrap Estrella E.I.R.L.	Av. Lurigancho 1250, S.J.L.	286-5570 96535*2086
Albuferas Ingenieros S.R.L.	Av. Canta Callao Mza. A Lt 3 Urb. Philadelphia	484-6949 9823*6173
Benites & Hermanos	Jr. Huanuco 1218, La Victoria.	474-6854 9834*4497
Comercial L. y M. Torres E.I.R.L.	Jr. Gamarra 285, La Victoria.	323-3824 9819*5707
Gamap S.A.C.	Av. Panamericana Norte Mza. "H" Lt. 11, Urb. Pro-Industrial; S.M.P.	521-1238 9831*4594
Inversiones Santa	Perú Mz. B Lt. 1 Asoc. Fundo San José, El Agustino.	385-2900 9638*5369
Cormesan S.A.C	Gral. Salaverry 391, San Luis.	326-1385 9817*9164
Chatarra Alarcon	Av. Huarochiri Mza. B-2 Lt. 4, Santa Anita	354*3888 9822*4407

Tabla B.2 Proveedores de sulfato de cobre en Lima:

Empresa	Dirección	Teléfonos
Indeco S.A.	Av. Universitaria Sur 583, Lima I	464-2570 561-2533
Sulcosa	Av. Maquinarias 6015, Carmen de la Legua-Callao 03.	562-4288 562-4289
Industrias Nacol	Pasaje los Materiales 648 – Lima.	452-5673 452-0362
Industrial Sulcozi S.A.C.	Av. José Santos Chocano Mza. E Lt. 26. Urb. Santa Ana – Ricardo Palma.	261-7275 361-8023
Oxyperu	Calle Núñez del Arco Mza. B Lt. 35. Urb. Industrial la Chalaca-Callao.	465-2564 826*6411
Reactivos Mineros	Av. Argentina 4013-Callao	451-5356
Sermin S.R.L.	Calle Guillermo Ronald Mz. B Lt. 21- Callao.	429-4351 429-6119

APENDICE C

GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y TÉRMINOS

ACGIH: es la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) y es una asociación con sede en USA que agrupa a más de 3000 profesionales de la Higiene del Trabajo que desarrollan su labor en instituciones públicas y universidades de todo el mundo. Los valores que establece la ACGIH se denominan "Threshold Limit Values" (TLV) y se basan exclusivamente en criterios científicos de protección de la salud. Estos valores TLV son sólo unos límites recomendados, pero gozan de un elevado prestigio en el mundo de la Higiene Industrial. Normalmente, cuando se citan los valores TLV de USA sin más especificación se está haciendo referencia a los valores propuestos por la ACGIH.

Una sustancia corrosiva: es un gas, líquido o sólido que causa daños irreversibles al tejido humano o a los envases.

Cristal: es la forma poliédrica regular, limitada por caras lisas, que adquiere un compuesto químico bajo la influencia de sus fuerzas interatómicas cuando pasa, en condiciones apropiadas, del estado líquido o gaseoso al sólido. La palabra viene de crystallos, nombre que dieron los griegos a una variedad del cuarzo, que hoy se llama cristal de roca.

Cultivos sin suelo-hidropónicos: desde el punto de vista hortícola, la finalidad de cualquier medio de cultivo es conseguir una planta de calidad en el más corto período de tiempo, con costes de producción mínimos. En este sentido los cultivos sin suelo, también denominados cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la Agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las

características del suelo, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas.

DOT: es el Departamento de Transporte (Department Of Transportation), la agencia federal Americana que regula el transporte de sustancias químicas.

Escurrir: agotar los restos o últimas gotas de un líquido que ha quedado en un recipiente o hacer que una cosa empapada de un líquido despidiera la parte que quedaba detenida.

FOB: siglas en inglés de "libre a bordo" o "puesto a bordo" (Free On Board). Término que describe la forma de tasar un bien cuando en el precio del mismo no se incluyen los costos de exportación asociados a su traslado.

