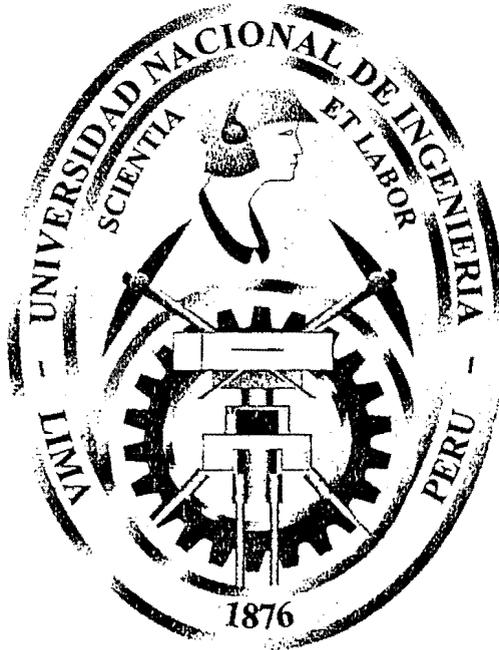


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**ESTUDIO TÉCNICO – ECONOMICO PARA LA  
INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN  
DE OXIDOS DE COBRE**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de :  
INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTADO POR**

**Elizabeth Manuela Blas Valverde  
Jessica Elizabeth Palomino Guevara**

**LIMA – PERU  
2001**

**Agradecemos a nuestros padres,**

Por inculcarnos siempre un deseo de superación constante y haber hecho posible que lográramos culminar nuestros estudios universitarios; a base de años de sacrificio, apoyo y comprensión de su parte. Para Uds. es todo nuestro cariño, nuestros esfuerzos y logros.

**Agradecemos a PROCOBRE PERU,**

Por haber creído en los futuros profesionales del Perú al convocar al Primer Concurso de Tesis sobre Usos del Cobre; gracias por haber creído en nosotras y en la Universidad Nacional de Ingeniería al elegir nuestro proyecto de tesis como uno de los ganadores.

Su respaldo hizo posible el desarrollo de este trabajo de tesis.

**Agradecemos a nuestro asesor,**

Quien nos dio la idea de presentarnos en el concurso de tesis organizado por  
PROCOBRE,  
gracias por su apoyo no sólo en el desarrollo de la presente tesis, sino en general;  
gracias también por sus consejos y enseñanzas.

**Agradecemos al Sr. Rector de la Universidad Nacional de Ingeniería**

Por habernos brindado su respaldo ante PROCOBRE PERU para realizar este trabajo de tesis.

**Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera de la  
Universidad Nacional de Ingeniería**

Por habernos brindado las facilidades del caso, para realizar nuestras pruebas en las  
instalaciones de la Facultad.

**Agradecemos al Personal del Laboratorio 21 y 23**

Por su apoyo en la realización de nuestras pruebas.

## INDICE

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA MATERIA PRIMA</b>	
<b>3.1 Materia Prima.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1 Estudio de la Materia Prima.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1.1 Sulfato de Cobre.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1.2 Hidróxido de Sodio.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1.3 Glucosa Monohidratada.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.1.4 Clorhidrato de Hidroxilamina.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.2 Provisión de Materia Prima.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.2.1 Sulfato de Cobre Pentahidratado.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1.2.2 Hidróxido de Sodio.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2.3 Glucosa Monohidratada.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2.4 Clorhidrato de Hidroxilamina.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.3 Estudio de Mercado de la Materia Prima.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1.3.1 Sulfato de Cobre.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.3.2 Hidróxido de Sodio.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.3.3 Glucosa Monohidratada.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.3.4 Clorhidrato de Hidroxilamina.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.4 Importación y Exportación.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.4.1 Sulfato de Cobre.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.4.2 Hidróxido de Sodio.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.4.3 Glucosa Monohidratada.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.4.4 Clorhidrato de Hidroxilamina.....</b>	<b>14</b>

<b>4. ESTUDIO DEL PRODUCTO</b>	
<b>4.1 Concepción del Proyecto</b> .....	15
<b>4.2 Propiedades de los Productos</b> .....	15
<b>4.2.1 Oxido Cúprico</b> .....	15
<b>4.2.2 Oxido Cuproso</b> .....	16
<b>4.2.3 Sulfato de Sodio</b> .....	16
<b>4.3 Procesos de Obtención</b> .....	17
<b>4.3.1 Proceso de Obtención de los Oxidos de Cobre formando</b> <b>Hidróxido de Cobre</b> .....	17
<b>4.3.2 Obtención del Oxido Cuproso a Baja Temperatura</b> .....	17
<b>4.3.3 Por Calcinación directa del Sulfato de Cobre</b> .....	18
<b>4.3.4 Otros métodos de Obtención de Oxidos de Cobre</b> .....	18
<b>4.3.4.1 Método Electrolítico</b> .....	18
<b>4.3.4.2 A Partir de la Mata de Cobre de los Convertidores</b> .....	19
<b>4.3.4.3 Por Lixiviación con Amoníaco</b> .....	19
<b>4.3.4.4 Nuevas Tecnologías en Obtención de Óxidos de</b> <b>Cobre</b> .....	19
<b>4.4 Elección del Método de Producción</b> .....	22
<b>4.5 Usos de los Productos</b> .....	22
<b>4.5.1 Oxido Cúprico</b> .....	22
<b>4.5.2 Oxido Cuproso</b> .....	23
<b>4.5.3 Sulfato de Sodio</b> .....	24
<b>4.6 Estudio de Mercado</b> .....	25
<b>4.6.1 Mercado del Producto</b> .....	25
<b>4.6.1.1 Oxido Cúprico</b> .....	25



<b>5.1.2.2</b> Obtención de Oxido Cuproso.....	58
<b>5.1.2.3</b> Obtención del Sulfato de Sodio.....	60
<b>5.2</b> Parámetros a evaluar.....	60
<b>5.3</b> Requerimientos de insumos y servicios.....	62
<b>6. PROCESO DE OBTENCIÓN A NIVEL PILOTO</b>	
<b>6.1</b> Tratamiento de la Materia Prima.....	63
<b>6.2</b> Descripción del Proceso a Nivel piloto.....	63
<b>6.2.1</b> Obtención de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico .....	63
<b>6.2.1.1</b> Observaciones de las Pruebas Realizadas para obtención de Óxido Cúprico.....	66
<b>6.2.2</b> Obtención de Oxido Cuproso por Precipitación de Hidróxido Cuproso y Calentamiento utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como reductor.....	67
<b>6.2.2.1</b> Observaciones de las Pruebas realizadas para obtener Oxido Cuproso.....	70
<b>6.2.3</b> Obtención de Oxido Cuproso por Precipitación de Hidróxido Cuproso y Calentamiento Utilizando Glucosa Monohidratada como reductor.....	71
<b>6.2.4</b> Obtención de Óxido Cuproso por Reacción a Baja Temperatura.....	72
<b>6.2.4.1</b> Observaciones de las Pruebas realizadas para obtener Óxido Cuproso.....	75
<b>6.3</b> Equipos Utilizados en las Pruebas Piloto.....	75
<b>6.3.1</b> Reactor de Vidrio con Calentamiento por Resistencias eléctricas.....	76
<b>6.3.2</b> Reactor Enchaquetado de Acero Inoxidable.....	76

<b>6.3.3</b> Filtro al Vacío.....	77
<b>6.3.4</b> Equipo de Enfriamiento.....	77
<b>7. DISEÑO DE PLANTA</b>	
<b>7.1</b> Tamaño de Planta.....	78
<b>7.1.1</b> Demanda del Producto.....	78
<b>7.1.2</b> Disposición de la Materia Prima.....	78
<b>7.1.3</b> Tecnología.....	79
<b>7.1.4</b> Capacidad Financiera.....	79
<b>7.1.5</b> Producción Establecida.....	79
<b>7.2</b> Diseño de los Equipo, Selección y Especificaciones.....	80
<b>7.2.1</b> Reactor de Mezcla Completa.....	80
<b>7.2.2</b> Filtro Prensa.....	83
<b>7.2.3</b> Secador Rotatorio.....	84
<b>7.2.4</b> Molino de Bolas.....	86
<b>7.2.5</b> Tamiz.....	87
<b>7.2.5.1</b> Superficie Tamizadora.....	87
<b>7.2.5.2</b> Tamiz de Oscilación (vaivén).....	88
<b>7.2.5.3</b> Tamices Rotatorio.....	89
<b>7.2.5.4</b> Tamices de Barra Giratoria.....	89
<b>7.2.6</b> Ciclón.....	91
<b>7.3</b> Balance de Materia y energía y Distribución de los Equipos.....	93
<b>7.3.1</b> Diagrama de Flujo y Balance de Masa para la Obtención de Óxido Cuproso.....	94
<b>7.3.2</b> Diagrama de Flujo y Balance de Masa para la Obtención de Óxido Cúprico.....	95

<b>7.3.3</b>	Diagrama de Flujo y Balance de Energía para la Obtención de Óxido Cuproso.....	96
<b>7.3.4</b>	Diagrama de Flujo y Balance de Energía Planta para la Obtención de Óxido Cúprico.....	97
<b>7.3.5</b>	Simbología y Nomenclatura de los Equipos en los Diagramas de Flujo.....	98
<b>7.3.5.1</b>	Simbología.....	98
<b>7.3.5.2</b>	Nomenclatura de los Equipos.....	98
<b>7.4</b>	Distribución de la Planta.....	100
<b>7.5</b>	Ubicación de la Planta.....	101
<b>8.</b>	<b>ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN</b>	
<b>8.1</b>	Requerimiento de Personal.....	103
<b>8.2</b>	Organización Funcional.....	104
<b>9.</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>	
<b>9.1</b>	Inversión Fija.....	105
<b>9.2</b>	Costo de Producción de los Oxidos.....	107
<b>9.3</b>	Precio de Venta del Producto.....	110
<b>9.4</b>	Capital de Trabajo.....	111
<b>9.5</b>	Cronograma de Inversión.....	113
<b>10.</b>	<b>FINANCIAMIENTO</b>	
<b>10.1</b>	Financiamiento de la Inversión Fija.....	114
<b>10.2</b>	Financiamiento del Capital de Trabajo.....	114
<b>10.3</b>	Interés y Determinación de Amortizaciones.....	114
<b>10.4</b>	Estados Económicos y Financieros Proyectados.....	115
<b>10.4.1</b>	Estados de Ganancias y Pérdidas.....	115

<b>10.4.2</b>	Flujo de Caja Proyectado Económico Financiera.....	117
<b>10.4.3</b>	Estados Financieros Proyectados.....	119
<b>10.4.4</b>	Servicio de la Deuda.....	121
<b>11.</b>	<b>CRITERIOS DE LA EVALUACIÓN</b>	
<b>11.1</b>	Criterio de Evaluación Económica Financiera.....	122
<b>11.2</b>	Valor Presente Neto (VPN).....	122
<b>11.3</b>	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	123
<b>11.4</b>	Relación Beneficio Costo (B/C).....	124
<b>11.5</b>	Periodo de Recuperación (PR).....	125
<b>11.6</b>	Indice de Valor Presente (IVP).....	126
<b>12.</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGO E INCERTIDUMBRE</b> .....	127
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	138
<b>14.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	141
<b>15.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	142
<b>16.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	144
<b>16.1</b>	<b>ANEXO A: Propiedades de los Compuestos</b> .....	145
<b>16.2</b>	<b>ANEXO B: Composición de la Materia Prima</b> .....	146
<b>16.2.1</b>	<b>Especificaciones de la Materia Prima</b> .....	146
<b>16.2.1.1</b>	<b>Sulfato de Cobre Pentahidratado</b> .....	146
<b>16.2.1.2</b>	<b>Hidróxido de Sodio</b> .....	149
<b>16.2.1.3</b>	<b>Glucosa Monohidratada</b> .....	150
<b>16.2.2</b>	<b>Especificaciones de los Productos</b> .....	151
<b>16.2.2.1</b>	<b>Óxido Cúprico</b> .....	151
<b>16.2.2.2</b>	<b>Óxido Cuproso</b> .....	152
<b>16.2.2.3</b>	<b>Sulfato de Sodio</b> .....	153



Óxido Cuproso.....	170
<b>16.5.4.2</b> Requerimiento de Calor en el Reactor para Producir	
Óxido Cúprico.....	171
<b>16.5.5</b> Cálculo del Área de Transferencia en la Chaqueta del Reactor	
Agitado.....	172
<b>16.6</b> ANEXO F: Cálculo del Área de Filtrado.....	173
<b>16.6.1</b> Cálculo del Área de Filtrado Necesaria para el Óxido Cuproso.....	173
<b>16.6.2</b> Cálculo del Área de Filtrado Necesaria para el Óxido Cúprico.....	176
<b>16.7</b> ANEXO G: Cálculo de las Dimensiones del Secador.....	179
<b>16.7.1</b> Diseño de Secador para el Óxido Cuproso.....	179
<b>16.7.2</b> Diseño del Secador para el Óxido Cúprico.....	182
<b>16.8</b> ANEXO H: Diseño del Molino.....	185
<b>16.8.1</b> Diseño del Molino para Reducción de Tamaño del Óxido	
Cuproso.....	185
<b>16.8.2</b> Diseño del Molino para Reducción de Tamaño del Óxido Cúprico	190
<b>16.9</b> ANEXO I: Diseño del Tamiz.....	195
<b>16.10</b> ANEXO J: Diseño del Ciclón para la Salida de Aire del Secador.....	197
<b>16.10.1</b> Ciclón para Recuperar Partículas de Óxido Cuproso.....	197
<b>16.10.2</b> Ciclón para Recuperar Partículas de Óxido Cúprico.....	198
<b>16.11</b> ANEXO K: Cálculo de Requerimiento de Vapor y Potencia del	
Caldero.....	199
<b>16.11.1</b> Requerimiento de Vapor y Potencia de Caldero en la	
Obtención de Óxido Cuproso.....	199
<b>16.11.2</b> Requerimiento de Vapor y Potencia de Caldero en la	
Obtención de Óxido Cúprico.....	200

<b>16.12 ANEXO L: Carta Psicrométrica del Sistema Aire y Vapor de Agua.....</b>	<b>201</b>
<b>16.13 ANEXO M: Fotografías de las Pruebas de Laboratorio Realizadas.....</b>	<b>202</b>
<b>16.13.1 Obtención de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico.....</b>	<b>202</b>
<b>16.13.2 Obtención de Óxido Cuproso por Utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como Reductor.....</b>	<b>203</b>
<b>16.13.3 Obtención de Óxido Cuproso por Utilizando Glucosa Monohidratada como Reductor.....</b>	<b>204</b>
<b>16.13.4 Obtención de Óxido Cuproso por Reacción a Bajas Temperaturas.....</b>	<b>205</b>
<b>16.13.5 Obtención de Óxido Cúprico por Calcinación de Sulfato de Sodio Pentahidratado.....</b>	<b>206</b>
<b>16.14 ANEXO N: Fotografías de los Equipos Utilizados en las Pruebas a Nivel de Planta Piloto.....</b>	<b>207</b>
<b>16.15 ANEXO Ñ: Fotografías de las Pruebas Realizadas a Nivel de Planta Piloto.....</b>	<b>209</b>
<b>16.15.1 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico y Calentamiento.....</b>	<b>209</b>
<b>16.15.2 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cuproso Utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como Agente Reductor.....</b>	<b>210</b>
<b>16.15.3 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cuproso Utilizando Glucosa Monohidratada como Agente Reductor.....</b>	<b>211</b>
<b>16.15.4 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cuproso por Precipitación a Bajas Temperaturas.....</b>	<b>212</b>

## **1. RESUMEN**

El presente trabajo pretende establecer un proceso de producción adecuado para la obtención de los óxidos de cobre de una manera rentable, para esto se realizaron pruebas de laboratorio utilizando ciertas técnicas (propuestas), con el fin de establecer el método más apropiado para realizar el proceso de obtención. La materia prima seleccionada es el sulfato de cobre pentahidratado, se escogió este compuesto debido a que es un subproducto obtenido en grandes cantidades en las refineries de producción de cobre electrolítico.

Con los datos de laboratorio, tomados como referencia, se realizaron pruebas a nivel de Planta Piloto para perfeccionar las técnicas en un proceso de mayor escala y finalmente escalar a nivel comercial los equipos necesarios. Para concluir el proyecto se seleccionaron y diseñaron los equipos necesarios, desarrollándose luego la evaluación económica-financiera para determinar el nivel de rentabilidad del proyecto de planta comercial.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de tesis pretende establecer un procedimiento para la producción de los óxidos de cobre (tanto óxido cúprico como óxido cuproso) utilizando el sulfato de cobre pentahidratado como materia prima principal. En este proyecto se han desarrollado las siguientes etapas: pruebas de laboratorio, pruebas a nivel de planta piloto, diseño de equipos y estudio económico.

En la etapa de pruebas de laboratorio se estableció la relación de reactantes que favorece la obtención de los óxidos de cobre, así como la temperatura ideal para una reacción completa que haga máximo el rendimiento. Los reactantes utilizados para obtener el óxido cúprico son el sulfato de cobre pentahidratado (mencionado en el párrafo anterior) y el hidróxido de sodio, en el caso de la obtención del óxido cuproso los reactantes son los mismos pero se utiliza además un agente reductor (se realizaron pruebas con dos agentes reductores: el clorhidrato de hidroxilamina y la glucosa monohidratada).

En la etapa de pruebas a nivel de planta piloto, se utilizó la relación de reactantes establecida en la etapa anterior, así como las condiciones de temperatura y presión determinadas en dicha etapa; todo esto con el fin de verificar a mayor escala los resultados obtenidos inicialmente, lo cual reducirá el margen de error al utilizar dichos resultados en el diseño de equipos a nivel industrial.

La siguiente etapa en el desarrollo de este proyecto es el diseño de los equipos necesarios para producir los óxidos de cobre a nivel industrial, para lo cual se estableció un flujo de producción de acuerdo al estudio de mercado realizado acerca de estos productos en nuestro país.

La etapa final comprende el estudio económico, el cual determina el nivel de rentabilidad de este proyecto. En este aspecto los resultados conseguidos fueron positivos ya que para el tiempo de vida asignado al proyecto y a las condiciones de producción y costos, el proyecto genera resultados favorables en todos los indicadores de rentabilidad.

En esta tesis puede encontrarse información importante sobre los óxidos de cobre, cuya producción en nuestro país no es muy grande, pero que resultan ser productos interesantes en el mercado nacional e internacional y para los cuales se proyectan nuevos usos, además de los más conocidos (como agentes antiincrustantes para pinturas marinas y como fungicidas). Por tanto esperamos que la información contenida en esta tesis sirva de base para el desarrollo de la industria nacional del cobre, lo cual es el objetivo principal de esta tesis desde su concepción.