Galvanizado: la galvanoplastia es el proceso en el que, por medio de la electricidad, se cubre un metal sobre otro; a través de una solución de sales metálicas (electrólisis). Los metales que generalmente se utilizan para este proceso son: Plata, níquel, cobre y zinc. Es un proceso mediante el que se deposita una fina capa de un metal sobre otro. La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable que el hierro y genera un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire. Otros procesos de galvanizado muy utilizados son los que se refieren a piezas decorativas. Se recubren estas piezas con fines principalmente decorativos, las hebillas, botones, llaveros, artículos de escritorio y un sinnúmero de productos son bañados en cobre, níquel, plata, oro, bronce, cromo, estaño, etc.

Grados Baumé: se refiere a la cantidad de sólidos disueltos en una solución. Método densimétrico: se trata de determinar la densidad, utilizando densímetros contruídos a tal efecto. El densímetro Baumé da un valor arbitrario de la

densidad. En la técnica: se enjuaga la probeta de 250 ml con la muestra a analizar. Se vierten 200 ml de vino (libre de sólidos) y se homogeniza. Se sumerge suavemente girando el densímetro, cuidando introducirlo a una altura que no sobrepase en más de 2 a 3 divisiones de la lectura probable. Una vez en reposo se efectúa la lectura en el borde superior del menisco. Se toma la temperatura de la muestra y se calcula valor real de acuerdo al valor medido (la escala se creó para 20°C).

A 15,6 °C la gravedad específica puede ser calculada a partir de grados Baumé usando las siguientes fórmulas:

- Líquidos más ligeros que el agua: $sp.gr. = 140/({}^{\circ}Bé+130)$.
- Líquidos más pesados que el agua: $sp.gr. = 145/(145-{}^{\circ}Bé)$.

Una sustancia inflamable: es un sólido, líquido, vapor o gas que se enciende fácilmente y se quema rápidamente.

Un mutágeno: es una sustancia que causa mutaciones. Una mutación es un cambio en el material genético de una célula del cuerpo. Las mutaciones pueden ocasionar defectos de nacimiento, abortos o cáncer.

NFPA: es la Asociación Nacional para la Protección contra los Incendios, americana (National Fire Protection Association). Clasifica las sustancias de acuerdo al riesgo de explosión o de incendio.

NIOSH: es el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacionales, americana (National Institute for Occupational Safety and Health). Examina equipos, evalúa y aprueba los respiradores, realiza estudios sobre los peligros en el lugar de trabajo y propone normas a OSHA.

El NIOSH es una institución dependiente de la Administración federal que, entre otras actividades, desarrolla y revisa periódicamente recomendaciones para límites de exposición a sustancias o condiciones potencialmente peligrosas en el ámbito de trabajo. Estas recomendaciones son publicadas y transmitidas a los

Departamentos competentes de la Administración para su empleo en la promulgación de normas legales. Los valores que establece el NIOSH se denominan "Recommended Exposure Limits" (REL) y no tienen valor legal.

NTP: es el Programa Nacional de Toxicología de Estados Unidos (National Toxicology Program), que examina los productos químicos y revisa las evidencias de cáncer. El número CAS es asignado por el Servicio de Abstractos Químicos (Chemical Abstracts Service) para identificar una sustancia química específica.

OSHA: es la Administración de Salud y Seguridad Ocupacionales (Occupational Safety and Health Administration) que adopta y hace cumplir las normas de salud y seguridad. La OSHA es el órgano de la Administración federal con competencia en el establecimiento de normas legales relativas a la prevención de riesgos y promoción de la salud en el ámbito laboral. Los valores que propone la OSHA se denominan "Permissible Exposure Limits" (PEL) y son los únicos que tienen validez desde el punto de vista legal.

ppm: significa partes de una sustancia por millón de partes de otra. Es una medida de concentración por volumen de aire.

Punto de inflamabilidad: es la temperatura a la cual un líquido o sólido desprende vapor que puede formar una mezcla inflamable con el aire.

Riego por aspersión: principios de un riego eficiente mediante sistemas de aspersión:

- Uniformidad de distribución.
- Bajo impacto de las gotitas.
- Bajos caudales de aplicación.
- Frecuencia del riego.

Riego por goteo: riego eficiente mediante sistemas de goteo:

- Bajos volúmenes.
- Espaciamiento estrecho entre goteros.
- Irrigación frecuente.

Teratógeno: es una sustancia que causa defectos de nacimiento al dañar el feto.