### **3. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA MATERIA PRIMA**

#### **3.1. Materia Prima.-**

##### **3.1.1. Estudio de la Materia Prima.-**

###### **3.1.1.1. Sulfato de Cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ .-**

El sulfato de cobre pentahidratado es un subproducto muy importante en cantidad, producido en todas las refinerías de producción de cobre electrolítico. El sulfato cristaliza como pentahidratado, en cristales triclinicos, grandes y azules. De las 5 moles de agua, 4 están ligadas por uniones complejas al cobre y la quinta está unida al ion sulfato. La constitución interna de la sal corresponde, por tanto, a la de la tetramina azul. El sulfato cúprico es materia prima para la mayoría de las demás combinaciones de cobre, así como para el cobreado electrolítico. Produce sales mixtas con muchos compuestos, p. ej.: de magnesio, cinc, níquel, cobalto y especialmente con hierro II. Los metales poco nobles, como cinc, lo precipitan de sus soluciones, lo que se aprovecha para la separación del metal de sus minerales.

###### **3.1.1.2. Hidróxido de Sodio ( $\text{NaOH}$ ).-**

El hidróxido sódico, peso mol 40.01, es un sólido blanco deliquescente, que quema la piel, de donde le vino el nombre de sosa cáustica con que generalmente se conoce en la industria. Es muy soluble en agua y fuertemente alcalino; su punto de fusión es de  $318.4^\circ\text{C}$ ; su punto de ebullición de  $1390^\circ\text{C}$ ; su densidad a  $20^\circ\text{C}$  es de  $2,130 \text{ g/cm}^3$ ; su calor de fusión de  $40 \text{ cal/g}$ .

### **3.1.1.3. Glucosa Monohidratada ( $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$ ).**-

Es la forma más comercial de la glucosa, que es el azúcar cristalina pura que se obtiene por la hidrólisis completa del almidón, recibe también el nombre de D-glucosa dextrosa, tiene un peso molecular de 198,16 g/mol. Su poder edulcorante es de 70% del de la sacarosa. La glucosa monohidratada se obtiene a partir de  $\alpha$ -glucosa en solución acuosa a temperaturas de hasta 50°C.

Su punto de fusión es de 80-85°C, se presenta en forma de cristales monoclinicos hemimórficos, a 25°C, el monohidrato de  $\alpha$ -glucosa se disuelve con bastante rapidez para dar una solución que contiene aproximadamente 30% de glucosa. La glucosa produce un efecto de reductor sobre soluciones alcalinas de cobre, plata, bismuto y otros metales. La acción de reducción de los azúcares no procede con precisión cuantitativa; la reducción raramente es completa, y la cantidad de metal reducido varía con las condiciones del experimento. Sin embargo en la práctica se controla el proceso de modo que el mismo peso de metal reducido es siempre obtenido por el mismo peso de azúcar.

### **3.1.1.4. Clorhidrato de Hidroxilamina ( $NH_2OH \cdot HCl$ ).**-

El clorhidrato de hidroxilamina ( $NH_2OH \cdot HCl$ ) es un sólido cristalino incoloro e higroscópico, tiene peso mol de 69,5. Se maneja comúnmente en forma de sus sales, mucho más estables que la base libre.

La hidroxilamina se usa como agente reductor, algunas de sus propiedades físicas son: puntos de fusión de 33 a 34°C; punto de ebullición de 56 a 57°C; su presión de vapor a 25°C es de 1,5 mmHg, es muy soluble en agua y en metanol. Es muy poco soluble en cloroformo, benceno, éter y acetato de etilo.

A las temperaturas ordinarias la hidroxilamina, tanto en el estado cristalino como en solución sufre descomposición lenta, que suele ser violenta a temperaturas más altas. Esta descomposición implica una oxidación-reducción y produce amoníaco, nitrógeno y óxido nitroso; por ello la hidroxilamina se maneja generalmente en la forma de una de sus sales ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ), que son muy estables en las condiciones ordinarias.

La hidroxilamina participa en muchas reacciones como agente reductor, puede reaccionar también como oxidante.

### **3.1.2. Provisión de la Materia Prima.-**

#### **3.1.2.1. Sulfato de Cobre $\text{CuSO}_4\cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ .-**

En nuestro país este producto se puede encontrar con relativa facilidad, ya que se produce en cantidades considerables en todas las refinerías de producción de cobre electrolítico y es uno de los principales productos de exportación del Perú.

En la ciudad de Lima se puede adquirir sulfato de cobre pentahidratado en las siguientes empresas: Sulfato de Cobre S.A., Sulfatos del Perú S.A., Servicios Mineros y Comerciales del Perú S.R.L., Doe Run del Perú S.R.L. e Inversiones Químicas E.I.R.L.; otro gran productor a nivel nacional es Southern Perú Corporation. Para efectos del desarrollo de la tesis se ha escogido como proveedor a la empresa Sulfato de Cobre S.A. Las especificaciones técnicas del sulfato de cobre usados para este proyecto se encuentran en el anexo B

### **3.1.2.2. Hidróxido de Sodio (NaOH).**

El hidróxido de sodio se puede adquirir prácticamente en cualquier empresa que produzca reactivos químicos; tales como, Quimpac, Baker Hughes International Branches, Mercantil S.A., Químicos Goicochea S.R.L., etc. En el presente proyecto el hidróxido de sodio usado es de la última empresa mencionada y las especificaciones respectivas se encuentran en el anexo B

### **3.1.2.3. Glucosa Monohidratada ( C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>.H<sub>2</sub>O ) .-**

La glucosa monohidratada se puede adquirir en Lima en la empresa DEMSA, entre otras que produzcan derivados del maíz.

### **3.1.2.4. Clorhidrato de Hidroxilamina (NH<sub>2</sub>OH.HCl).**

El clorhidrato de hidroxilamina y las otras sales de hidroxilamina no se comercializan en el Perú a nivel industrial, para contar con este reactante es necesario exportarlo desde Estados Unidos, España o Canadá. El clorhidrato de hidroxilamina usado en este caso fue de grado QP, es decir químicamente puro.

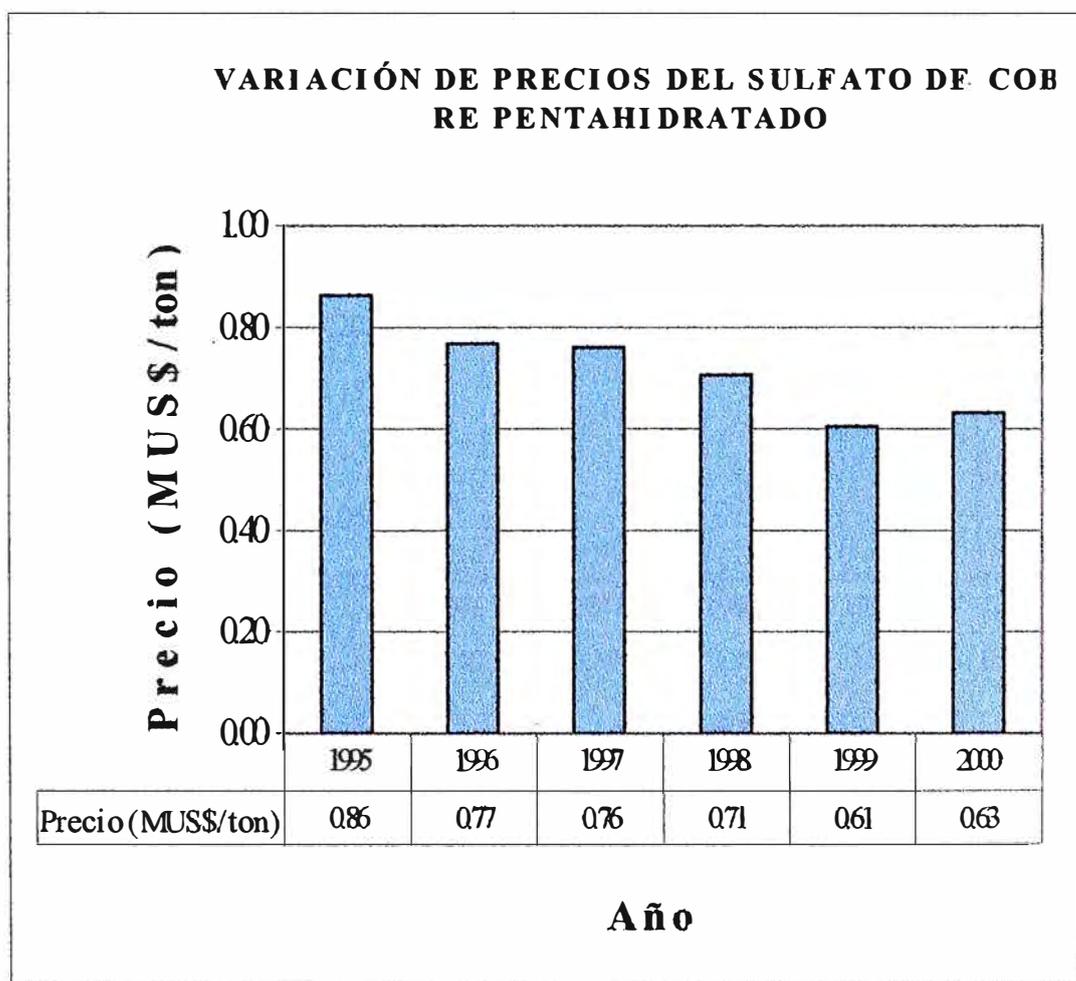
### **3.1.3. Estudio de Mercado de la Materia Prima.**

En esta parte se tratarán dos puntos principales: la variación del precio de la materia prima y el tipo de empresas que las producen en nuestro país.

### 3.1.3.1. Sulfato de Cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ .-

Es uno de los principales productos de exportación del Perú, se produce en grandes cantidades en el Perú. Las empresas que lo comercializan se pueden clasificar en dos grupos: las que se dedican exclusivamente a la producción de sulfato de cobre, una de las cuales ha sido considerada como proveedor en el presente proyecto (SULCOSA), y las que lo obtienen como producto secundario en el proceso de refinación del cobre electrolítico. Seguidamente se muestra la tendencia de variación del precio del sulfato de cobre en los últimos seis años, donde se puede notar que después de la caída del precio desde 1995 hasta 1999, este recién empieza a recuperarse en el año 2000.

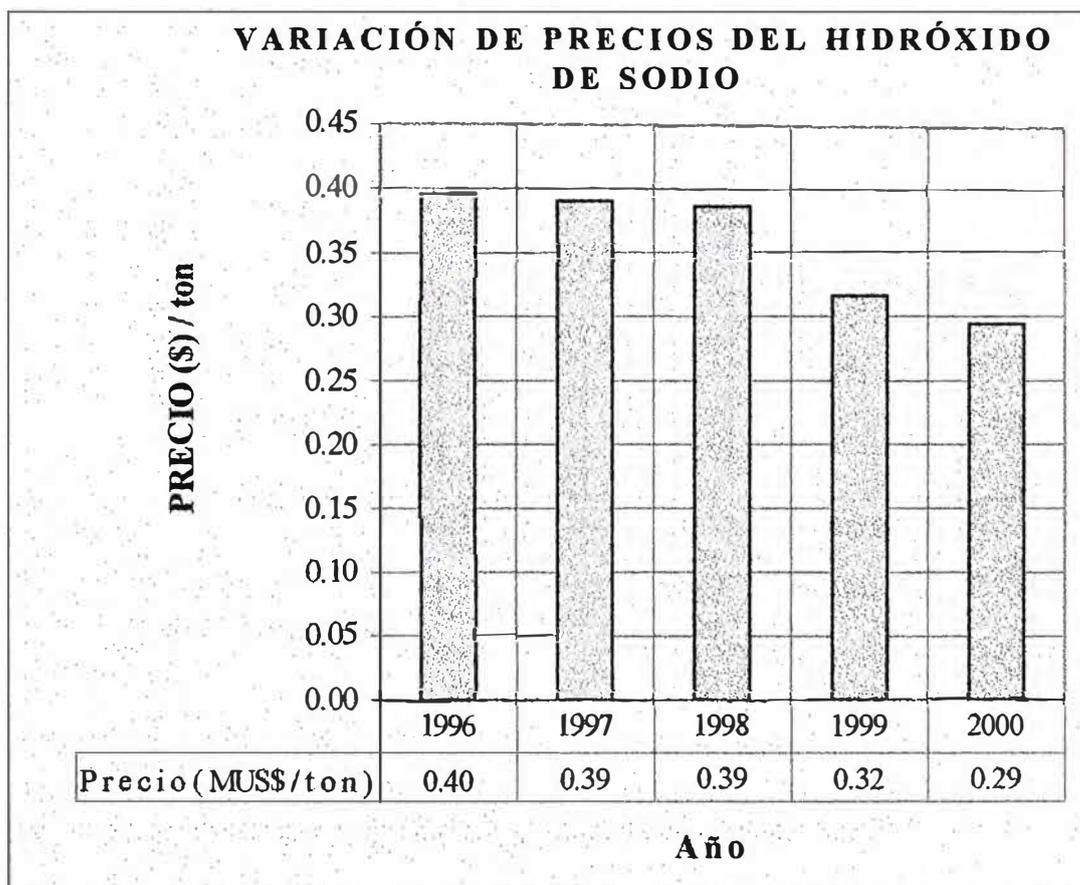
Gráfica N° 3.1



### 3.1.3.2. Hidróxido de Sodio (NaOH).-

En el caso del hidróxido de sodio, existen empresas nacionales de alta producción, siendo la más importante Química del Pacífico S.A. Se comercializa este producto con una pureza de 98% generalmente y en distintas presentaciones como son: en microperlas, escamas, polvo fino, líquido, etc. El hidróxido de sodio tiene una gran demanda debido a que es utilizado en la mayoría de plantas de elaboración de productos químicos, ya sea como reactivo o como insumo, en la realización de nuestras pruebas utilizamos el hidróxido de sodio en microperlas de grado técnico. La gráfica siguiente muestra la variación del precio en los últimos cinco años.

Gráfica N° 3.2

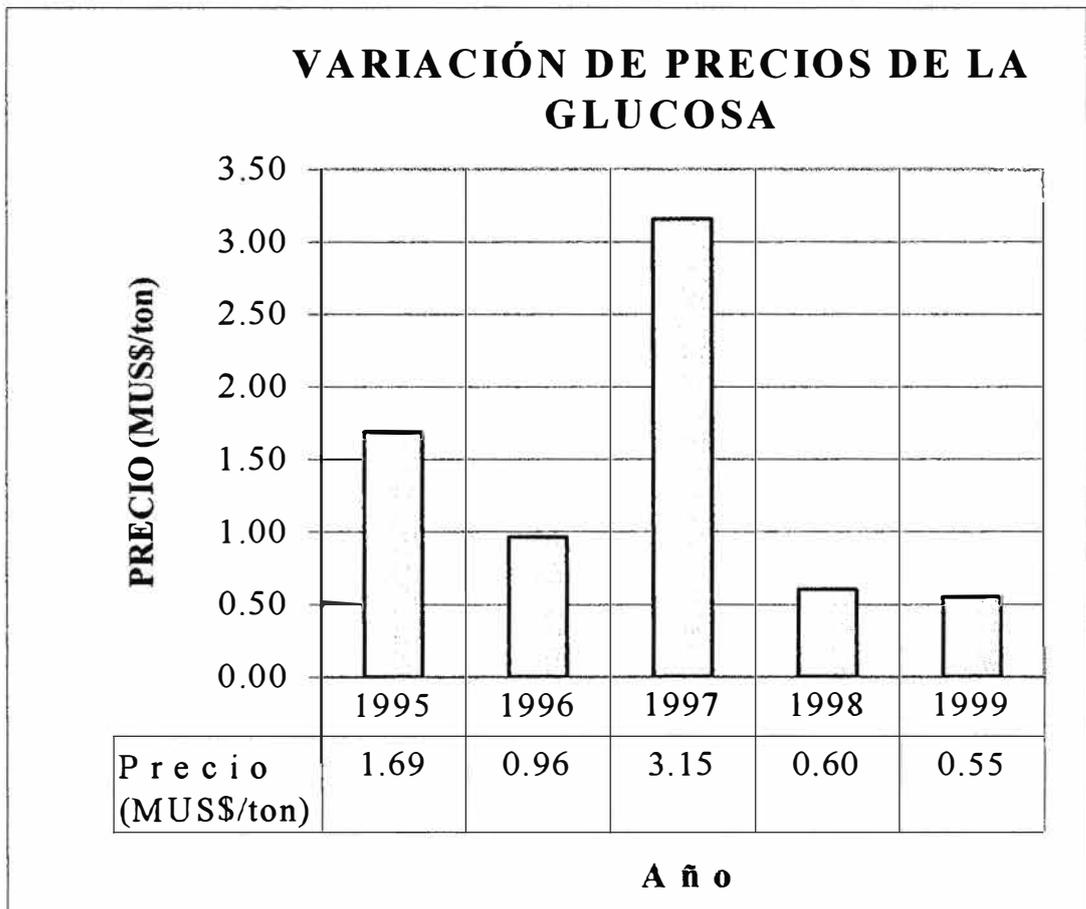


El Hidróxido de Sodio como se puede observar de la gráfica tiene una tendencia a disminuir de precio, la cual se acentúa en los últimos dos años.

### 3.1.3.3. Glucosa Monohidratada (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>.H<sub>2</sub>O).-

En el Perú existe producción nacional de glucosa monohidratada, hasta donde se conoce DEMSA S.A es la única empresa. La glucosa tiene su mayor demanda en las empresas productoras de dulces, ya que es el azúcar comercial más utilizada en la industria alimentaria. En el siguiente gráfico se muestra la tendencia del precio en los últimos cinco años:

Gráfica N° 3.3

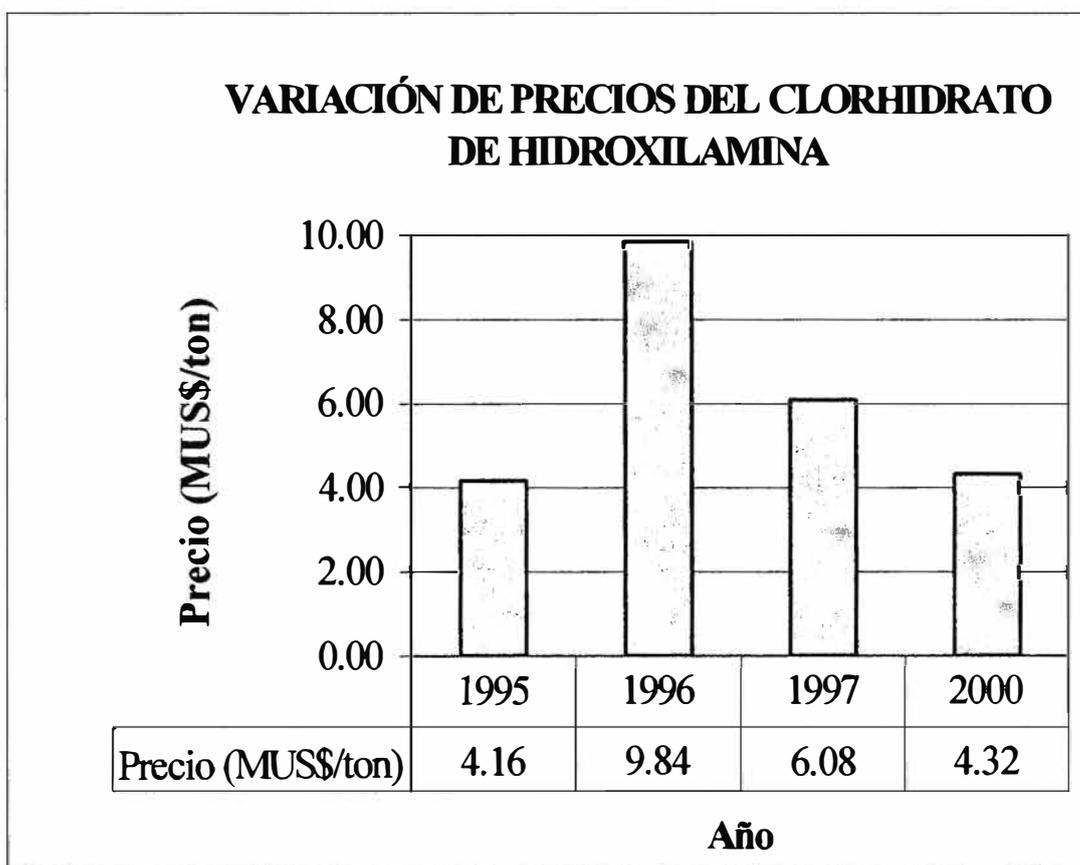


Se puede observar que el precio de la glucosa es bastante variable, siendo su tendencia en los dos últimos años a disminuir.

### 3.1.3.4. Clorhidrato de Hidroxilamina (NH<sub>2</sub>OH.HCl).-

Hasta donde se tiene conocimiento, no existe en el Perú ninguna empresa que produzca el clorhidrato de hidroxilamina, hidroxilamina, ni ninguna de sus sales afines. A continuación se muestra la variación del precio del clorhidrato de hidroxilamina en los últimos años

Gráfica N° 3.4



Se puede apreciar que el precio del clorhidrato, va disminuyendo en los últimos años, siendo esto más notorio en 1997.

### 3.1.4. Importación y Exportación.-

Debido a que no se cuenta con información sobre el consumo local de ninguno de estos productos, en esta sección se presentan las cifras de importación y exportación de los últimos cinco años. Estos datos fueron proporcionados por la Superintendencia Nacional de Aduanas.

#### 3.1.4.1. Sulfato de Cobre CuSO<sub>4</sub>.5 H<sub>2</sub>O.-

Las cifras de importación y exportación para este producto son:

**Tabla N° 3.1 Importación de Sulfato de Cobre Pentahidratado**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1996	83,00	1,09	1,45
1997	7 723,00	31,59	35,27
1998	697,00	7,80	8,36
1999	1 891,00	7,91	9,01
2000 (*)	502,00	1,85	2,19

**Tabla N° 3.2 Exportación de Sulfato de Cobre Pentahidratado**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Neto (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>
1996	1 980,82	2 029,01	1 578,26
1997	1 648,85	1 663,88	1 287,10
1998	2 484,00	2 509,19	2 548,77
1999	41,50	42,70	168,26
2000 (*)	7 708,69	7 840,71	5 963,42

(\*) Incluye información hasta el mes de Junio del 2000.

### 3.1.4.2. Hidróxido de Sodio (NaOH).-

Las cifras de importación y exportación para este producto son:

**Tabla N° 3.3 Importación de Hidróxido de Sodio**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1996	2 773,13	1 133,82	1 399,27
1997	3 282,79	924,14	1 171,06
1998	2 516,19	1 020,04	1 229,19
1999	2 944,89	1 062,66	1 358,02
2000 (*)	3 355,16	1 139,31	1 413,93

**Tabla N° 3.4 Exportación de Hidróxido de Sodio**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Neto (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>
1996	-	-	-
1997	12,76	12,92	5,59
1998	-	-	-
1999	468,00	479,44	185,61
2000 (*)	634,00	652,35	247,49

(\*) Incluye información hasta el mes de Junio del 2000.

### 3.1.4.3. Glucosa Monohidratada (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>.H<sub>2</sub>O).-

Las cifras de importación y exportación de la glucosa monohidratada son las siguientes:

**Tabla N° 3.5 Importación de Glucosa Monohidratada**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1996	25,00	33,95	42,19
1997	33110,00	34155,77	38337,10
1998	36660,00	14659,26	20963,10
1999	37450	17550,00	20171,46
<b>TOTAL</b>	<b>14,872,158</b>	<b>5,279,982</b>	<b>6,571,468</b>

**Tabla N° 3.6 Exportación de Glucosa Monohidratada**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Neto (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>
1999	3600,00	3764,000	4680,00
2000 (*)	2880,00	3032,67	3602,45

(\*) Incluye información hasta el mes de Junio del 2000.

**3.1.4.4. Clorhidrato de Hidroxilamina (NH<sub>2</sub>OH.HCl).**

En el caso del clorhidrato de hidroxilamina sólo se presentan cifras de importación.

**Tabla N° 3.7 Importación de Clorhidrato de Hidroxilamina**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1996	5 207	17 875	20 047
1997	4806	27351	29727
1998	11 865	48 562	53 356
1999	5 084	20 914	23 191
2000 (*)	5 446	26 583	28 830

(\*) Incluye información hasta el mes de Junio del 2000.

## **4. Estudio del Producto**

### **4.1 Concepción del Proyecto.-**

El motivo por el que se desea desarrollar un Estudio Técnico sobre la producción de Óxidos de Cobre, se debe a la posibilidad de producirlo, ya que en el país se cuenta con la materia prima principal que es el cobre, porque el precio del metal en el mercado internacional ha bajado, obligando a buscar nuevos usos para las materias primas que contienen dicho metal. Asimismo, existe un amplio uso que se puede dar a los compuestos de cobre en la industria. Además de la demanda que tienen estos productos en el país, esperándose cubrir la demanda Nacional, como la existente en otros países.

### **4.2 Propiedades de los Productos.-**

#### **4.2.1 Óxido Cúprico (CuO).-**

Se halla naturalmente como tenorita y melaconita, y junto con el protóxido entra en la composición de las bataduras de cobre. El mineral está cristalizado en el sistema triclínico, el producto artificial es un polvo débilmente higroscópico, entre pardo negruzco y negro, de punto de fusión superior a 1148°C. Es fácilmente reducido a metal por el hidrógeno a 250°C y por el óxido de carbono a 83-160°C y del mismo modo obran los vapores de alcohol metílico y de otras sustancias orgánicas. Es insoluble en el agua y en el amoniaco.

#### 4.2.2 Óxido Cuproso (Cu<sub>2</sub>O).-

Se encuentra en la naturaleza como cuprita, y artificialmente en las cenizas de cobre procedentes de las máquinas de laminar que lo contienen como componente principal (75%). En estado húmedo se oxida fácilmente en el aire dando óxido II. Es insoluble en agua y alcohol, es soluble en el amoníaco sin darle color. Obtenido artificialmente, el Cu<sub>2</sub>O es un polvo cristalino rojo carmín, hexaédrico o dodecaédrico, funde al calor, el HCl lo convierte en cloruro cuproso, el ácido nítrico frío al 10% lo descompone en cobre y nitrato cúprico.

#### 4.2.3 Sulfato de Sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).-

Su peso molecular es de 142.05, cuando está puro, es un sólido blanco. La calidad técnica se llama torta de sal, porque el método original para fabricarlo era la reacción de la sal común con ácido sulfúrico. El sulfato sódico anhidro, tenardita, forma cristales rómbicos bipiramidales, su densidad es 2.70 g/cc. A los 100°C se produce una transición a la estructura monoclinica, y a los 500°C cambia a la estructura hexagonal.

**Sal de Glauber** (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.10H<sub>2</sub>O), es blanco e incoloro, su peso molecular es de 322.21. La mayor parte de esta sal se obtiene de las fábricas de HCl por descomposición del cloruro de sodio por el ácido sulfúrico.

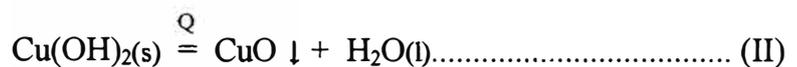
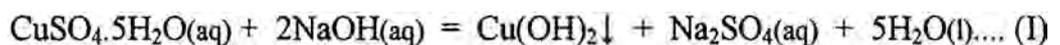
La solución de sulfato de sodio puede ser calentada hasta 50°C, clarificada en depósitos de sedimentación (si es conveniente se le adiciona lechada de cal), la solución clara se dejaría cristalizar en cristalizadores de hierro o madera forrados de plomo. Se deben formar cristales grandes, los cuales se secan a 25°C.

### 4.3 Procesos de Obtención.-

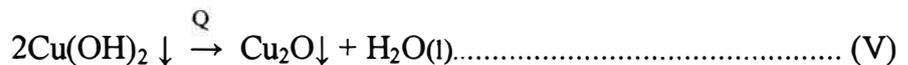
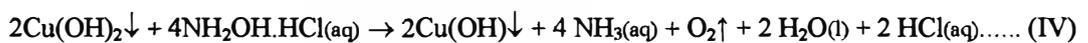
En este proyecto se estudiaron los siguientes dos métodos de obtención de los óxidos de cobre:

#### 4.3.1 Obtención de los Óxidos de Cobre Formando Hidróxido de Cobre:

Se usa una solución de sulfato de cobre que se hace reaccionar con una solución de hidróxido de sodio, la que da como producto un precipitado azul de hidróxido cúprico,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , insoluble en exceso moderado de reactivo y que se convierte, por ebullición a  $100^\circ\text{C}$ , en óxido cúprico negro. (Ref. 3)



Si se trata la solución alcalina con agentes reductores como son: hidroxilamina, hidrazina, glucosa o acetaldehído precipita de la solución caliente hidróxido cuproso amarillo que por ebullición, se convierte en óxido cuproso rojo (reacción (V)),  $\text{Cu}_2\text{O}$ . (Ref. 3)



#### 4.3.2 Obtención del Óxidos Cuproso a Bajas Temperaturas:

El óxido cuproso amarillo se puede fabricar mezclando una solución transparente, enfriada en hielo, sulfato de cobre en solución acuosa y clorhidrato de hidroxilamina en solución acuosa, añadiendo hielo se deja caer la solución de hidróxido de sodio en agua; precipita

entonces en el fondo el polvo amarillo ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) después de una hora se decanta, se lava con agua clorhídrica y después con alcohol y éter. (Ref. 6)

Las reacciones que ocurren por este método son las escritas anteriormente (III,IV y V), sólo que las dos primeras realizadas a  $5^\circ\text{C}$  y la última a temperatura ambiente.

#### **4.3.3. Por Calcificación Directa del Sulfato de Cobre:**

A pesar de que no se ha encontrado información específica sobre este método, se tiene información para otros metales. Es posible calcinar sulfato, aunque esta calcinación sea más difícil que la del carbonato. Las pruebas experimentales a realizar consideran una calcinación del sulfato a una temperatura que debe estar entre los  $900$  a  $1000^\circ\text{C}$ .



#### **4.3.4. Otros Métodos de Obtención:**

Estos métodos no son desarrollados en la tesis, pero se mencionan como referencia para el conocimiento de las demás técnicas utilizadas para obtener los óxidos de cobre:

##### **4.3.4.1 Método Electrolítico.-**

Los métodos electrolitos han sido durante mucho tiempo el principal procedimiento empleado para producir óxido cuproso destinado a la fabricación de pinturas y para aplicaciones agrícolas. El electrolito es una solución alcalina de cloruro de sodio. Los ánodos son de cobre refinado y los cátodos de lámina de cobre. El óxido cuproso se forma en el ánodo. El tamaño de las partículas del producto depende de la

temperatura, del pH y del tiempo de contacto del óxido depositado con el electrolito. Los tamaños finos son de color amarillo y los gruesos de color rojo oscuro, se prefieren las formas rojas para la fabricación de pintura y las amarillas para fungicidas.

#### **4.3.4.2 A Partir de la Mata de Cobre de los Convertidores.-**

Es conocido que en los convertidores se forman los óxidos materia de este proyecto ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Sin embargo, estos son muy impuros.

#### **4.3.4.3 Por Lixiviación con Amoníaco.-**

El óxido cúprico se obtiene también por lixiviación con amoníaco de minerales que contienen cobre elemental u óxidos de cobre; el proceso implica la oxidación indirecta del cobre por medio del oxígeno de la atmósfera. Una solución amoniacal de carbonato cúprico es el agente activo para el cobre metálico; se forma carbonato cuproso amoniacal en solución que se trata después soplando aire para volver a poner el cobre en el estado cúprico. Una parte de esta solución vuelve a pasarse por el ciclo. Se hierve el resto para expulsar el amoníaco y el dióxido de carbono.

#### **4.3.4.4 Nuevas Tecnologías.-**

Aquí se incluyen métodos hallados en patentes para la obtención de óxidos de cobre, los cuales son:

#### **4.3.4.4.1 A Partir de Cloruro Cuproso.-**

Consiste en llevar a cabo la reacción de una solución de cloruro cuproso, conteniendo cloruro de sodio, y una solución acuosa de álcali para producir óxido cuproso. La proporción de adición de la solución acuosa de cloruro cuproso es regulada a 5,5 g/min/L (expresado en términos del rango de adición del cobre por unidad de volumen de un recipiente de reacción y la unidad de tiempo), esta solución y la solución acuosa de álcali son lenta y simultáneamente añadidas a una solución acuosa que contiene cloruro de sodio mientras se mantiene el sistema de reacción a un pH constante dentro del rango de 9-11.

#### **4.3.4.4.2 Producción de Óxido Cuproso Octaédrico.-**

El propósito es obtener un óxido cuproso octaédrico teniendo establecido el tamaño de partícula y que sea útil como antiincrustante, para esto se prepara una celda electrolítica para que usando una solución acuosa de cloruro de sodio y un antioxidante (como glicerol) como una solución electrolítica y cobre metálico como ambos electrodos y colocando el cátodo en la cámara de diafragma. Un ácido o un álcali es suministrado a la cámara de diafragma para ajustar el pH de la solución electrolítica en el rango de 9-11, mientras se usa un gas inerte para agitar la solución y proteger a la solución del aire para formar óxido cuproso teniendo un tamaño de partícula de 8-20 $\mu$ m y una forma octaédrica regular y útil

como pigmento antiincrustante para fondos de buques. La temperatura de la solución electrolítica en la electrólisis es preferiblemente de 50-107°C.

#### **4.3.4.4.3 A Partir de Cobre Fundido.-**

Se puede producir óxido cuproso en polvo por las etapas de descarga del cobre fundido, el cual es mantenido a una temperatura mayor o igual al punto de fusión y menor o igual a 1450°C, dentro de un recipiente que cuenta con una boquilla en el fondo, desde la boquilla al reactor dispuesto bajo el recipiente se genera un flujo descendente de cobre fundido, se atomiza el flujo descendente mediante un evaporador jet con un contenido de oxígeno gaseoso aplicado simultáneamente, oxidando el cobre fundido para formar óxido cuproso, enfriando las gotas líquidas o partículas sólidas del óxido cuproso así formado y después colectando las gotas o partículas desde el reactor.

#### **4.3.4.4.4 Reducción de Acetato Cúprico con Azúcar.-**

Se puede formar una película delgada de óxido cuproso o que esencialmente sea óxido cuproso a partir de una solución conteniendo acetato cúprico y azúcar reductor en un substrato calentado en un rango de temperatura especificado. La solución que contiene acetato cúprico ((CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O), el cual existe como cristales monohidratados, y el azúcar reductor, ambos son preparados en

solución. La solución es alimentada sobre un substrato calentado de 220-300°C, el azúcar reductor tiene el grupo aldehído, cetona libre y tiene propiedades reductoras como la glucosa, dihidroxiacetona, xilosa, manosa, etc. son preferentemente usadas. Un solvente usado para formar soluciones acuosas de acetato cúprico y de azúcar reductor es el agua pero también puede usarse componentes volátiles como el alcohol (isopropanol y metanol) cetonas tales como la acetona son preferiblemente usadas.

#### **4.4. Elección del Método de Producción.-**

Para elegir el método de producción de los óxidos de cobre se realizaron pruebas con los métodos mencionados en la sección anterior (4.3.1 a 4.3.3), estas pruebas se desarrollaron a nivel de laboratorio para todos los métodos y a nivel de planta piloto para los dos métodos seleccionados, para elegir luego el que proporcione los mejores resultados.

#### **4.5. Usos de los Productos.-**

El uso de los óxidos de cobre es común para ciertos casos, a continuación se mencionan algunos usos para cada uno de los óxidos.

##### **4.5.1 Óxido Cúprico.-**

El óxido cúprico se utiliza en la industria del rayón para la “solución de hidróxido cupramonio”. La industria cerámica lo utiliza para colorear vidrios, vidriados y esmaltes de verde, rojo o azul; el óxido cúprico verde es estable de 900-1100°C como colorante del vidriado, de 700-880°C como color sobre el

vidriado y de 1000-1100°C como color azul púrpura bajo el vidriado. El CuO se utiliza en la composición del electrodo de óxido de estaño (el cual fue diseñado por la Corning Glass Co.) utilizado en los tanques de vidrio óptico, para contribuir a la sinterización. El CuO se puede usar como despolarizante en el cátodo para la electrólisis de los cloruros alcalinos y como electrodo positivo en las pilas primarias y secundarias, es componente de las pilas alcalinas de cinc. Se usa también en análisis orgánicos y de gases, en la purificación de hidrógeno, por reducción de cobre, que entonces elimina vestigios de oxígeno, como catalizador en la reducción de compuestos orgánicos, para desulfurar aceites y para la imitación de piedras preciosas.

El color de algunos vidrios coloreados se produce mediante la absorción de algunas frecuencias de luz por algunos agentes disueltos en el vidrio. Los agentes colorantes de este grupo son los óxidos de los elementos de transición, especialmente los del primer grupo como el cobre.

El óxido cúprico se emplea para desulfurar el petróleo, como catalizador sirve p. ej. para disgregar el hierro cromado, se emplea en medicina en forma de unguento contra las inflamaciones de glándulas y articulaciones, afecciones de la córnea y por vía interna contra la tenia.

#### **4.5.2. Óxido Cuproso.-**

El óxido cuproso se utiliza para dar color verde o verde esmeralda a la pasta de la loza, en cerámica también se obtiene el color rojo cobre a partir de cristales de óxido cuproso consiguiéndose mediante este bellísimos colores en la porcelana china. Se utiliza también para colorear esmaltes y vidrios (para fabricar vidrio rojo), en la fabricación de pinturas, en la producción de sales

de cobre, para obtener el vidriado rojo en la porcelana. Es importante en galvanostegia, se utiliza en la fabricación de pinturas antiincrustantes por medio de una resina aglutinante vinílica insoluble o una resina colofonia aglutinante vinílica soluble, las que trabajan liberando el óxido de cobre tóxico (en el medio marino al que es expuesta la superficie pintada) evitando así la adherencia de organismos marinos. Se recomienda que se use  $\text{Cu}_2\text{O}$  como 64% en peso en el pigmento para los antiincrustantes de matriz soluble (plástico frío) que tienen mayor velocidad de lixiviación de cobre que los antiincrustantes de matriz insoluble (vinílica), por lo que son más eficientes para prevenir las incrustaciones. En las matrices insolubles la presencia de  $\text{Cu}_2\text{O}$  en el pigmento debe estar por encima del 80%.