TLV: es el valor umbral límite (Threshold Limit Value), el límite de exposición en el lugar de trabajo recomendado por ACGIH.

Los TLV (Valores Límite Umbral) para agentes químicos expresan concentraciones en aire de diversas sustancias por debajo de las cuales la mayoría de los trabajadores pueden exponerse sin sufrir efectos adversos. Se admite que, dada la variabilidad de respuestas individuales, un porcentaje de trabajadores pueda experimentar ligeras molestias ante ciertas sustancias a estas concentraciones, o por debajo de ellas e, incluso en casos raros, puedan verse afectados por agravamiento de dolencias previas o por la aparición de enfermedades profesionales. Debido a los variados efectos que las sustancias químicas pueden provocar en las personas expuestas, se definen diferentes tipos de valores TLV.

TLV-TWA: Media ponderada en el tiempo, concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de 8 horas y 40 horas semanales, a la cual la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos. Este es el tipo más característico, al que se hace referencia habitualmente cuando se cita un valor TLV.

TWA: Los "Time-Weighted Average" o Media Ponderada en el Tiempo
PEL de la OSHA

Definidos como la concentración promedio ponderada para 8 horas que no deberá ser superada en ningún turno de 8 horas para semanas laborales de 40 horas.

REL del NIOSH

Definidos como valores de exposición promediados durante períodos de hasta 10 horas, si no se indica otra duración.

Vía edáfica: los fertilizantes químicos edáficos (suelos), para estabilizar la planta, son definitivos para un balance vegetal permanente durante el desarrollo del cultivo, Si hay buena nutrición hay menos enfermedades.. Entonces con menores costos y más producción, la agricultura seguirá siendo rentable.

Se recomienda en suelos que presentan las siguientes características químicas: pH alto en condiciones de neutralidad e incluso alcalinidad y contenidos altos de fósforo y potasio.

APÉNDICE D

Los Números indican el grado de peligro o riesgo que representa la sustancia, la figura D.1 muestra las etiquetas HMIS y NFPA.



Figura D.1 Números utilizados en las etiquetas de HMIS y NFPA

La figura D.2 muestra algunos equipos de protección personal, basados en la norma NOM-018-STPS-2000.














INDICE DE EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL PARA PRODUCTOS QUIMICOS PELIGROSOS			
 LENTES DE SEGURIDAD	 GOGGLES	 PANTALLA FACIAL	 GUANTES CONTRA QUIMICOS
 DELANTAL O RANDIL CONTRA QUIMICOS	 BOTAS DE HULE	 TRAJE COMPLETO CONTRA QUIMICOS	 MASCARILLA CONTRA POLVOS
 CAPUCHA O RESPIRADOR CON LINEA DE AIRE	 MASCARILLA CONTRA VAPORES	 MASCARILLA CONTRA POLVOS Y VAPORES	 EQUIPO DE AIRE COMPRESIDO
 TRAJE TYVEK CONTRA SALPICADURAS	La norma NOM-018-STP S-2000.		

Figura D.2 Equipos de protección personal.

El cuadro D.1 muestra las letras que se usan para identificar el Equipo de Protección Personal (E.P.P.).

Cuadro D.1 Letras utilizadas para la identificación del Equipo de Protección Personal en la etiqueta HMIS, franja blanca.

Letras de Identificación del E.P.P.

- A** Anteojos de seguridad.
- B** Anteojos de seguridad y guantes.
- C** Anteojos de seguridad, guantes y mandil.
- D** Careta, guantes y mandil.
- E** Anteojos de seguridad guantes y respirador para polvos.
- F** Anteojos de seguridad, guantes, mandil y respirador contra polvos.
- G** Anteojos de seguridad, guantes y respirador para vapores.
- H** Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para vapores.
- I** Anteojos de seguridad, guantes y respirador para polvos y vapores.
- J** Goggles para salpicaduras, guantes, mandil y respirador para polvos y vapores
- K** Capucha con línea de aire o SCBA, guantes, traje completo de protección y botas.
- X** Consulte a su Supervisor.

PARA LA ETIQUETA HMIS SE CONSIDERA LA SIGUIENTE SIMBOLOGÍA EN EL CUADRADO BLANCO DE SALUD.