En la agricultura adquirió importancia por el tratamiento de las semillas y el suelo. El óxido cuproso se usa mucho en aspersión o en polvo contra enfermedades de las plantas producidas por hongos (ej: fungicidas Cuproux 50, Akuprox 50M). Se usa también para la rectificación de corriente eléctrica (rectificador de óxido cuproso).

#### **4.5.3. Sulfato de Sodio.-**

El sulfato de sodio se presenta en el mercado en tres formas:

1) sulfato sódico anhidro refinado; 2) sulfato de calidad técnica, llamado torta de sal; 3) el decahidrato o sal de Glauber.

El sulfato de sodio se utiliza en la fabricación de la pulpa al sulfato del papel kraft, como diluyente en los detergentes sintéticos, se emplea también en la fabricación de cristal por ser fuente barata de óxido de sodio, en la fundición de los minerales de níquel, en tintorería y en polvos para los cerdos y el ganado

vacuno. Además es materia prima para la producción de sulfuro de sodio, sal de Glauber, silicato de sodio, hiposulfito de sodio y sulfato aluminico sódico. La sal de Glauber se utiliza en la industria textil, se emplea para normalizar tintes y en el teñido y estampado de telas; en medicina se utiliza como purgante; se utiliza en el apresto de los tejidos de algodón; para obtener mezclas frigoríficas y en la obtención de la celulosa al sulfato.

#### **4.6 Estudio de Mercado.-**

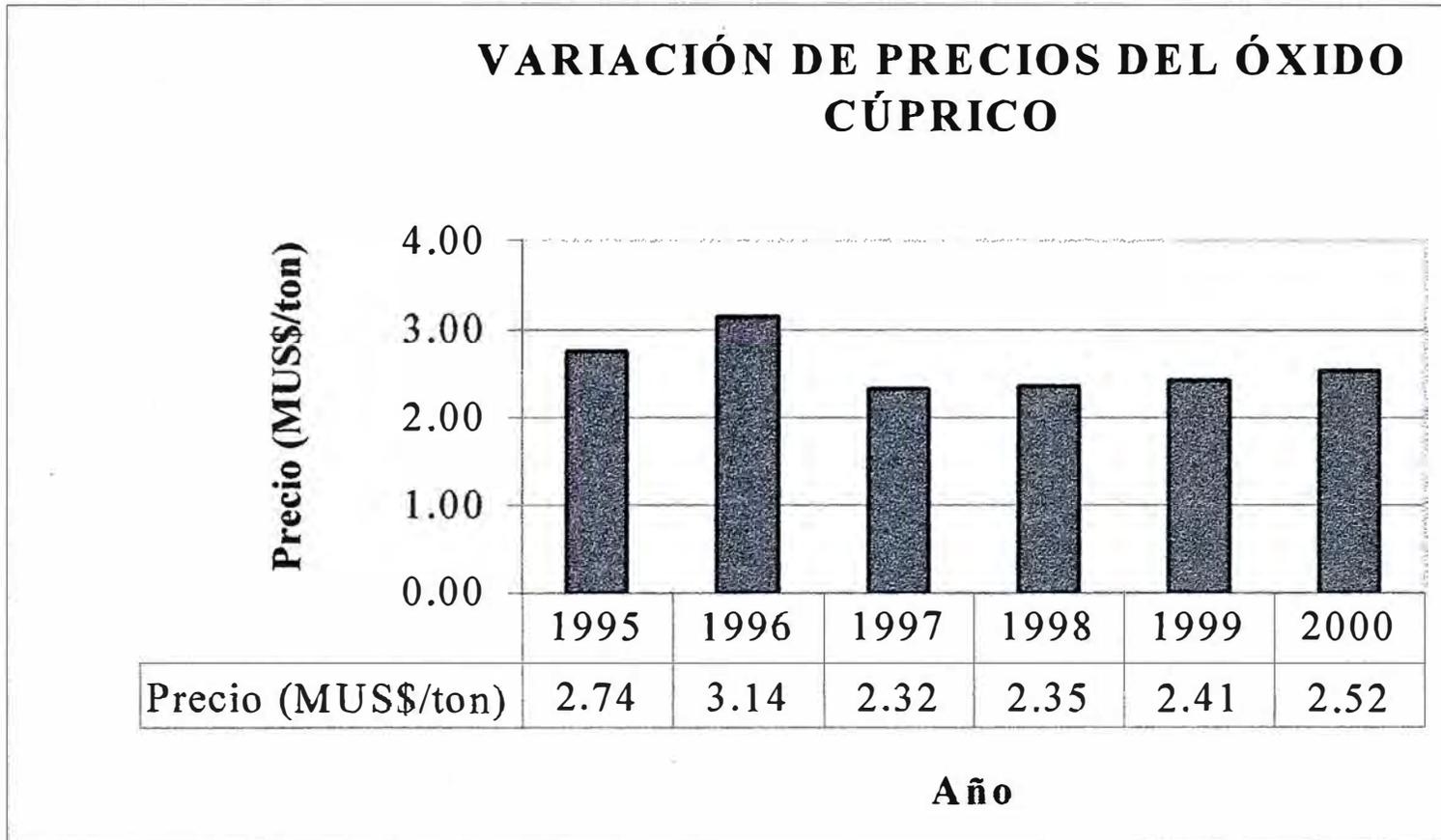
Al igual que para la materia prima se abarcarán dos puntos principales en el estudio de mercado, los cuales son: la variación del precio y las cantidades de exportación e importación de este producto.

##### **4.6.1 Mercado del Producto.-**

###### **4.6.1.1 Óxido Cúprico.-**

Hasta donde se tiene conocimiento en el Perú no existe ninguna empresa que fabrique el óxido cúprico, sólo se sabe que el óxido cúprico es importado desde Alemania, Estados Unidos o Bélgica; para satisfacer la demanda nacional. En los últimos cinco años no se ha presentado ningún tipo de exportación de óxido cúprico pero sí importación. El óxido se utiliza en pinturas antiincrustantes y en fungicidas en nuestro país. Se muestra a continuación la variación del precio del óxido cúprico en los seis últimos años:

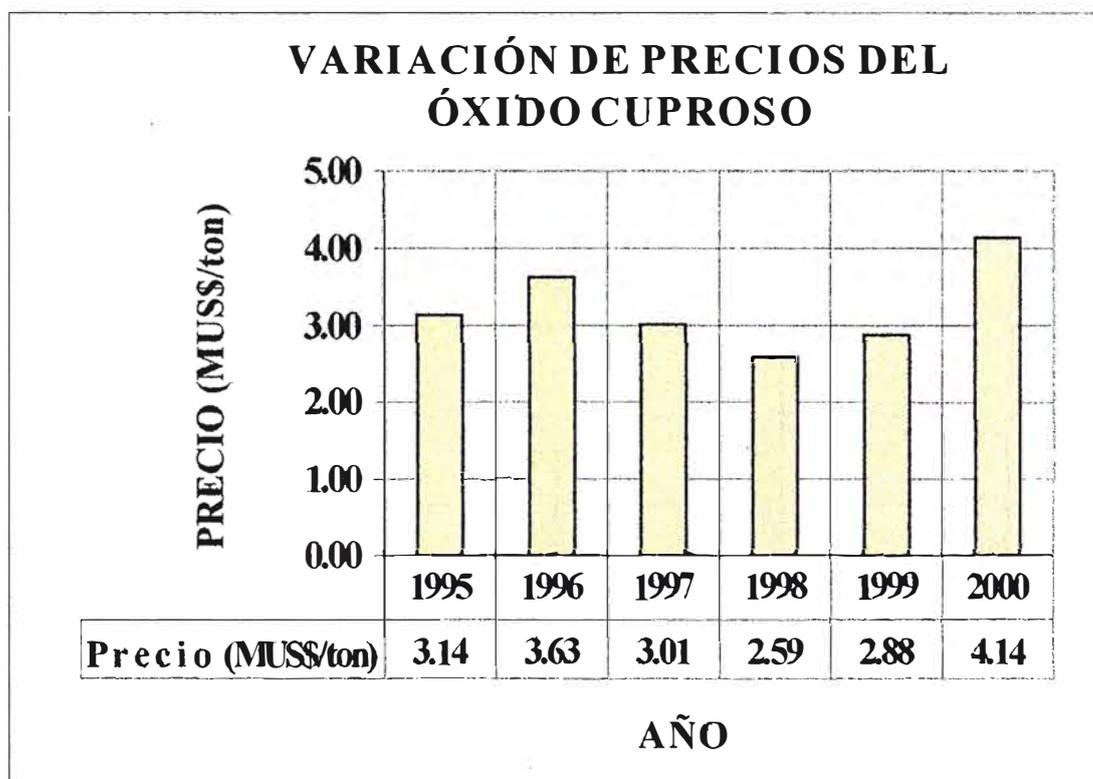
Gráfica N° 4.1



#### 4.6.1.2 Óxido Cuproso.-

El óxido cuproso se produce en el Perú en cantidades significativas, según la información disponible, por la empresa SALDECO S.A. (Sales y Derivados del Cobre S.A.), la cual es la única exportadora peruana de óxido cuproso durante los últimos seis años. La demanda nacional se cubre también con importaciones de óxido cuproso desde Estados Unidos y el Reino Unido. Al óxido cuproso se le utiliza como agente antiincrustante, fungicida y como pigmento para productos cerámicos. Seguidamente se muestra un gráfico donde se puede observar la variación del precio del óxido cuproso en los últimos años:

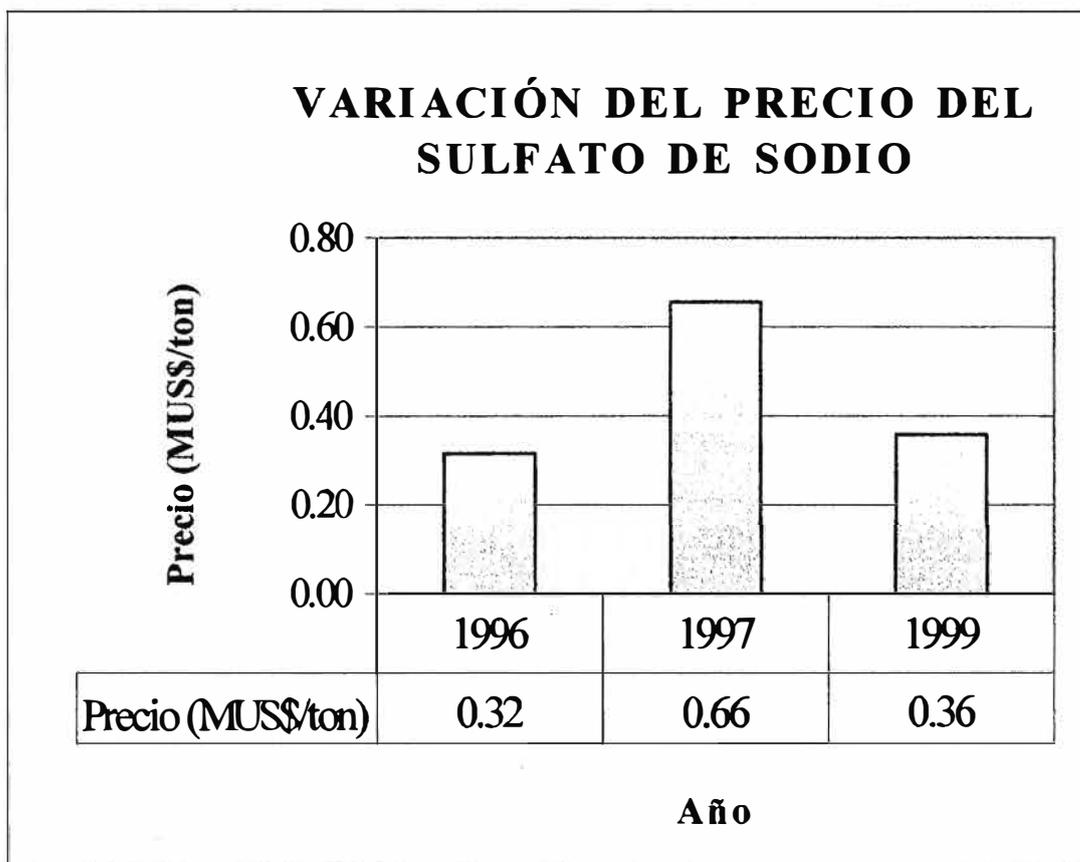
Gráfica N° 4.2



### 4.6.1.3 Sulfato de Sodio.-

El sulfato de sodio es muy utilizado en el Perú por las industrias textiles en su proceso de teñido, debido a la gran cantidad de fábricas de textiles que existen en el Perú es un producto que tiene bastante demanda, la cual no es cubierta con la producción nacional, por lo que su importación es en cantidades importantes. A continuación se muestra un gráfico donde se aprecia la variación del precio del sulfato de sodio en los últimos años: Se puede observar que la tendencias son variables para estos últimos años.

Gráfica N° 4.3



#### 4.6.2 Importación y Exportación.-

En esta sección se mostrarán los montos de importación y exportación de los últimos años para cada producto, no se dispuso de información sobre el consumo nacional de estos productos, por tal motivo esas cifras no son citadas.

##### 4.6.2.1 Óxido Cúprico.-

No existen cifras de exportación para el óxido cúprico, por lo que se muestran sólo las de importación.

**Tabla N 4.1 Importación de Óxido Cúprico**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1996	4394,634	16277,71	17442,45
1997	2670,879	6756,25	7133,67
1998	5292,164	13648,73	14730,08
1999	9210,920	21159,48	23054,54
2000 (*)	4677,390	12291,51	13130,42

(\*) Incluye información hasta el mes de Junio del 2000.

##### 4.6.2.2 Óxido Cuproso.-

**Tabla N° 4.2 Importación de Óxido Cuproso**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1996	9157,000	28086,40	31708,95
1997	6757,970	21013,74	23255,67
1998	11222,000	29499,82	32211,79
1999	12293,000	30467,55	33491,20
2000 (*)	4107,000	10849,20	11849,38

**Tabla N° 4.3 Exportación de Óxido Cuproso**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Neto (kg)</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>
1996	23700,00	24576,00	105132,89
1997	41500,00	42696,00	168257,65
1998	38500,00	39530,67	112940,67
1999	2000,00	2055,00	6109,55
2000 (*)	5525,00	5685,70	17749,70

(\*) Incluye información hasta el mes de Junio del 2000.

#### **4.6.2.3 Sulfato de Sodio.-**

En el caso del sulfato de sodio no existen cifras de exportación, por lo que sólo se presentan las cifras de importación de los últimos años, en el año 1998 no se presentan datos de importación porque no hubo importación de sulfato de sodio ese año, y tampoco se presentan cifras de importación hasta Junio del 2000.

**Tabla N° 4.4 Importación de Sulfato de Sodio**

<b>AÑO</b>	<b>Peso Bruto (kg)</b>	<b>Valor FOB (\$)</b>	<b>Valor CIF (\$)</b>
1994	185,273	28,641	48,893
1995	448,433	70,107	91,171
1996	102913,15	21407,26	31616,35
1997	169637,8	40344,27	54370,17
1999	23023,20	5094,00	6333,57

## 5. Ingeniería del Proyecto

### 5.1 Descripción de las Pruebas Realizadas.-

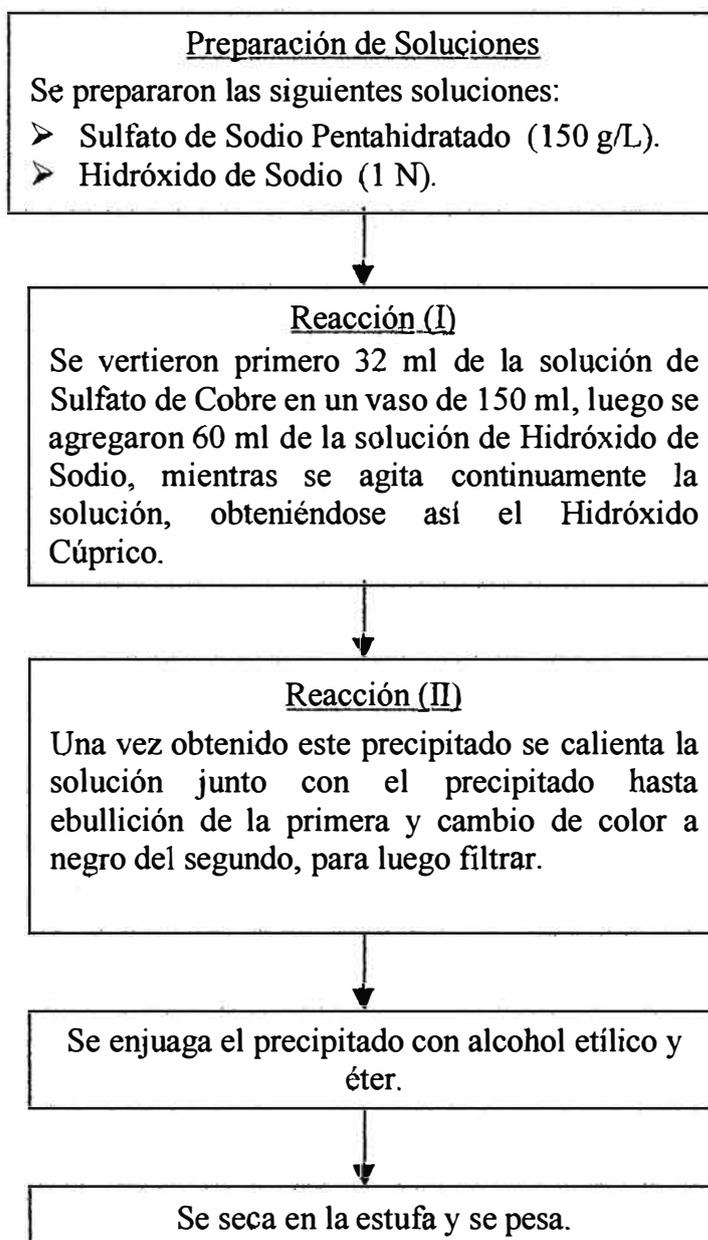
#### 5.1.1 Descripción de las Pruebas Formando Hidróxido de Cobre:

##### 5.1.1.1 Obtención de Óxido Cúprico:

Se muestra a continuación el diagrama de bloques de las etapas seguidas en laboratorio:

#### Diagrama de Bloques N°1

#### Formación del Óxido Cúprico



**CUADRO N° 1**

**PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS POR EL MÉTODO DE PRECIPITACIÓN DE HIDRÓXIDO CÚPRICO Y CALENTAMIENTO DE LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN**