- Indica peligro **MINIMO**
- ☆ Indica peligro o riesgo **LIGERO**
- ⊕ Indica peligro o riesgo **MODERADO**
- ⊗ Indica peligro o riesgo **SERIO**
- ⊕ Indica peligro o riesgo **SEVERO**

Cuadro D2 Se muestra un resumen del significado de los números.

Número	Salud/ Azul	Inflamabilidad/ Rojo(en base a Flash Point)	Reactividad/ Amarillo
0	Sin riesgo	No inflamable	Estable
1	Ligeramente peligroso	Mas de 93 °C	Inestable si se calienta
2	Peligroso	Menos de 93 °C	Cambio químico violento
3	Peligro extremo	Menos de 38 °C	Detona con calor y/o golpe
4	Mortal	Menos de 23 °C	Detona

LA INTENSIDAD SE DETERMINA POR MEDIO DE UNA CLASIFICACIÓN NUMÉRICA ENTRE 0 Y 4

4	PELIGRO	EXTREMO
3	PELIGRO	ALTO
2	PELIGRO	MODERADO
1	PELIGRO	LEVE
0	PELIGRO	MINIMO

SIGNIFICADO DE LOS NÚMEROS EN LAS ETIQUETAS NFPA:

SALUD (AZUL)

- 4: Mortal-exposición corta a esta sustancia, hay peligro de muerte.
- 3: Extremadamente peligroso – exposición a esta sustancia puede causar serios daños a la salud.
- 2: Peligroso-exposición a esta sustancia causa daños a la salud.
- 1: Pequeño peligro-exposición corta a esta sustancia causa daños secundarios a la salud.
- 0: Ausencia de peligro-exposición a esta sustancia ofrece riesgo significativo a la salud.

INFLAMABILIDAD (ROJO)

- 4: Punto de ignición debajo de 23 °C y punto de ebullición debajo de 38 °C – esta sustancia es muy inflamable, volátil o detonadora. Estas características son de los gases inflamables o líquidos extremadamente inflamables.
- 3: Punto de ignición debajo de 38 °C - esta sustancia es inflamable, volátil o explosiva.

- 2: Punto de ignición debajo de 93 °C - esta sustancia se puede inflamar a través de una fuente de calor. Esta característica es de los líquidos combustibles.
- 1: Punto de ignición por encima de 93 °C – esta sustancia debe estar próximo a una fuente con temperatura elevada para que se inflame. La mayoría de los sólidos inflamables están en esta categoría.
- 0: No es inflamable – esta sustancia no quema (no combustible).

REACTIVIDAD (AMARILLO)

- 4: Puede detonar – esta sustancia en condiciones normales de presión y temperatura puede detonar (Km/s).
- 3: Explosiva – esta sustancia explota (cm/s) en contacto con fuentes de calor, choque térmico, o agua.
- 2: Inestables – esta sustancia provoca reacción química violenta en contacto con agua en condiciones normales de presión y temperatura.
- 1: Normalmente estable – esta sustancia puede permanecer inestable en condiciones de presión y temperaturas elevadas, o cuando entra en contacto con el agua reaccionan vigorosamente pero no violentamente.
- 0: Estable – esta sustancia permanece estable aún en condiciones de presión y temperatura elevada e en contacto con el agua.



Reacciona con el Agua



Material Oxidante

Figura D.3 Se considera estos símbolos para riesgos específicos o peligros especiales en el rombo BLANCO de la etiqueta NFPA



inflamable



radiactivo



corrosivo



gas comprimido



explosivo



ve

Figura D.4 Símbolos de precauciones especiales

APÉNDICE E

EXPORTACIONES DE SULFATO DE COBRE

Los datos de la gráfica y las tablas presentadas en el apéndice E, tienen como fuente ADUANET.

La **tabla E.1** muestra las exportaciones de Sulfato de Cobre entre el 2 000 al mes de Julio del 2 006.

Tabla E.1 Exportaciones de CuSO_4

Subpartida Nacional: 2833.25.00.00			
Año	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)
2000	2,022,659.06	3,056,509.00	3,125,981.89
2001	2,688,065.30	4,259,292.20	4,361,428.72
2002	2,601,545.99	4,093,597.00	4,194,704.20
2003	2,474,181.57	3,010,734.57	3,085,706.58
2004	2,570,453.89	2,606,420.68	2,664,037.89
2005	2,914,726.41	2,682,423.86	2,742,774.05
2006	11,104,886.85	8,052,929.25	8,092,283.00

En la figura E.1 se muestra gráficamente las exportaciones de Sulfato de Cobre, en Kg., entre el 2 000 al mes de Julio del 2 006 respectivamente, habiendo tenido una alza muy significativa el presente año, debido a que Chile le ha comprado más sulfato de cobre a Perú y esto debido a que con el TLC, los países asiáticos como China y Corea, están muy interesados en los compuestos de cobre.

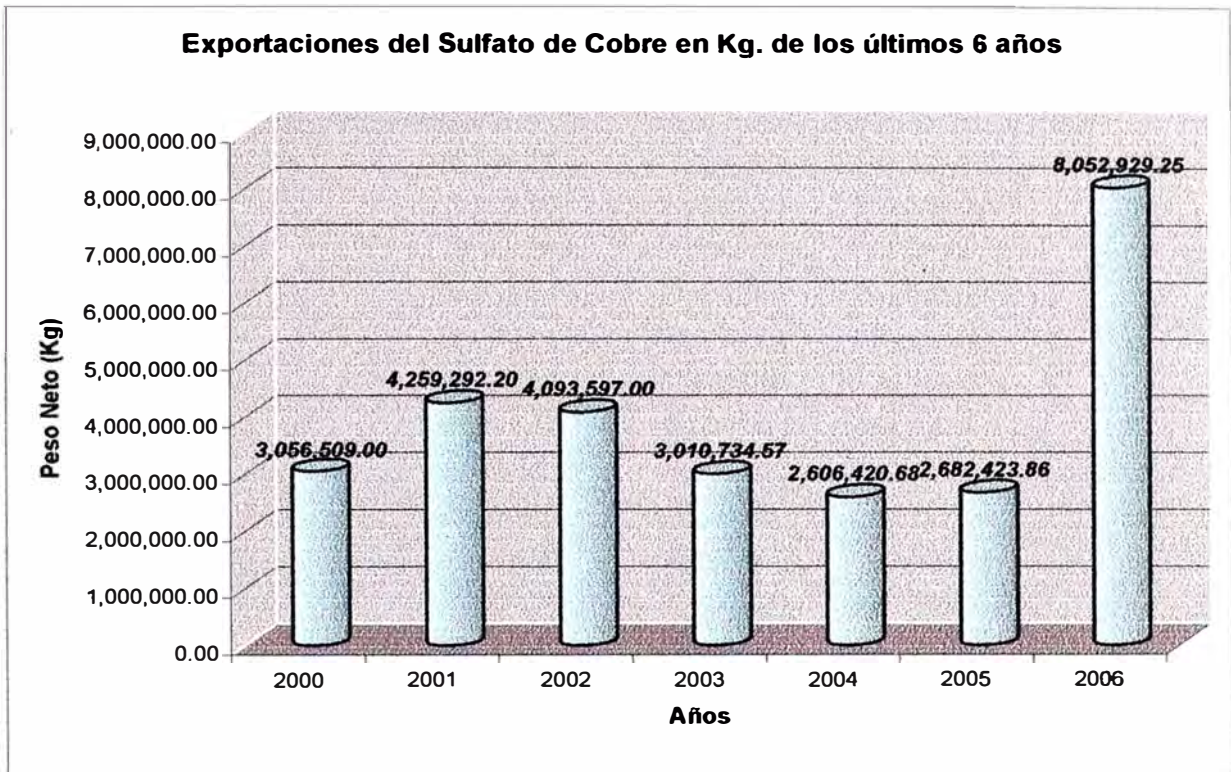


Figura E.1 Exportaciones del sulfato de cobre en Kg. de los últimos 6 años
(2 000 a Julio 2 006)

En la tabla E.2 se presenta un reporte de las exportaciones de Sulfato de Cobre por Subpartida Nacional / País destino 2 000.