Temperatura de la Reacción = 100°C

Concentración de la Solución de Hidróxido de Sodio = 40g/l

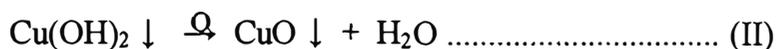
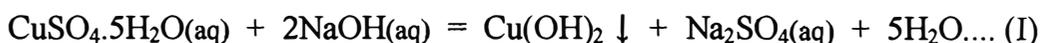
Tiempo de Reacción = Sólo hasta ebullición

N° DE PRUEBA	Cantidad de Sulfato de Cobre Utilizada (g)	Cantidad de Hidróxido de Sodio Utilizada (mL)	Peso de Óxido Teórico (g)	Peso de Óxido Obtenido (g)	Rendimiento (%)	Principales Observaciones	Conclusiones
1	2,4	20	0,7647	0,9320	121,80	El producto presenta trazas de un precipitado de color blanco, el cual es sulfato de sodio, debido a que el enjuague realizado al producto no fue suficiente.	Es necesario retirar completamente la sal presente, pues su presencia en el producto interfiere con los datos de rendimiento .
2	4,8	40	1,5295	1,5983	104,50	Se repitió la prueba anterior, efectuando un mejor enjuague sobre el producto.	El rendimiento de la reacción disminuyó considerablemente con respecto al valor anterior, lo cual confirma la influencia del peso de sulfato de sodio remanente en el producto.
3	4,8	40	1,5295	1,8041	117,90	En este caso, se realizó esta prueba con los reactivos previamente calentados a la temperatura de reacción. Esto dio como resultado un producto granular, el cual presentó un exceso de peso.	Se obtuvieron prácticamente los mismos resultados que para las pruebas anteriores
4	4,8	40	1,8041	1,5218	118,55	Se obtuvo un producto granular de color café oscuro el peso del producto fue mayor al teórico, esto debido a las impurezas presentes o a que la reacción no fue completa.	Se decidió realizar pruebas utilizando un exceso de hidróxido de sodio para observar su influencia en el rendimiento de la reacción.
5	4,8	60	1,4677	1,5295	96,44	Se realizó una prueba con un exceso de soda, la cantidad de producto obtenida disminuyó	Esta prueba dio resultados positivos en cuanto al rendimiento de la reacción, por ello a nivel piloto se consideró realizar nuevamente la presente prueba y la anterior a esta.
6	4,9	40	1,5243	1,5296	99,66	Las siguientes pruebas se realizaron con el fin de comparar los rendimientos altos obtenidos anteriormente.	La disminución en el peso de óxido obtenido se debió a que se realizó un mejor enjuague del sulfato de sodio remanente en el producto filtrado.
7	4,10	40	1,4768	1,5297	96,62	Datos Adicionales sobre rendimiento de la reacción.	El valor resulto ser aceptable (menor a 100%).
8	4,11	40	1,4760	1,5298	95,96	Datos Adicionales sobre rendimiento de la reacción.	El valor resulto ser aceptable (menor a 100%).
9	4,12	40	1,4885	1,5299	97,32	Datos Adicionales sobre rendimiento de la reacción.	El valor resulto ser aceptable (menor a 100%).
10	4,13	40	1,4821	1,5300	96,90	Datos Adicionales sobre rendimiento de la reacción.	El valor resulto ser aceptable (menor a 100%).

### 5.1.1.1.1 Observaciones:

Se preparó al inicio una solución de sulfato de cobre con una concentración de 197 g/L que era un valor cercano a la solubilidad del sulfato de cobre a una  $T=25^{\circ}\text{C}$ , se hizo así con el fin de no utilizar mucha agua en la reacción, ya que luego la solución obtenida tendría que llevarse a ebullición con el precipitado y luego de filtrada a sequedad para obtener el sulfato de sodio de la solución filtrada. Pero se pudo observar que el sulfato de cobre después de un día más o menos empezaba a precipitar en la tapa y en los bordes del frasco de la solución, por ello se decidió disminuir la concentración de la solución a 150 g/L, para darle un rango de alrededor del 25% para evitar cualquier posible precipitación.

Al hacer reaccionar la solución de sulfato de cobre con la solución de hidróxido de sodio (1N), se obtuvo como producto un precipitado azulino de hidróxido cúprico ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ), el cual tenía consistencia gelatinosa, y se convirtió, por ebullición, en óxido cúprico negro, como muestran las siguientes reacciones:



Se realizó esta prueba de dos maneras: una en la que se llevó la solución obtenida con el hidróxido cúprico sin filtrar a ebullición durante 30 minutos, obteniéndose así un precipitado de óxido cúprico de color negro el cual se llevó luego a filtrar y enjuagar para luego secar en la estufa; se utilizó otra en la que se filtró el hidróxido cúprico obtenido y luego se llevó este a la estufa y con el calor este precipitado paso a óxido cúprico negro.

Por el primer método se obtuvo una mejor calidad de óxido cúprico por lo cual se utilizó sólo este método para las siguientes pruebas de laboratorio. Las pruebas más representativas son descritas en el cuadro N° 1

#### **5.1.1.2 Obtención de Óxido Cuproso:**

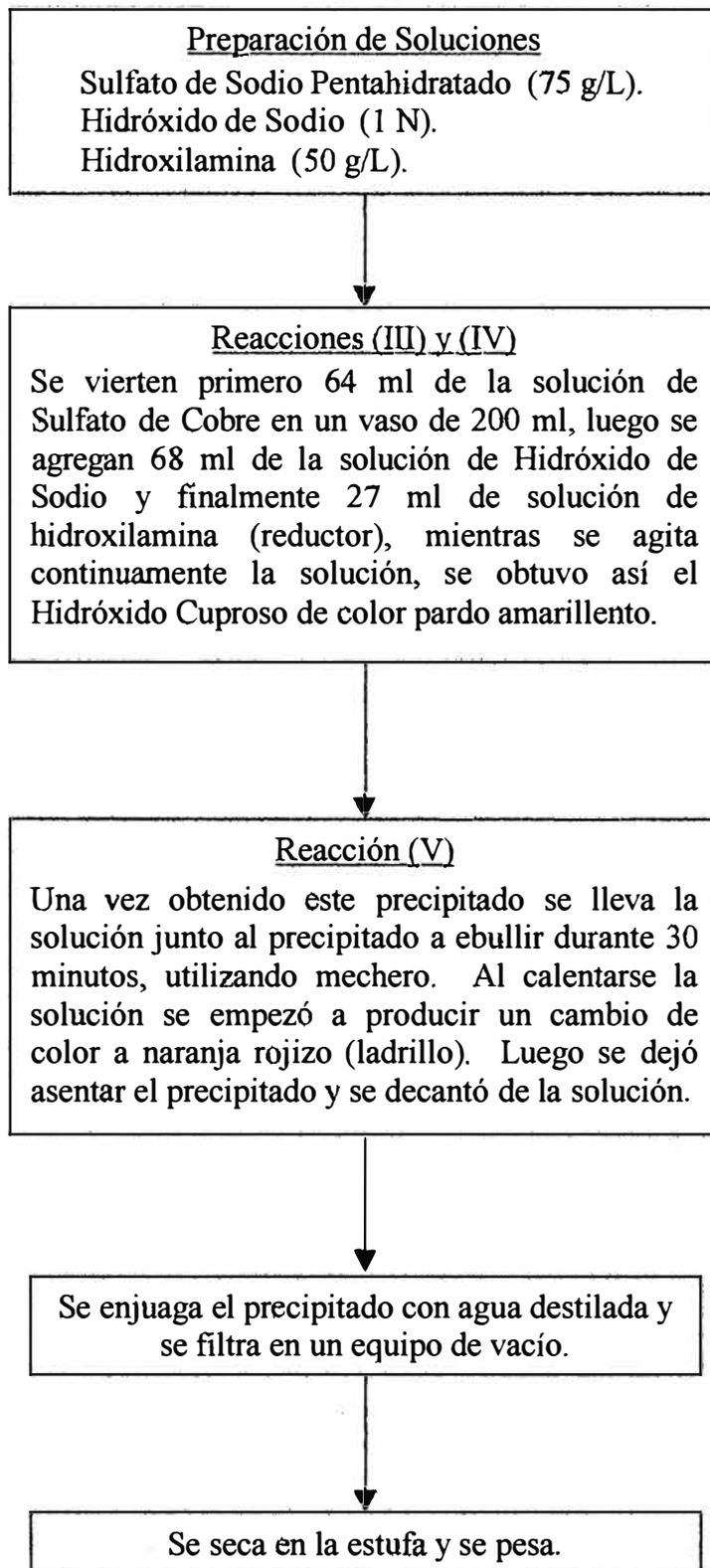
En la obtención de óxido cuproso se realizaron tres tipos diferentes de pruebas: el primer tipo utilizando clorhidrato de hidroxilamina como agente reductor y calentando los productos de reacción, el segundo tipo utilizando la glucosa monohidratada como agente reductor y calentando los productos de reacción y el tercero realizando la reacción a baja temperatura utilizando clorhidrato de hidroxilamina como agente reductor. Seguidamente se describen las pruebas realizadas con ambos reductores:

##### **5.1.1.2.1 Obtención de Óxido Cuproso Utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como Agente Reductor:**

En las siguientes páginas se muestran el diagrama de bloques que describe el procedimiento establecido a seguir en laboratorio y el Cuadro N°2 en el que se resumen las principales pruebas realizadas:

## Diagrama de Bloques N° 2

### Formación de Óxido Cuproso Utilizando Clorhidrato Hidroxilamina como Agente Reductor



**CUADRO N° 2**

**PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS POR EL MÉTODO DE PRECIPITACIÓN DE HIDRÓXIDO CUPROSO Y CALENTAMIENTO DE LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN**

Temperatura de la Reacción= 100°C  
 Concentración de la Solución de Hidróxido de Sodio= 40g/L  
 Concentración de la Solución de Hidroxilamina = 50g/L

N° DE PRUEBA	Cantidad de Sulfato de Cobre Utilizada (g)	Cantidad de Hidróxido de Sodio Utilizada (mL)	Cantidad de Hidroxilamina Utilizada (mL)	Tiempo de Reacción (min)	Peso de Óxido Teórico (g)	Peso de Óxido Obtenido (g)	Rendimiento (%)	Principales Observaciones	Conclusiones
1	2,4	20	13,5	Sólo hasta ebullición	0,7009	0,6376	90,97	Al dejar reposar el óxido cuproso obtenido se observó la formación de cristales blancos sobre el precipitado, los cuales se decantaron. Estos cristales decantados con la solución cambiaron a un color azul grisáceo, se filtró esta solución 4 veces obteniéndose una solución azulada y un sólido de color naranja rojizo, marrón y amarillo. El óxido cuproso obtenido presentó trazas de un sólido azul verdoso.	Al formarse los cristales en la solución esta debe ser decantada, ya que estos se mezclan con el óxido y luego su separación es más complicada.
2	4,8	40	27	9	1,4017	1,3394	95,55	El precipitado de óxido de cobre obtenido fue de color naranja zanahoria, el precipitado que se adhirió a las paredes cambia a una coloración turquesa. El pH de la solución después de la ebullición fue de 4.	Se volvió a obtener un alto rendimiento de óxido cuproso, pero aún con presencia notable de trazas de sólido verde.
3	2,4	21	13,5	6	0,7009	0,6763	96,50	Se dejó el precipitado en solución de un día para otro y se formó una capa de precipitado negro cristalino sobre el óxido y una capa de precipitado verde (como nata) en la superficie de la solución. El óxido sólo se enjuagó con alcohol, lo que provocó que hubiera más presencia de un precipitado verde en el óxido, además después de unos días el óxido estaba casi completamente verde en lugar de sólo verdoso.	El mayor rendimiento obtenido se debió al enjuague incompleto, la estabilidad del producto también se ve afectada.
4	2,4	22	13,5	6	0,7009	0,5891	84,05	Se agregó mas soda con la finalidad de evitar la formación de precipitados indeseables con el óxido, además de estabilizar al óxido cuproso. Se obtuvo un óxido con trazas de precipitado verde como antes a pesar de que se realizó el enjuague completo. Después de varios días el óxido conserva su color naranja.	La cantidad de soda utilizada no es la suficiente para evitar la formación de los otros precipitados por lo que se probará con más soda. El menor peso puede ser índice de que se ha logrado disminuir la formación del precipitado verde. El mayor rendimiento del sulfato de sodio puede corroborar esto ya que puede significar que las impurezas se mantuvieron en disolución debido a la soda adicional.
5	4,8	44	27	30	1,4017	1,2547	89,51	Se obtuvo un óxido de color naranja intenso debido a la soda adicional, se realizó cambios de vaso al ebullición unos minutos la solución debido a que en las partes secas paredes del vaso se formaba un sólido turquesa, entonces se pretende evitar la contaminación en el mayor grado posible.	Al parecer, la separación de impurezas resulto ser más eficiente en esta prueba. Se tendrá en observación la estabilidad del producto.

6	4,8	46	27	30	1,4017	1,4786	105,49	Se obtuvo un producto de color naranja que presento una mejor estabilidad que los anteriores, pero que aún está mezclado con cloruro cuproso.	Estas pequeñas adiciones no son suficientes para evitar la formación del cloruro cuproso, por lo que será mejor probar con cantidades mayores de hidróxido de sodio.
7	4,8 (*)	58	27	30	1,4017	1,4927	106,49	Se agregó el hidróxido de sodio gradualmente hasta conseguir un pH=9, lo cual se logró con un volumen de 58 mL. Esto se hizo para determinar los resultados de la reacción con un pH relativamente alto. Se obtuvo un precipitado naranja pardusco.	En esta prueba la hidroxilamina se agregó antes que la soda, normalmente esto da un producto de poca estabilidad, el producto se oxidó por ello el exceso de peso obtenido.
8	1,2	14,5	6,75	30	0,3504	0,3733	106,53	Se realizó la prueba agregando esta vez la hidroxilamina al final, pero se volvió a obtener un exceso en el peso del producto, pero presentó una mayor estabilidad. Se obtuvo un precipitado naranja rojizo.	Quizás este exceso se debió a que el producto permaneció secando de un día para otro, es decir no se le aisló rápido de la atmósfera húmeda.
9	1,2	20	6,75	30	0,3504	0,3431	97,90	Esta cantidad de hidróxido de sodio produjo un óxido marrón algo naranja, como la soda se agregó al final para conseguir un pH=13, el producto no presentó mucha estabilidad.	El peso obtenido no excedió el teórico, pero esto puede deberse a que la prueba se realizó rápidamente, antes de que el precipitado empezara a cambiar.
10	1,2	20	6,75	30	0,3504	0,3342	95,37	Se realizó la prueba agregando esta vez la hidroxilamina al final, igual que en el caso del pH>9, se obtuvo un producto más estable, aunque un menor rendimiento en la reacción. El producto fue de color marrón rojizo.	Al parecer el pH alto en la reacción favorece la formación del óxido cuproso y evita la precipitación de productos indeseables.
11	4,8	68	27	30	1,4017	1,4507	103,50	El producto obtenido de esta manera fue de un color marrón claro y presentó una relativa estabilidad.	Los productos obtenidos con 58 mL y 80 mL. presentaron mejor apariencia.
12	4,8	58	27	30	1,4017	1,3720	97,88	Se realizó nuevamente una prueba con este volumen porque la estabilidad del producto anterior resultó ser muy buena. Se volvió a obtener un producto de muy buena estabilidad.	Al parecer el valor del peso obtenido puede presentar ciertas variaciones dependiendo del tiempo que demore el secado. Ya que al dejarse secando el producto al final del día para terminar de secarlo al día siguiente (**), este tiende a presentar pesos altos debido al mayor tiempo de contacto con la humedad.
13	4,8	80	27	30	1,4017	1,4307	102,06	El producto que se obtuvo en esta oportunidad fue de un color un poco más oscuro que en las pruebas anteriores, pero presentó una buena estabilidad.	Al ser la apariencia un poco distinta que en las anteriores pruebas se realizará una prueba más para comprobar que no se cometió algún error.
14	4,8	58	27	30	1,4017	1,4024	100,05	Se realizó la prueba nuevamente y se dejó secando el producto de un día para otro, se obtuvo nuevamente un exceso de peso.	Se comprobó que el tiempo de secado es muy importante en la elaboración del óxido cuproso, ya que afecta considerablemente la calidad del producto (***).

15	4,8	60	27	30	1,4017	1,5036	107,27	Se repitió la prueba y se obtuvo un producto de la misma apariencia que la última prueba realizada similar a esta. Como se dejó secando el producto de un día para otro también en este caso se obtuvo un exceso grande de peso.	Por tanto en este caso se comprobó también que el tiempo de secado afecta al producto.
16	4,8	58	27	30	1,4017	1,3299	94,88	El producto presentó la misma apariencia que en las pruebas anteriores y se llevó a analizar el mismo día para obtener resultados más exactos de su composición.	Esta prueba realizada con un tiempo de secado exacto dio un mejor resultado.
17	4,8	68	27	30	1,4017	1,3948	99,51	Se realizó esta prueba una vez más para corroborar el resultado anterior (prueba 12), se trabajó con un pH=12, se obtuvo un precipitado naranja.	Este producto presenta un peso más aceptable que en la prueba 12, probablemente por no haberse producido oxidación.
18	4,8	63	27	30	1,4017	1,4406	102,78	De esta se obtuvo un sólido de color naranja opaco.	El exceso de peso se debe a la oxidación del óxido cuproso.
19	4,8	68	27	30	1,4017	1,4034	100,12	La apariencia de este producto es prácticamente igual a la de la anterior prueba.	El pH=12 de la reacción se corroboró con esta prueba.
20	4,8	68	27	30	1,4017	1,3189	94,09	Se realizó la prueba para obtener datos de rendimiento de la reacción a estas condiciones.	El rendimiento resultó inferior a los antes reportados, debido al menor tiempo de secado.

(\*) A partir de la prueba N°8 la concentración de la solución de sulfato de cobre es de 75 g/L, siendo la concentración para las pruebas anteriores de 150g/L, esta se varió debido a que se presentaba siempre una pequeña cristalización en la boquilla del recipiente que contenía la solución y para evitar esto se prefirió disminuir la concentración para evitar mayores errores en las pruebas.

(\*\*) Ningún equipo se dejaba encendido de un día para otro, por razones de seguridad, por ello si una muestra se dejaba secando hasta el otro día el tiempo de secado era mayor y su tiempo de contacto con el agua también lo que producía la oxidación del producto.

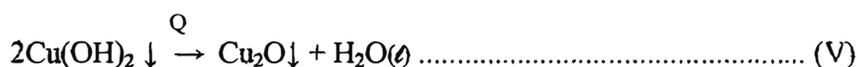
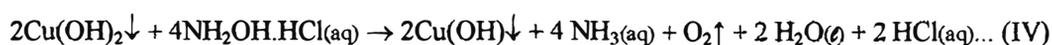
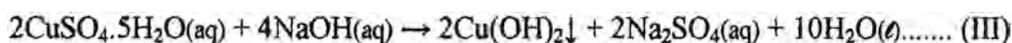
(\*\*\*) El óxido cuproso presenta poca estabilidad al estar húmedo, una vez seco no es tan sensible al oxígeno del ambiente.