Tabla E.2 Reporte de exportaciones por subpartida nacional/país destino 2 000
Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

País Destino	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
US:UNITED STATES	1,213,614.37	1,937,376.52	1,983,955.22	60.00
CA:CANADA	175,023.00	250,400.00	253,549.00	8.65
EC:ECUADOR	170,384.24	259,500.48	265,694.67	8.42
IT:ITALY	106,895.84	139,832.00	143,292.00	5.28
DK:DENMARK	58,000.00	60,000.00	61,560.00	2.86
VE:VENEZUELA	49,562.60	77,000.00	78,829.00	2.45
HN:HONDURAS	45,795.55	68,000.00	69,570.00	2.26
CO:COLOMBIA	40,522.00	59,000.00	60,274.00	2.00
NZ:NEW ZEALAND	39,010.00	62,000.00	62,732.00	1.92
GB:UNITED KINGDOM	38,600.00	40,000.00	40,960.00	1.90
AR:ARGENTINA	38,600.00	40,000.00	40,960.00	1.90
ES:SPAIN	16,506.46	17,400.00	17,890.00	0.81
AU:AUSTRALIA	14,175.00	21,000.00	21,126.00	0.70
BR:BRAZIL	11,020.00	20,000.00	20,460.00	0.54
CZ:CZECH REPUBLIC	4,950.00	5,000.00	5,130.00	0.24
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL -->	2,022,659.06	3,056,509.00	3,125,981.89	100

En la tabla E.3 se muestra un reporte de exportaciones de Sulfato de Cobre por Subpartida Nacional / País destino 2 001, así mismo en las tablas E.4 para el 2 002, en tabla E.5 para el 2 003, en la tabla E.6 para el 2 004, en la tabla E.7 para el 2 005 y en la tabla E.8 para el 2 006.

Tabla E.3 Reporte de exportaciones por subpartida nacional/pais destino 2 001
Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

Pais Destino	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
US:UNITED STATES	1,313,623.80	2,158,260.34	2,217,266.86	48.86
CA:CANADA	449,873.92	722,326.86	735,066.46	16.73
CO:COLOMBIA	186,652.81	301,690.00	309,375.00	6.94
EC:ECUADOR	135,919.50	220,000.00	224,495.00	5.05
VE:VENEZUELA	122,625.13	228,000.00	233,156.80	4.56
AR:ARGENTINA	91,900.00	100,000.00	102,660.00	3.41
IT:ITALY	55,000.00	60,000.00	61,460.00	2.04
BR:BRAZIL	42,060.00	72,000.00	73,523.00	1.56
DO:DOMINICAN REPUBLIC	41,310.26	62,000.00	63,458.00	1.53
AU:AUSTRALIA	39,480.00	63,000.00	63,356.00	1.46
DK:DENMARK	38,400.00	40,000.00	41,040.00	1.42
BO:BOLIVIA	37,078.00	55,080.00	55,565.10	1.37
GB:UNITED KINGDOM	32,700.00	35,000.00	35,922.50	1.21
DE:GERMANY	18,400.00	20,000.00	20,520.00	0.68
NL:NETHERLANDS	17,500.00	20,000.00	20,500.00	0.65
ES:SPAIN	17,132.06	20,020.00	20,724.00	0.63
NZ:NEW ZEALAND	15,120.00	24,000.00	24,340.00	0.56
GT:GUATEMALA	12,115.00	21,000.00	21,501.00	0.45
HN:HONDURAS	10,720.00	20,000.00	20,468.00	0.39
CR:COSTA RICA	6,000.00	9,985.00	9,985.00	0.22
NI:NICARAGUA	3,134.82	4,930.00	4,976.00	0.11
PA:PANAMA	1,320.00	2,000.00	2,070.00	0.04
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL -->	2,688,065.30	4,259,292.20	4,361,428.72	100

Tabla E.4 Reporte de Exportaciones por subpartida nacional/pais Destino 2 002
Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

Pais Destino	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
US:UNITED STATES	1,126,221.96	1,835,666.00	1,889,165.00	43.29
CA:CANADA	688,780.97	1,073,063.00	1,097,210.00	26.47
VE:VENEZUELA	174,430.00	285,000.00	291,590.00	6.70
DK:DENMARK	85,944.00	94,000.00	95,930.00	3.30
AU:AUSTRALIA	84,120.00	134,900.00	135,510.00	3.23
EC:ECUADOR	69,733.20	120,500.00	122,848.44	2.68
BO:BOLIVIA	55,517.55	92,900.00	93,376.70	2.13
CU:CUBA	49,040.00	80,000.00	82,350.00	1.88
DO:DOMINICAN REPUBLIC	43,320.00	68,000.00	69,740.00	1.66
GB:UNITED KINGDOM	36,400.00	40,000.00	41,090.00	1.39
DE:GERMANY	34,944.00	38,000.00	38,810.00	1.34
CO:COLOMBIA	29,680.80	47,000.00	47,860.00	1.14
ES:SPAIN	24,124.51	35,558.00	36,860.96	0.92
BR:BRAZIL	22,400.00	40,000.00	40,936.00	0.86
NL:NETHERLANDS	18,000.00	20,000.00	20,650.00	0.69
IT:ITALY	18,000.00	20,000.00	20,530.00	0.69
SV:EL SALVADOR	14,520.00	24,000.00	24,550.00	0.55
GT:GUATEMALA	10,695.00	20,000.00	20,464.00	0.41
CR:COSTA RICA	8,910.00	15,000.00	15,202.50	0.34
HN:HONDURAS	6,714.00	10,000.00	10,018.00	0.25
CL:CHILE	50.00	10.00	12.60	0.00
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL ->	2,601,545.99	4,093,597.00	4,194,704.20	100

Tabla E.5 Reporte de exportaciones por subpartida nacional/país destino 2 003
Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

País Destino	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
US: UNITED STATES	1,382,293.04	1,504,792.57	1,549,476.99	55.86
PT: PORTUGAL	289,816.70	344,000.00	353,160.00	11.71
CA: CANADA	247,176.42	367,452.00	376,400.00	9.99
EC: ECUADOR	98,690.00	149,000.00	152,670.00	3.98
BO: BOLIVIA	90,883.50	153,450.00	153,840.70	3.67
AU: AUSTRALIA	62,160.00	96,000.00	96,350.00	2.51
DO: DOMINICAN REPUBLIC	43,264.00	68,000.00	69,650.00	1.74
CR: COSTA RICA	43,215.16	69,950.00	70,190.00	1.74
DK: DENMARK	34,560.00	36,000.00	37,020.00	1.39
CU: CUBA	27,680.00	44,000.00	45,120.00	1.11
GB: UNITED KINGDOM	26,127.64	27,756.00	28,650.00	1.05
CO: COLOMBIA	22,340.70	29,355.00	29,947.80	0.90
IT: ITALY	20,800.00	20,000.00	20,460.00	0.84
AR: ARGENTINA	18,200.00	20,000.00	20,510.00	0.73
DE: GERMANY	17,100.00	18,000.00	18,370.00	0.69
NL: NETHERLANDS	17,100.00	18,000.00	18,300.00	0.69
BE: BELGIUM	16,910.00	17,800.00	18,240.00	0.68
NI: NICARAGUA	11,500.00	20,000.00	20,085.00	0.46
HN: HONDURAS	1,690.19	2,990.00	2,990.00	0.06
PA: PANAMA	1,320.00	2,000.00	2,050.00	0.05
GT: GUATEMALA	1,230.96	2,000.00	2,007.61	0.04
ES: SPAIN	116.36	120.00	123.00	0.00
CL: CHILE	6.90	69.00	95.47	0.00
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL -->	2,474,181.57	3,010,734.57	3,085,706.58	100

Tabla E.6 Reporte de exportaciones por subpartida nacional/pais destino 2 004
Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

País Destino	Valor FOB— (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
US:UNITED STATES	724,281.83	799,683.69	819,080.00	28.17
PT:PORTUGAL	408,368.53	360,000.00	369,675.00	15.88
CA:CANADA	348,316.79	366,213.51	375,470.00	13.55
EC:ECUADOR	315,321.90	352,600.00	356,528.65	12.26
DK:DENMARK	188,124.00	144,800.00	148,540.00	7.31
BR:BRAZIL	93,290.00	65,000.00	66,905.00	3.62
ES:SPAIN	90,652.06	96,000.00	98,470.00	3.52
AU:AUSTRALIA	65,088.00	72,000.00	72,430.00	2.53
IT:ITALY	51,550.00	40,500.00	41,620.00	2.00
CO:COLOMBIA	51,243.45	64,000.00	65,517.00	1.99
AR:ARGENTINA	49,600.00	40,000.00	40,910.00	1.92
BO:BOLIVIA	47,292.20	58,600.00	59,106.65	1.83
GR:GREECE	40,050.00	45,000.00	46,150.00	1.55
VE:VENEZUELA	27,973.44	31,880.00	32,470.00	1.08
GB:UNITED KINGDOM	26,700.00	20,000.00	20,662.50	1.03
NI:NICARAGUA	23,072.28	27,560.00	27,660.00	0.89
DE:GERMANY	9,941.22	8,500.00	8,739.26	0.38
HN:HONDURAS	4,997.14	9,083.47	9,094.90	0.19
SV:EL SALVADOR	4,591.05	5,000.00	5,008.92	0.17
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL -->	2,570,453.89	2,606,420.68	2,664,037.89	100