(\*\*\*\*) Los valores de rendimiento que exceden el 100% se presentan debido a que el producto se contamina con cloruro cuproso u óxido cúprico.

(\*\*\*\*) Un volumen de 68 mL de hidróxido de sodio es el que produce mejores resultados en cuanto a la calidad del óxido cuproso.

### 5.1.1.2.1.1 Observaciones:

Se siguió casi el mismo procedimiento que para la obtención de óxido cúprico, sólo que en este caso se agregaron inicialmente 12 mL de la solución de hidroxilamina (agente reductor). Debido a este agente reductor, el precipitado de hidróxido que se forma al inicio se ve de color verdoso a causa de la presencia de hidróxido cúprico azul mezclado con el hidróxido cuproso amarillo, a medida que se agita y la hidroxilamina hace efecto, el precipitado se vuelve uniforme ya que todo se transforma en hidróxido cuproso (Cu(OH)) de color pardo amarillento y forma granular. En seguida se muestra las reacciones que se producen para formar el óxido cuproso:



El precipitado formado se llevó a ebullición por 30 minutos junto con la solución donde se formó el óxido cuproso (de un color pardo rojizo). El cual se filtró luego de la solución. Se pudo apreciar que el óxido cuproso formado de esta manera no es estable porque se oxida relativamente rápido formando el óxido cúprico; tal como se muestra en la siguiente reacción:



El óxido cuproso obtenido en estas primeras pruebas presentó poca estabilidad, ya que el oxígeno y la humedad presentes en el ambiente son suficientes para producir su oxidación, como consecuencia de esto al

determinar la eficiencia de la reacción mediante el peso de óxido cuproso obtenido, se originó un exceso en el promedio de pesos del óxido cuproso obtenido que fue de 102,1%; otro factor a considerar es la presencia de trazas de sulfato de sodio en el producto seco, que pueden quedar adheridas al producto al no ser enjuagadas lo suficiente como para retirarlas por completo. Además se detectó la formación de cloruro de sodio, lo cual fue resultado de realizar la reacción con un exceso de hidróxido de sodio, que debió reaccionar con el ácido clorhídrico presente en la hidroxilamina. Para formar el cloruro de sodio y agua.

Debido a todo lo expuesto en el párrafo superior, que el producto obtenido no era muy estable se decidió introducir algunas variaciones al método de trabajo:

- ◊ Variar la cantidad de hidróxido de sodio y de clorhidrato de hidroxilamina de manera que se encuentre una relación óptima que favorezca la estabilidad del óxido cuproso al variar el pH de la reacción.
- ◊ Se redujo la concentración de la solución de sulfato de cobre (150 g/L a 75 g/L) con el fin de retirar con mayor facilidad el sulfato de sodio adherido al producto mojado al disminuir la concentración de la solución de sulfato de sodio obtenida.

Un resumen de las pruebas realizadas con dichas variaciones puede observarse en el Cuadro N° 2.

En este caso, se iniciaron las pruebas disminuyendo la cantidad de hidróxido de sodio utilizado, porque al parecer el exceso de este reactante era uno de los causantes de la contaminación del producto obtenido con óxido cúprico, ya que según pruebas realizadas para la obtención de óxido cuproso en la patente US3716615 (Process for the Production of Cuprous Oxide) la presencia de cantidades grandes de material alcalino contamina el producto con cantidades también grandes de óxido cúprico.

Al cambiar las condiciones de esta manera, se empezó a obtener un precipitado de óxido cuproso contaminado con cloruro de cobre, debido a que el óxido cuproso formado por las reacciones (III), (IV) y (V) empezó a reaccionar con el ácido clorhídrico presente en la hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ), el cual no se pudo retirar del óxido cuproso enjuagando con alcohol y éter, inclusive hasta el sulfato de sodio se contaminó con otros productos debido a que precipitaron nuevos compuestos (el alcohol y el éter empezaron a intervenir en la reacción formando nuevos compuestos). Debido a todo esto el rendimiento de la reacción se vio afectado, ya que se obtuvo un exceso de peso en el producto por causa de la presencia de la mezcla de estos compuestos (Ver Cuadro N° 2). Otro resultado negativo que se presentó en el producto fue que no poseía estabilidad, ya que después de unos días el color se volvía más opaco y oscuro, resaltando la presencia del cloruro de cobre.

Según las referencias bibliográficas **(2)** consultadas sobre el óxido cuproso, se tiene que este compuesto se puede obtener a diferentes

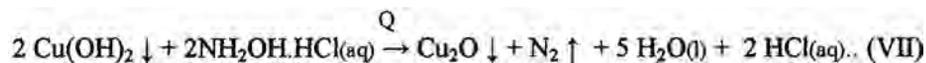
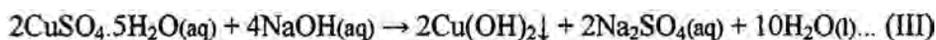
valores de pH y de temperatura, lo cual implica sólo un cambio de color en el producto obtenido que puede variar desde amarillo hasta rojo púrpura, por ello se decidió variar el pH de la reacción que a las condiciones iniciales era de 4, hasta un pH básico, de manera que se neutralizara al ácido clorhídrico presente formando cloruro de sodio y así este no ataque al óxido cuproso. De acuerdo a las condiciones establecidas en las pruebas iniciales, la solución de sulfato de cobre presentó un pH=3 al agregársele los 40 ml de hidróxido de sodio el pH subió a 14 y al agregarse finalmente la hidroxilamina el pH vuelve a ser 4.

Debido a esto se empezó por agregar un pequeño exceso de hidróxido de sodio para observar si se presentaba algún cambio positivo en las características del producto obtenido, pero los productos obtenidos con estos cambios no presentaron mayores mejoras; la última prueba que se hizo con estos pequeños incrementos fue agregando 46 ml de hidróxido de sodio a 64 ml de sulfato de cobre (la cantidad de hidroxilamina no se varió en ninguna prueba), el óxido cuproso obtenido de esta presentó una mejor apariencia y estabilidad pero no contenía una pureza de óxido cuproso aceptable (que resultó ser de alrededor del 70% de acuerdo al análisis por Difracción de Rayos X).

Según esto, se decidió continuar agregando un exceso de hidróxido de sodio, pero esta vez controlando la variación del pH conforme se

fuera adicionando el volumen excedente de hidróxido de sodio, se obtuvo un pH=12 al agregar 68 ml de hidróxido de sodio a 64 ml de sulfato de cobre y se alcanzó un pH=13 al agregar 80 ml de hidróxido de sodio. En el primer caso, se obtuvo un precipitado de color naranja rojizo de buena estabilidad y hasta el sulfato de sodio se liberó de las impurezas que presentaba al inicio. Similares resultados se obtuvieron en el segundo caso, sólo que el producto obtenido presentó un color un poco más pardo. En ambas pruebas se dejó de enjuagar el producto con alcohol y éter, sólo se utilizó agua para enjuagar.

Las reacciones que se producen en fase acuosa por este método, manteniendo las cantidades estequiométricas, son las siguientes:

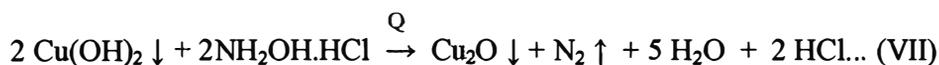
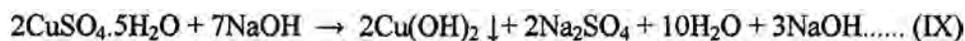


La ecuación estequiométrica (VII) resume las ecuaciones estequiométricas (IV) y (V). El cloruro cuproso se forma debido a la reacción del óxido cuproso con el ácido clorhídrico liberado por la hidroxilamina, como se muestra en la siguiente reacción:

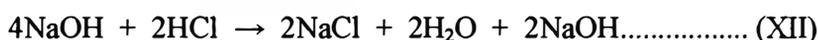
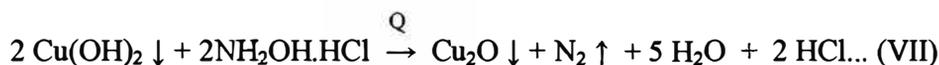
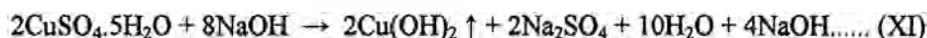


Al agregar 68 ml de hidróxido de sodio en lugar de 40 ml, que es la cantidad estequiométrica aproximada, se producen las siguientes reacciones:

Los reactantes y productos en las siguientes reacciones se encuentran en estado líquido o acuoso de no ser que se indique lo contrario:



En el caso en el que se agregan 80 ml de hidróxido de sodio, se producen las siguientes reacciones:



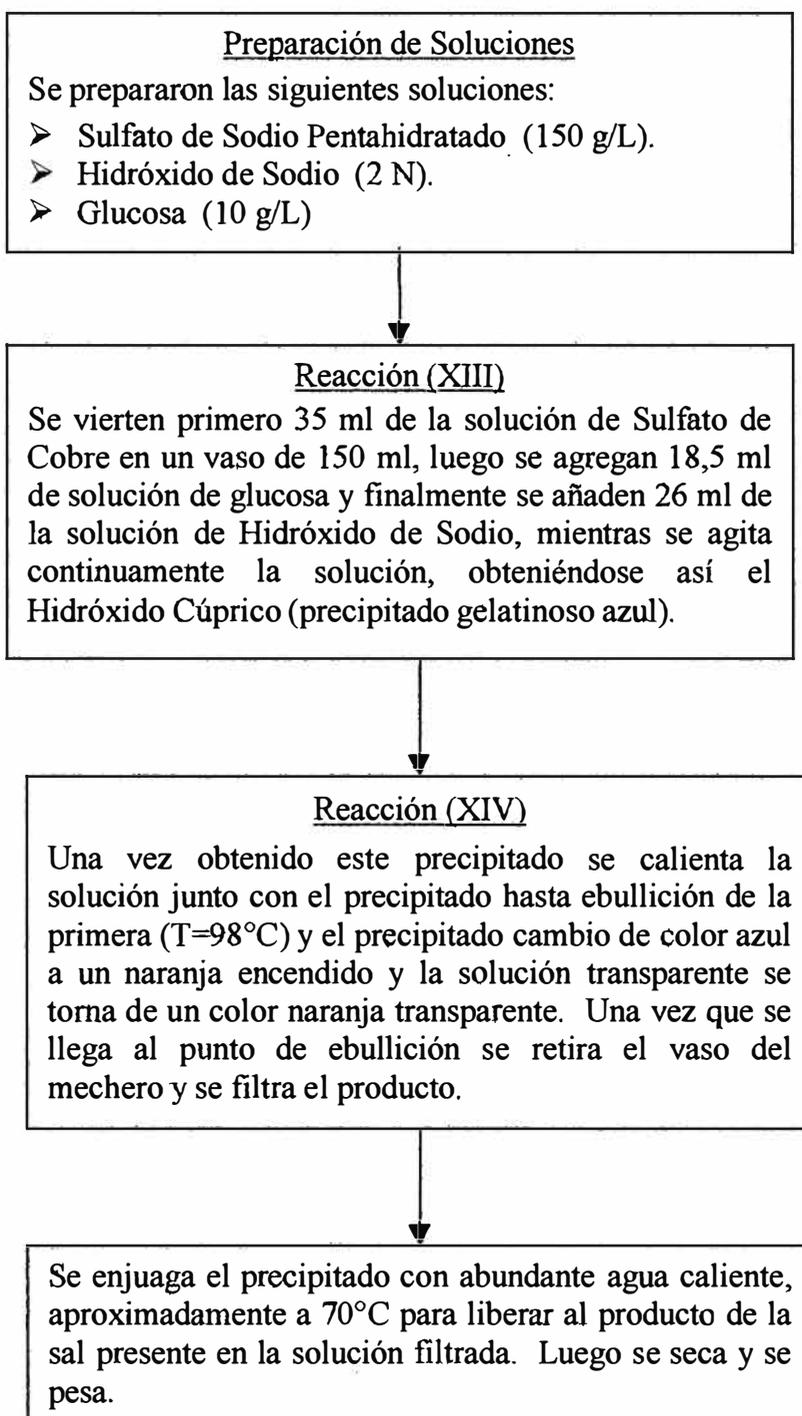
#### **5.1.1.2.2 Obtención de Óxido Cuproso Utilizando Glucosa monohidratada como**

##### **Agente Reductor.-**

Debido al elevado costo del clorhidrato de hidroxilamina a nivel industrial, se decidió utilizar un agente reductor que tuviera un precio menor y que aunque no tuviera el mismo poder reductor del clorhidrato de hidroxilamina generara similares resultados en la obtención del óxido cuproso, por ello escogimos a la glucosa monohidratada como otra opción de agente reductor. A continuación se muestra el diagrama de bloques del procedimiento en laboratorio para obtener el óxido cuproso por este método, además del Cuadro N° 3 donde se presenta un resumen de las pruebas realizadas.

### Diagrama de Bloques N° 3

## Formación de Óxido Cuproso Utilizando Glucosa Monohidratada como Agente Reductor



**CUADRO N° 3**

**PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS UTILIZANDO GLUCOSA MONOHIDRATADA COMO NUEVO AGENTE REDUCTOR**

Temperatura de la Reacción = 98°C

Concentración de la Solución de Sulfato de Cobre = 150g/L

Concentración de la Solución de Hidróxido de Sodio = 80g/L

Concentración de la Solución de Glucosa Monohidratada = 10g/L

Tiempo de Reacción = Sólo hasta ebullición

N° DE PRUEBA	Cantidad de Sulfato de Cobre Utilizada (g)	Cantidad de Glucosa Utilizada (mL)	Cantidad de Hidróxido de Sodio Utilizada (mL)	Peso de Óxido Teórico (g)	Peso de Óxido Obtenido (g)	Rendimiento (%)	Principales Observaciones	Conclusiones
1	5,25	4,3	21,5	1,5047	-	-	Se obtuvo una precipitación muy pequeña de óxido cuproso y gran cantidad de hidróxido cúprico al asumir una cantidad estequiométrica de glucosa en la reacción.	Se necesita utilizar un exceso de glucosa en la reacción para reducir todos los iones cúpricos presentes a iones cuprosos.
2	5,25	8,6	21,5	1,5047	0,6239	41,47	Se obtuvo un producto de color marrón, sólo en la base del vaso se observaba una mínima formación de óxido cuproso. Se separaron ambos productos por disolución con ácido acético.	La cantidad de glucosa no es suficiente para una reacción completa.
3	5,25	17,2	21,5	1,5047	0,8475	56,33	Se obtuvo un producto de color marrón claro, y sólo en la base del vaso se apreciaba una buena formación de óxido cuproso.	Se duplicó la cantidad de glucosa pero el rendimiento no varió apreciablemente; se probará reduciendo la cantidad de glucosa para elevar el pH de la reacción.
4	5,25	12,9	21,5	1,5047	0,6955	46,22	Se obtuvo un producto de color marrón rojizo, pero el producto estaba aún un poco hinchado, lo que indica la presencia de hidróxido cúprico.	La cantidad de hidróxido de sodio se aumentará para elevar el pH=7,5 de la presente prueba, ya que un medio básico favorece la formación del óxido cuproso.
5	5,25	12,9	22	1,5047	0,9086	60,39	Se obtuvo un producto de color marrón rojizo que con el tiempo de enfriamiento se tornó algo naranja.	La cantidad de óxido cuproso obtenido aumentó apreciablemente sólo con un leve aumento de la cantidad de hidróxido de sodio, pH=8.
6	5,25	6,5	23	1,5047	0,4664	30,99	Se obtuvo un producto de color marrón rojizo y verde, la reacción no fue completa, aunque el pH de la reacción fuera de alrededor de 10.	La cantidad de glucosa necesaria es mayor a la utilizada en esta prueba, ya que el pH elevado no puede favorecer la reacción con esta cantidad de glucosa.

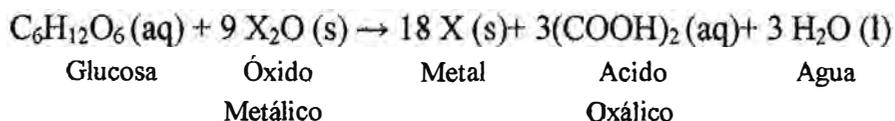
7	5,25	20	21,5	1,5047	1,8589	123,54	A simple vista se observó una reacción completa, ya que cuando hay presencia de hidróxido cúprico el producto demora mucho tiempo en asentarse y a veces no se asienta. Se obtuvo un producto de color naranja encendido y una solución de color verde transparente, la cual al ponerse a secar precipita un producto naranja y la solución se torna de color naranja.	Al parecer la reacción ha provocado la formación de alguna sal que se ha adherido al producto y que no es soluble en agua, ya que el exceso de peso representa un 23%. Quizás esto se deba al exceso de glucosa, ya que con excesos grandes de soda esto no había sucedido.
8	5,25	25	21,5	1,5047	1,9121	126,07	Al igual que en la prueba anterior se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color verde transparente.	Se pudo comprobar que el exceso de glucosa provoca el exceso de peso en el producto, que ahora representa un 27%.
9	5,25	20	25	1,5047	1,6059	106,72	Se obtuvo un precipitado de color anaranjado encendido y una solución de color verde limón.	El incremento del pH ayuda a disminuir el exceso de peso en el producto, en la solución el color se aclara lo cual demuestra que la cantidad del compuesto que se formaba ha disminuido.
10	5,25	18,6	25	1,5047	1,5527	103,19	Se obtuvo un precipitado de color anaranjado encendido y una solución de color verde limón.	Todavía sigue formándose el compuesto que provoca que la solución sea de color verde. Esta solución se torna de color naranja al calentarse y precipitar un sólido naranja opaco en pequeña cantidad, la solución naranja al secarse precipita sulfato de sodio y glucosa.
11	5,25	18,5	26	1,5047	1,5775	104,84	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color naranja transparente, la cual al calentarse no produce ningún precipitado.	Esta reacción es completa, ya que no produce en la solución nuevos precipitados, además de los productos esperados.
12	5,25	18,5	26	1,5047	1,5541	103,28	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color naranja transparente.	Se realizó esta prueba con el fin de comprobar los resultados de la prueba anterior. pH=11.
13	5,25	18,5	25,5	1,5047	1,5577	103,52	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color verde clara transparente. Esta solución también precipita al calentarse.	La cantidad de hidróxido de sodio aunque mínima afecta al pH en un valor considerable, pH=9.

14	5,25	18,5	25,7	1,5047	1,6957	112,69	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color amarilla transparente.	La solución obtenida está en el estado medio entre la solución verde y la naranja, pero precipita al igual que la verde en una cantidad despreciable. pH= 10
15	5,25	18	26	1,5047	1,0594	70,41	La reacción no es completa, el producto no se asienta indicando la presencia de hidróxido cúprico y la solución obtenida es de color verde.	La cantidad de glucosa no es suficiente para una reacción completa.
16	5,25	18,1	26	1,5047	1,5999	106,33	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color verde clara transparente.	Se incrementará la cantidad de glucosa.
17	5,25	18,3	26	1,5047	1,5668	104,15	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color verde clara transparente.	Se incrementará la cantidad de glucosa.
18	5,25	18,4	26	1,5047	1,5758	104,72	Se obtuvo un precipitado de color naranja encendido y una solución de color verde clara transparente.	Se incrementará la cantidad de glucosa.

Conforme a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se determinó que la mejor relación de reactantes para producir el óxido cuproso es la utilizada en la prueba N°1, que a pesar de presentar un exceso en el peso del producto de alrededor del 3%, da como resultado un producto estable y de buena calidad. Esta relación de reactantes se presenta en el diagrama de bloques.

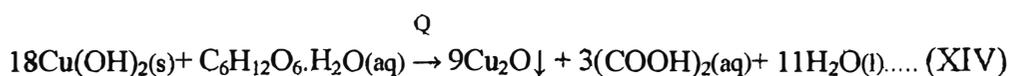
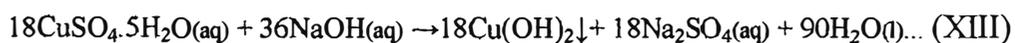
### 5.1.1.2.2.1 Observaciones:

Según la información bibliográfica encontrada (4) se tiene que 5 moles de glucosa reducen un ion cobre y además se cuenta con la siguiente referencia:



Por ello se realizaron pruebas con distintas cantidades de glucosa, comenzando por la más pequeña (ecuación química anterior) e incrementando la cantidad de glucosa paulatinamente hasta obtener resultados satisfactorios, de este método se obtiene un producto bastante estable de color naranja intenso, el cual resiste la oxidación aún en estado húmedo.

Las reacciones que se producen por este método son las siguientes:



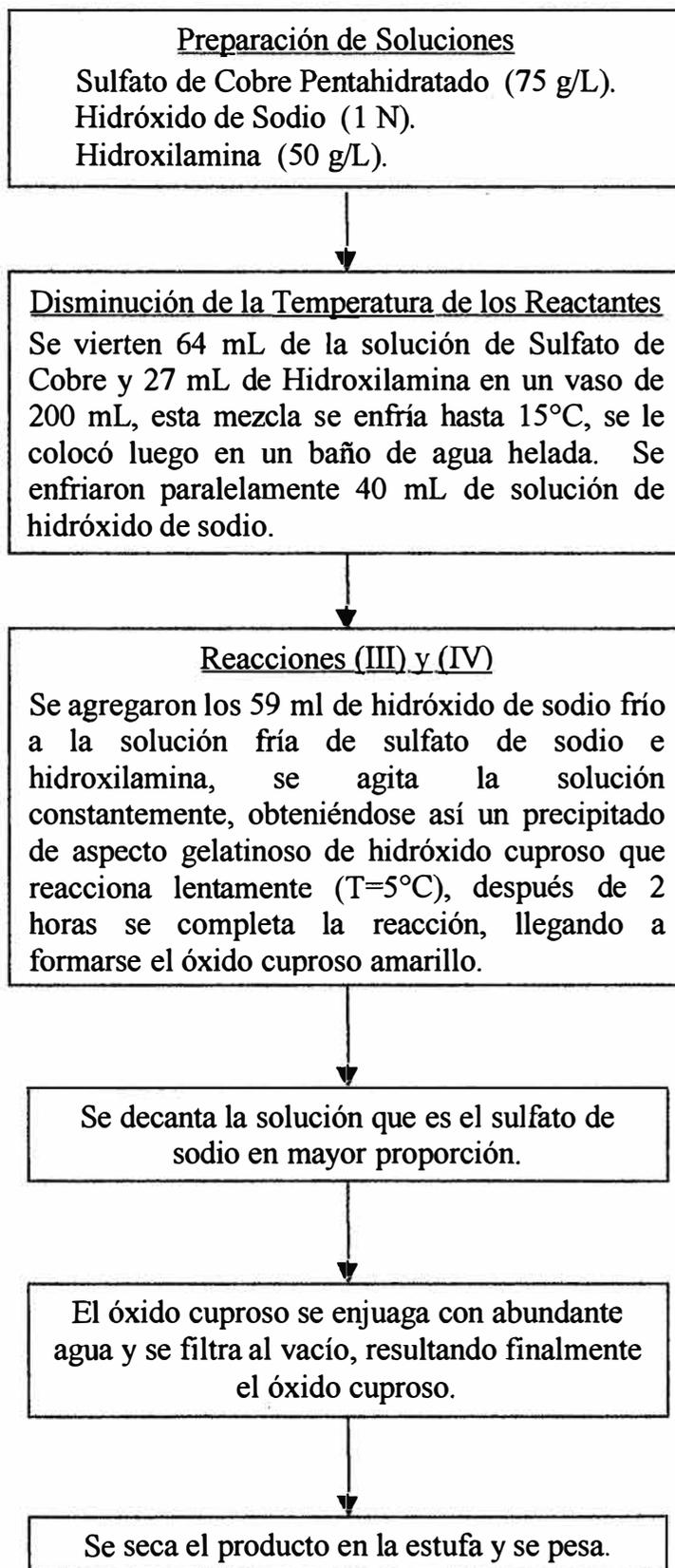
De acuerdo a la cantidad de reactantes establecida en laboratorio, para que se produzca la conversión del sulfato de cobre a óxido cuproso se debe agregar un exceso de glucosa monohidratada del 300% y un exceso de hidróxido de sodio del 24% respecto a las cantidades expuestas en las reacciones (XIII) y (XIV). Conforme a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se determinó que la mejor relación de reactantes para producir el óxido cuproso es la utilizada en la prueba N°11, que a pesar de presentar un exceso en el peso del producto de alrededor del 3%, da como resultado un producto estable y de buena calidad.

### **5.1.1.2.3 Obtención de Óxido Cuproso por Reacción a Baja Temperatura:**

En este método se busca obtener el óxido cuproso amarillo, mediante la reacción del sulfato de cobre pentahidratado con hidróxido de sodio e hidroxilamina como agente reductor a una temperatura de 5°C. Un resumen de las pruebas realizadas por este método puede observarse en el Cuadro N° 4. En la siguiente página se muestra el diagrama de bloques para el procedimiento seguido en laboratorio para obtener el óxido cuproso amarillo, así como el Cuadro N°4 que contiene un resumen de las principales pruebas de laboratorio realizadas.

## Diagrama de Bloques N° 4

### Obtención del Óxido Cuproso por Reacción a Bajas Temperaturas



**CUADRO N° 4**

**PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO CUPROSO REALIZADAS POR REACCIÓN A BAJA TEMPERATURA**

Tiempo de Reacción= 1,5 h

Concentración de la Solución de Hidróxido de Sodio= 40g/l

Concentración de la Solución de Hidroxilamina= 50g/l

N° DE PRUEBA	Cantidad de Sulfato de Cobre Pentahidratado Utilizada	Cantidad de Soda Utilizada (mL)	Cantidad de Hidroxilamina Utilizada (mL)	Temperatura (°C)	Peso de Óxido Teórico (α)	Peso de Óxido Obtenido (α)	Rendimiento (%)	Principales Observaciones	Conclusiones
1	2,4	20	13,5	0	0,7009	0,5759	82,17	El precipitado inicial que se produjo fué de color verde, cambiando luego a un color amarillo. El producto obtenido es óxido cuproso amarillo pero en mezcla con cloruro de cobre, un sólido verde claro y este último es en más cantidad que el óxido cuproso (precipitado amarillo), esto fue determinado por análisis de Difracción de Rayos X.	Las condiciones dadas en la prueba realizada no son las adecuadas para la obtención de óxido cuproso a baja temperatura.
2	2,4	20	13,5	0	0,7009	0,7179	102,43(*)	Al óxido obtenido en esta prueba no se le enjuagó con agua clorhídrica por ello el exceso de peso del producto obtenido. Se obtuvo nuevamente una mezcla de cloruro de cobre y óxido cuproso.	El agua ácida disuelve parte del óxido cuproso y el cloruro de cobre al enjuagar el producto.
3	2,4	20	13,5	15	0,7009	0,6889	98,29	La reacción se produce más rápido a esta temperatura, el inconveniente de esto es que se produce más cantidad de cloruro de cobre que de óxido cuproso.	La mayor temperatura no benefició la formación del óxido cuproso.
4	4,8	40	27	5	1,4017	1,8653	118,80(*)	En esta prueba no se le agregó hielo directamente a la solución, sino que se mantuvo frío externamente en un baño de hielo. Se observó tanto óxido cuproso como cloruro de cobre.	A estas condiciones se produce un exceso de peso mayor que en las anteriores pruebas.
5	4,8	40	32	5	1,4017	1,7245	123,03(*)	Se agregaron 5 ml de hidroxilamina luego de producida la reacción (una vez formado el óxido). El cloruro de cobre se formó en mayor cantidad que en las anteriores pruebas.	El exceso de hidroxilamina agregado a la solución, después de producida la reacción, no beneficia la formación del óxido cuproso.
6	2,4	20	18,5	5	0,7009	0,8804	125,63(*)	Esta vez la hidroxilamina se agregó de una sola vez, la coloración verde (cloruro de cobre) es aún de mayor intensidad y más predominante.	Aunque la hidroxilamina se agregó en exceso desde el inicio, este exceso perjudica la formación del óxido cuproso.
7	4,8	60	27	7	1,4017	1,2621	90,04	Esta vez se varió el orden de los reactivos, primero se tenía el sulfato de cobre pentahidratado, luego se agregó el hidróxido de sodio y en tercer lugar la hidroxilamina. El compuesto formado fue más estable presentando 85% de óxido cuproso, la coloración fue amarillo intenso.	Favorece la reacción para producir óxido cuproso, el agregar en segundo lugar al hidróxido de sodio, ya que le da más estabilidad e impide la formación de cloruro cuproso.
8	4,8	70	27	6	1,4017	1,3632	97,25	Se utilizó un exceso en la cantidad de hidróxido de sodio, con un pH=13, esto favoreció la formación del óxido cúprico lo cual se observó por la coloración marrón.	El exceso de hidróxido de sodio no es conveniente ya que facilita las reacciones secundarias.
9	4,8	65	27	6	1,4017	1,2206	87,07	Esta vez se usó un exceso moderado de soda cáustica lo que favorece la formación del óxido cúprico (35%)	Por el efecto del pH alto se obtiene más cantidad del óxido cúprico
10	4,8	55	27	6	1,4017	1,3861	98,89	La cantidad de soda no es lo suficiente por lo que se detectó según análisis la presencia de Cloruro de Cobre.	la cantidad de soda apropiado es mayor e 55 ml.
11	4,8	65	27	6	1,4017	1,4064	100,33(*)	Igual que la anterior presenta alta cantidad de óxido cúprico(35%).	La cantidad de soda usada está en exceso.
12	4,8	59	27	6	1,4017	1,4465	103,20(*)	Se obtuvo un producto de color naranja rojizo y de alta pureza (aproximadamente 98%)	Se establecieron estas condiciones como las mejores para obtener un producto de buena calidad.

(\*) Los valores de rendimiento mayores al 100% se deben al peso adicional de cloruro cuproso u óxido cúprico que contamina el producto.

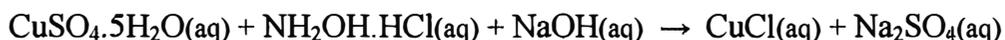
#### 5.1.1.2.3.1 Observaciones:

Se usó en esta oportunidad el sulfato de cobre más diluido ya que anteriormente se tomó en cuenta la solubilidad del sulfato de cobre en función de la temperatura y como esta no es constante llega a cristalizar variando la concentración final de la solución.

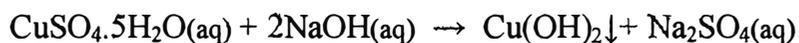
Al inicio de las pruebas se notó la formación del cloruro cuproso encontrado en la obtención del óxido cuproso por el método a bajas temperaturas, esto es debido al pH al que se trabaja, usando las cantidades antes mencionadas el medio es muy ácido por lo cual se hicieron nuevas pruebas, con mayor cantidad de hidróxido de sodio, para así elevar el pH y se torne básico, mejorando de esa manera el porcentaje de óxido cuproso formado.

Se ha encontrado que trabajando con 55-60 mL de hidróxido de sodio se consigue un pH de 10-12. La pureza del óxido cuproso formado es mayor (85-98%) y esto debido a que se elimina el efecto de reacción del óxido con el medio ácido formando el cloruro de cobre.

Al inicio se usaron los reactantes en diferente orden: primero el sulfato de cobre pentahidratado después la hidroxilamina y finalmente el hidróxido de sodio, lo cual resultaba que se producía en mayor porcentaje de cloruro cuproso en lugar del óxido cuproso y esto debido a que ocurría la siguiente reacción:



Para evitar la formación del cloruro cuproso se adicionó el hidróxido de sodio en segundo lugar para favorecer la formación de hidróxido de cobre II que al agregar la hidroxilamina se reduce a hidróxido de cobre I, y posteriormente por el retiro de calor al inicio de la reacción y de un posterior tiempo de reacción forma el óxido cuproso.



El pH más apropiado para el método de reacciones a bajas temperaturas y por lo tanto para la formación del óxido cuproso es aproximadamente de 9, a un pH menor se formará en mayor cantidad de cloruro cuproso y a un pH mayor se formará en mayor cantidad el óxido cúprico.

El que se halla preparado una solución de sulfato de cobre pentahidratado más diluida permite disminuir la temperatura de este sin que se altere la concentración por llegar a estar cerca de su punto de saturación.

## **5.1.2 Obtención de Óxidos de Cobre por Calcinación de Sulfato de Cobre**

### **Pentahidratado:**

Por este método se busca obtener óxido de cobre al someter al sulfato de cobre pentahidratado a altas temperaturas, la formación de estos compuestos depende, además de la temperatura, de las presiones parciales de oxígeno y de dióxido de azufre, presentes en la atmósfera y que se producen durante la reacción.

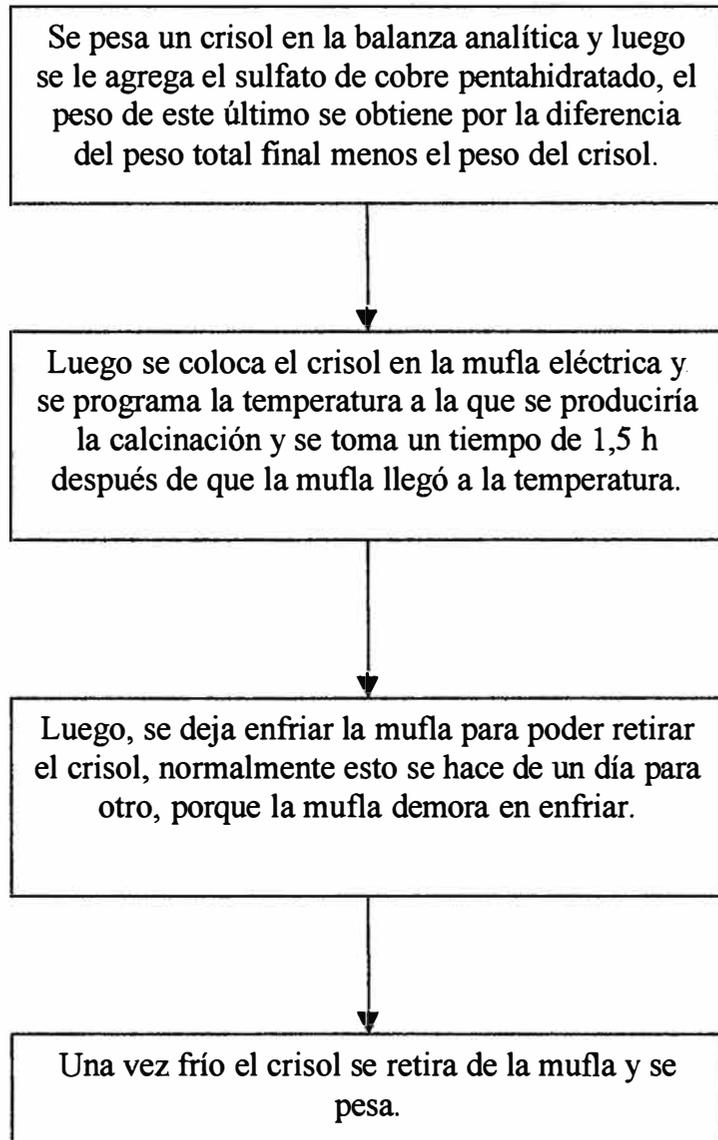
#### **5.1.2.1 Obtención de Óxido Cúprico:**

La obtención del óxido cúprico no requiere de temperaturas demasiado altas, en la bibliografía (2 y 5) se obtuvieron datos de temperaturas desde 650°C hasta 800°C. Un resumen de las pruebas realizadas por este método se presenta en el Cuadro N° 5.

## Diagrama de Bloques N° 5

### Obtención del Óxido Cúprico por Calcinación del Sulfato de Cobre

#### Pentahidratado



**CUADRO N° 6**

**PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO CÚPRICO POR EL MÉTODO DE CALCINACIÓN DE SULFATO DE COBRE**

N° DE PRUEBA	Cantidad de Sulfato de Cobre Pentahidratado (g)	Temperatura de la Mufla (°C)	Tiempo de Reacción (h)	Peso de Óxido Teórico (g)	Peso de Óxido Obtenido (g)	Rendimiento (%)	Principales Observaciones	Conclusiones
1	3,01	670	2	1,02	1,62	159,05	Se trabajó a 670°C la primera vez, ya que esa es la temperatura teórica para que el sulfato de cobre pase a formar óxido cuproso. El sólido obtenido no fue óxido cuproso sino una mezcla de sulfato de cobre e hidróxido cúprico, lo cual se comprobó disolviendo esta mezcla en agua obteniéndose una solución de sulfato de cobre y sólido insoluble de hidróxido cúprico.	La temperatura utilizada está muy por debajo de la necesaria debido a que no se observó sólido negro (óxido cúprico) en el producto obtenido, lo que indica que la reacción ni siquiera se inició. El exceso de peso del producto se debe a que los compuestos obtenidos son más pesados que el óxido cuproso.
2	2,63	800	2	0,89	0,84	94,23	El producto obtenido fue de color negro y resultó ser óxido cúprico. Se observó una reacción completa del sulfato de cobre pentahidratado.	La temperatura utilizada es suficiente para que se produzca el óxido cuproso a partir del sulfato de cobre. La temperatura necesaria para la reacción esta entre 670 y 800°C.
3	5,06	750	2	1,72	2,87	167,31	El producto obtenido no resultó ser óxido cuproso, sino nuevamente la mezcla de sulfato de cobre e hidróxido cúprico, un sólido de color marrón claro.	La temperatura no fue suficiente para la obtención de óxido cuproso.
4	6,18	780	2	2,10	2,72	129,89	Se obtuvo una mezcla del sólido marrón claro obtenido anteriormente. Se obtuvo una pequeñísima cantidad de óxido cúprico.	Las trazas de óxido cúprico obtenidas indican que la temperatura ideal es cercana a 780°C.
5	5,66	790	2	1,92	1,81	94,44	Se obtuvo un sólido negro de óxido cúprico, al parecer se produjo una reacción completa.	La temperatura necesaria para la obtención de óxido cuproso es de 790°C
6	6,16	790	1	2,09	2,11	100,68	No se obtuvo el óxido cúprico en este caso, a pesar de ser la temperatura de 790°C.	El tiempo de una hora no es suficiente para que se produzca la reacción.
7	5,00	790	1,5	1,70	1,60	94,53	Se obtuvo una reacción completa.	El tiempo de una hora y media parece ser suficiente para que se produzca la reacción.
8	5,43	790	1,5	1,84	1,74	94,47	Se obtuvo una reacción completa.	El rendimiento de la reacción presenta sólo una pequeña variación con respecto a la prueba realizada con anterioridad a las mismas condiciones. Lo que significa que las reacciones se producen similarmente.
9	6,91	820	1,5	2,35	2,21	94,39	Se obtuvo una reacción completa.	El rendimiento de la reacción es aceptable, y al parecer los compuestos adicionales presentes en la materia prima reaccionaron formando otros compuestos de menor peso.