Tabla E.7 Reporte de exportaciones por subpartida nacional/país destino 2 005

Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

País Destino	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
US:UNITED STATES	902,271.37	867,270.94	890,625.00	30.95
CA:CANADA	429,445.69	380,822.91	388,600.00	14.73
EC:ECUADOR	287,795.50	275,500.00	279,534.00	9.87
ES:SPAIN	273,816.81	264,988.00	272,320.54	9.39
PT:PORTUGAL	216,968.83	181,000.00	185,525.38	7.44
DK:DENMARK	134,280.00	90,000.00	91,805.00	4.60
BO:BOLIVIA	116,046.09	118,642.00	119,921.70	3.98
GR:GREECE	77,175.00	67,500.00	69,000.00	2.64
CO:COLOMBIA	76,121.49	86,250.00	88,453.96	2.61
AR:ARGENTINA	72,650.00	60,000.00	61,450.00	2.49
BE:BELGIUM	55,132.00	35,800.00	36,460.00	1.89
DO:DOMINICAN REPUBLIC	54,870.98	54,000.00	55,279.42	1.88
CU:CUBA	48,000.00	48,000.00	48,950.00	1.64
BR:BRAZIL	43,500.00	30,000.00	30,730.00	1.49
GT:GUATEMALA	41,458.55	44,650.00	44,939.50	1.42
GB:UNITED KINGDOM	33,165.97	22,000.00	22,598.75	1.13
NI:NICARAGUA	18,625.02	20,000.00	20,072.77	0.63
<u>VE:VENEZUELA</u>	18,400.00	20,000.00	20,378.00	0.63
IE:IRELAND	8,570.70	9,000.00	9,130.00	0.29
HN:HONDURAS	6,432.41	7,000.00	7,000.00	0.22
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL -->	2,914,726.41	2,682,423.86	2,742,774.05	100

Tabla E.8 Reporte de exportaciones por subpartida nacional/país destino hasta el mes de Julio del 2 006

Subpartida Nacional: 2833.25.00.00 SULFATO DE COBRE.

País Destino	Valor FOB (Dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto (Kilos)	Porcentaje FOB
CL:CHILE	8,887,703.31	6,673,440.00	6,682,703.00	80.03
US:UNITED STATES	567,936.02	392,812.67	402,621.00	5.11
CA:CANADA	355,970.29	232,616.58	237,790.00	3.20
BO:BOLIVIA	257,100.00	165,000.00	168,000.00	2.31
EC:ECUADOR	235,080.00	133,460.00	134,910.00	2.11
ES:SPAIN	193,050.72	118,000.00	121,112.00	1.73
VE:VENEZUELA	187,830.72	96,000.00	98,040.00	1.69
DK:DENMARK	141,840.00	72,000.00	73,670.00	1.27
DO:DOMINICAN REPUBLIC	113,651.44	66,600.00	68,062.00	1.02
GB:UNITED KINGDOM	52,350.00	32,000.00	32,882.00	0.47
GT:GUATEMALA	46,500.00	20,000.00	20,425.00	0.41
CO:COLOMBIA	44,744.35	40,000.00	40,848.00	0.40
AR:ARGENTINA	19,400.00	10,000.00	10,200.00	0.17
PA:PANAMA	1,730.00	1,000.00	1,020.00	0.01
LOS DEMAS	0.00	0.00	0.00	
TOTAL -->	11,104,886.85	8,052,929.25	8,092,283.00	100