### **5.1.2.1.1 Observaciones:**

Para obtener el óxido cúprico se sometió al sulfato de cobre primero a una temperatura de 670°C, ya que en la bibliografía encontramos que se forma el óxido cúprico a esta temperatura, pero al realizar la prueba no se obtuvo óxido cúprico ya que la temperatura resultó ser insuficiente a las condiciones de presiones parciales de oxígeno y dióxido de azufre dadas.

Después de realizar varias pruebas para determinar la temperatura requerida para la formación del óxido cúprico, lo obtuvimos a una temperatura de 800°C, una vez determinada la temperatura se realizaron pruebas para determinar el tiempo necesario para producir la calcinación del sulfato de cobre hasta la formación del óxido cúprico, que resultó ser de una hora y media. La reacción que se produce para obtener el óxido cúprico es la siguiente:



El producto obtenido por este método presentó un color gris oscuro tendiendo a negro, en lugar del color café oscuro que presentó el óxido cúprico obtenido por el método de precipitación de hidróxido cúprico.

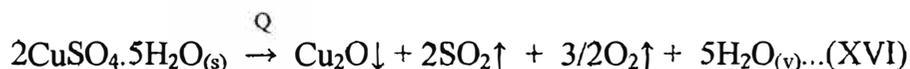
### **5.1.2.2 Obtención de Óxido Cuproso:**

En este caso según la bibliografía (5) encontrada, se tiene que el óxido cuproso se puede obtener sometiendo al sulfato de cobre a una temperatura de 1030°C. Por esto se trató primero de obtener el óxido cuproso a una temperatura de 1000°C, pero sólo se obtuvo óxido cúprico. Como en el

caso del óxido cúprico la temperatura necesaria resultó ser mucho mayor que la indicada por la bibliografía se decidió probar con una temperatura mayor, para esto se consiguió un horno que podía soportar hasta una temperatura de 1180°C, entonces se sometió al sulfato de cobre a esta temperatura durante un poco más de dos horas pero no se obtuvo el óxido cuproso sino sólo el óxido cúprico y unas pequeñas trazas de sólido color naranja, que si fuera el óxido cuproso indicaría que todavía se está un poco lejos de la temperatura necesaria.

Lamentablemente a escala de laboratorio no pudimos conseguir un horno que nos proporcionase una temperatura mayor a 1180°C (aunque la capacidad máxima de este horno es de 1200°C, no se puede forzar al equipo a trabajar a su límite máximo, porque se corre el riesgo de averiar el equipo), además de que a esta temperatura el producto obtenido es un bloque bastante duro y prácticamente imposible de separar del crisol, por lo que tuvimos que desechar el crisol utilizado en la mencionada prueba. Esto también sucedió en menor grado en el crisol que utilizamos a 1000°C, que después de estar expuesto a ácido durante varios días recién pudimos recuperar. Todo esto nos indica que para obtener el óxido cuproso a estas condiciones se requeriría de una temperatura entre 1200 a 1300°C, además de que se necesitarían recipientes especiales para poder recuperar luego el óxido cuproso producido que sería un bloque muy duro o en su defecto diseñar un sistema especial de calcinación que no permita la formación de dicho bloque.

La reacción que se produciría, en caso de someter al sulfato de cobre pentahidratado a la temperatura adecuada sería la siguiente:



### **5.1.2.3 Obtención de Sulfato de Sodio:**

En los métodos utilizados por precipitación de hidróxido cúprico y precipitación de hidróxido cuproso se obtiene una solución remanente de la filtración, la cual al llevarse a secar en una plancha eléctrica, en la que se evapora lentamente el agua, se seca la solución para producir así cristales de la sal de sulfato de sodio, el cual es el subproducto de la reacción principal. Se obtuvo la sal en forma de una lámina que luego se molió en fragmentos para poder analizar el sulfato obtenido, éstos fueron de color blanco y presentaban cortes definidos al quebrarse. En el método que utiliza clorhidrato de hidroxilamina como agente reductor el sulfato de sodio se encuentra en solución con bajas cantidades de cloruro de sodio. En el Anexo C se muestran los resultados del análisis por Difracción de Rayos X realizado a las muestras de sulfato de sodio obtenidas por los distintos métodos de precipitación de hidróxido de cobre.

## **5.2 Parámetros a Evaluar.-**

Los parámetros a evaluar en estas pruebas son el rendimiento de la reacción así como la calidad del producto obtenido por cada método. Para esto se muestran los cálculos realizados para determinar el rendimiento de las reacciones en el Anexo C y los resultados de los análisis cuantitativos y por Difracción con Rayos X en el Anexo D.. Debido a la alta pureza de los productos y también a su alto rendimiento (mostrados para cada método en el Cuadro N° 6), además teniendo en cuenta que los resultados en pruebas a nivel piloto pueden variar a favor o en contra de la reacción en la etapa de pruebas a nivel de planta piloto, se estudiará el método 1 para la obtención del óxido cúprico y los métodos 2, 3 y 4 para la obtención de óxido cuproso. En la siguiente página se muestra el Cuadro N° 6 que es un cuadro comparativo de los diferentes métodos estudiados en laboratorio

## Cuadro N° 6

### Cuadro Comparativo de los Métodos de Obtención de Óxidos de Cobre Desarrollados en Laboratorio

**Método 1** = Método de Obtención de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico.

**Método 2** = Método de Obtención de Óxido Cuproso utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como Reductor.

**Método 3** = Método de Obtención de Óxido Cuproso utilizando Glucosa como Reductor

**Método 4** = Método de Obtención de Óxido Cuproso por Precipitación a Bajas Temperaturas.

**Método 5** = Método de Obtención de Óxido Cúprico por Calcinación del Sulfato de Cobre Pentahidratado.

**Método 6** = Método de Obtención de Óxido Cuproso por Calcinación del Sulfato de Cobre Pentahidratado.

	<b>Método 1</b>	<b>Método 2</b>	<b>Método 3</b>	<b>Método 4</b>	<b>Método 5</b>	<b>Método 6</b>
<b>Muestra (N° de Cuadro)</b>		Muestra 17 (Cuadro 1)	Muestra 12 (Cuadro 2)	Muestra 12 (Cuadro 3)	Muestra 8 (Cuadro 4)	(**)
<b>Requerimiento además de <math>\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math></b>	Hidróxido de Sodio	Hidróxido de Sodio Hidroxilamina	Hidróxido de Sodio Glucosa	Hidróxido de Sodio Hidroxilamina	-	-
<b>Temperatura de la Reacción</b>	100°C	100°C	100°C	5°C	800°C	1180°C
<b>Requerimiento de Energía</b>	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Alto
<b>Tiempo de Reacción</b>	0,5 h	0,5 h	0,5 h	2 h	1,5 h	2 h
<b>Tratamiento de la Materia Prima</b>	No es necesario.	Requiere Tratamiento	Requiere Tratamiento	Requiere Tratamiento	No es práctico	No es práctico
<b>Dificultad de la Operación (*)</b>	Baja	Media	Media	Media	Baja	Alta
<b>Peso del Óxido por c/100 g de <math>\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math></b>	32 g	29 g	29 g	29 g	32 g	N.D.
<b>Sub Productos de la Reacción</b>	Sulfato de Sodio	Sulfato de Sodio Cloruro de Sodio	Sulfato de Sodio Ácido Oxálico	Sulfato de Sodio Cloruro de Sodio	Dióxido de Azufre Oxígeno	Dióxido de Azufre Oxígeno
<b>Contaminantes Potenciales del Producto</b>	N.D.	Óxido Cúprico	Óxido Cúprico	Óxidos de otros Metales	N.D.	N.D.
<b>Rendimiento</b>	99,70%	99,82%	100%	91,75%	94,42%	N.D.
<b>Pureza del Producto</b>	99%	95%	98%	98%	95%	(**)

(\*) Tomando como base el control de las variables de reacción.

(\*\*) El producto deseado (óxido cuproso), no se pudo obtener a estas condiciones.

(\*\*\*) Se considera la presencia de un exceso de peso debido a impurezas.

N.D. No Determinado.

### **5.3 Requerimientos de Insumos y Servicios.-**

Para realizar las pruebas a nivel piloto se requerirán los mismos insumos que para las pruebas a nivel de laboratorio, los cuales son:

- ◊ Sulfato de Cobre Pentahidratado
- ◊ Hidróxido de Sodio
- ◊ Clorhidrato de hidroxilamina
- ◊ Glucosa
- ◊ Agua.

En cuanto a los servicios requeridos, como la producción será mayor se necesitarán los siguientes servicios:

- ◊ Vapor de Agua
- ◊ Energía Eléctrica
- ◊ Agua de Enfriamiento

## **6. Proceso de Obtención a Nivel Piloto.-**

### **6.1 Tratamiento de la Materia Prima:**

Se realizará una descripción del tratamiento dado a la materia prima principal (sulfato de cobre pentahidratado), antes de ser utilizada en el proceso de producción de los óxidos de cobre.

Primero, se prepara una solución de sulfato de cobre casi saturada con 375 g de sulfato de cobre pentahidratado y 2 L de agua destilada, luego se filtra la solución para separar el material insoluble en agua (que representa casi un 2% del peso total), después se completa el volumen de la solución hasta la concentración deseada para utilizarlo en la producción.

### **6.2 Descripción del Proceso a Nivel Piloto:**

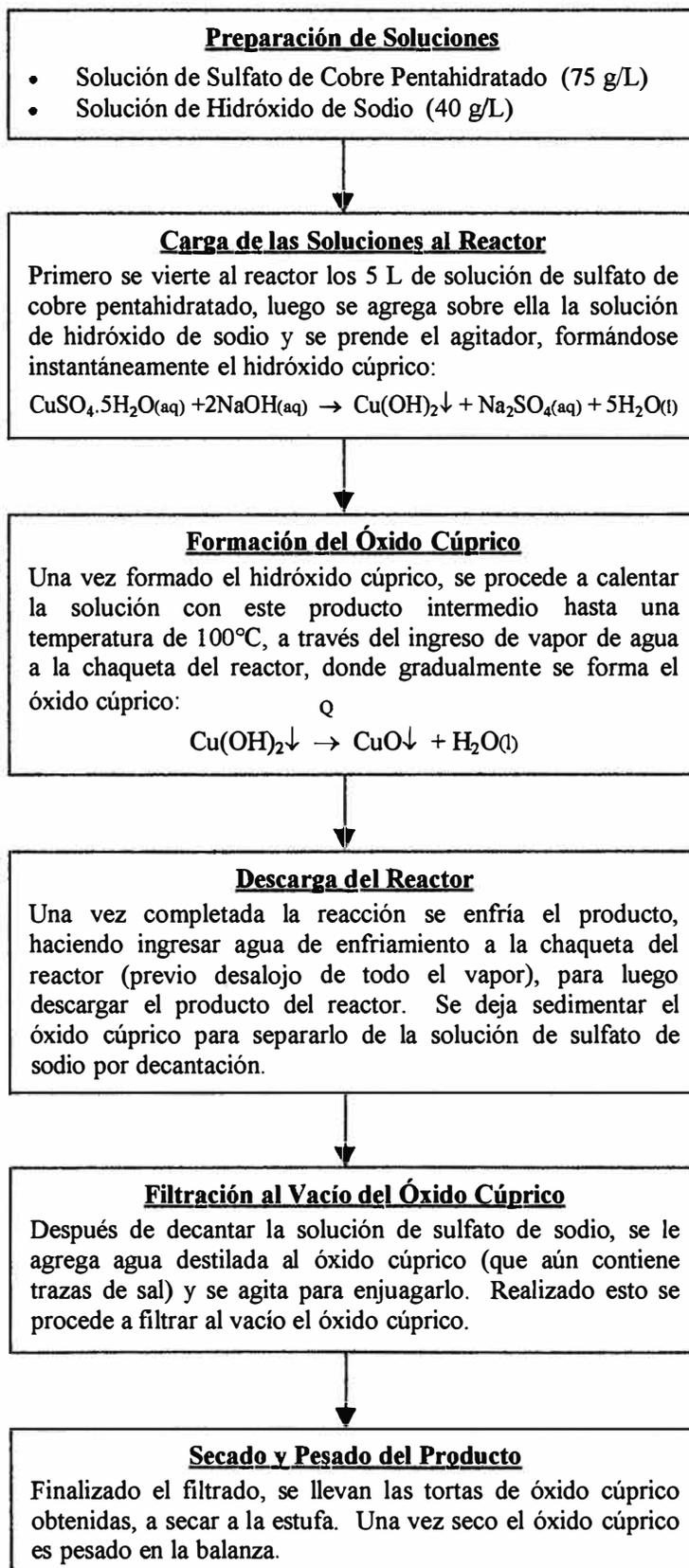
En esta sección del informe se describirán las pruebas que se realizaron por cada método:

#### **6.2.1 Obtención de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico:**

Para realizar estas pruebas se tomó como base una carga de 5 litros de solución de sulfato de cobre pentahidratado (75 g/L) y la cantidad de hidróxido de sodio que corresponde estequiométricamente (3,125 L de solución a una concentración de 40 g/L). La cantidad de hidróxido de sodio utilizada en las pruebas piloto se redujo a la estequiométrica debido a que, el exceso de hidróxido de sodio establecido en las pruebas a nivel de laboratorio dio como resultado un producto de menor calidad (con una diferencia de casi 10%) al obtenido utilizando exactamente la cantidad estequiométrica.

## Diagrama de Bloques N° 6

### Obtención de Óxido Cúprico a Nivel Piloto:



Las pruebas realizadas se describen en el Cuadro N° 7, en las que se indican las cantidades de reactantes utilizadas, el tiempo de reacción, la temperatura, la cantidad de producto obtenido y la calidad del mismo.

### Cuadro N° 7

#### Pruebas Realizadas para la Obtención de Óxido Cúprico

**DATOS CONSTANTES:**

Volumen de Solución de Sulfato de Cobre Pentahidratado = 5 L

Volumen de Solución de Hidróxido de Sodio = 3,125 L

Temperatura de Reacción = 100°C

Peso de Sulfato de Cobre Pentahidratado = 375 g

Peso de Hidróxido de Sodio = 125 g

Peso Teórico de Óxido Cúprico a obtener = 117,10 g

N° DE PRUEBA	Tiempo de Reacción (min)	Peso de Producto Obtenido (g)	Porcentaje de Pureza	Rendimiento (%)	Observaciones
1 (*)	30	(-)	84,31	(-)	Esta prueba se realizó en el reactor batch de vidrio, teniendo como objetivo determinar la calidad del producto obtenido con la cantidad de hidróxido de sodio determinada en las pruebas de laboratorio, dándole el mismo tiempo de reacción que se dió en laboratorio.
2	30	(-)	94,30	(-)	Esta prueba se realizó en el reactor batch de vidrio, para determinar la variación de la calidad del producto obtenido con respecto a la prueba anterior, dándole el mismo tiempo de reacción.
3	60	120,79	96,38	103,15(*)	Esta prueba se realizó en el reactor batch enchaquetado, una vez determinada la cantidad de hidróxido de sodio ideal, se procedió a variar el tiempo de reacción para establecer la variación de la calidad del producto con respecto al tiempo de reacción a 100°C.
4 (**)	0	107,59	93,11	91,88	La presente prueba se realizó para establecer si la reacción de formación del óxido cúprico podía ser instantánea al hacer reaccionar el hidróxido de sodio con la solución de sulfato de cobre caliente, se pudo ver que el óxido cúprico se formaba directamente, sin pasar por la formación del hidróxido cúprico, aunque la reacción no es totalmente completa porque el porcentaje de óxido es de 93%.
5	45	126,15	95,78	107,73(*)	Esta prueba se desarrolló para obtener más datos sobre la variación de la calidad del producto con relación al tiempo de reacción a 100°C.
6	15	126,02	93,03	107,61(*)	Del mismo modo que la prueba anterior, esta se desarrolló para obtener datos de rendimiento y calidad del producto al variar el tiempo.

(-) No se tomaron esos datos en estas pruebas.

(\*) El exceso de rendimiento se debe a la presencia de sulfato de sodio y a la humedad absorbida por el producto.

(\*\*) La cantidad de solución de hidróxido de sodio utilizada en esta prueba es de 4,6875 L, exceso establecido en laboratorio.

(\*\*\*) La prueba se realizó a una temperatura de 88°C.

### **6.2.1.1. Observaciones de las Pruebas Realizadas para obtener Óxido Cúprico:**

Las pruebas para producir óxido cúprico se iniciaron en el reactor de vidrio, debido a que las corridas en el reactor enchaquetado resultaban ser más costosas (debido al combustible), pero finalmente este reactor también tenía desventajas, ya que no contaba con un agitador, y esto afectaba la uniformidad de la reacción, tanto en temperatura como en concentración; por ello las siguientes pruebas se realizaron también en el reactor enchaquetado.

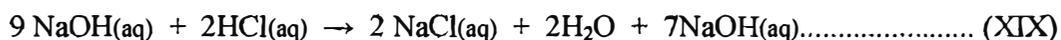
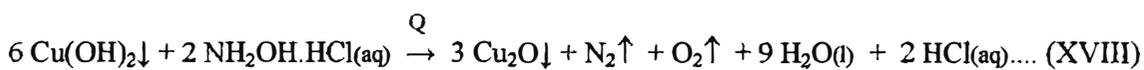
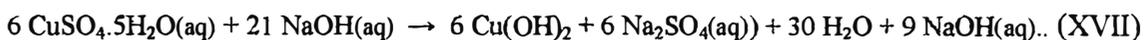
El exceso de peso del Oxido Cúprico que se nota en el elevado rendimiento de la reacción es debido a que el producto no está saliendo totalmente puro y que contiene impurezas, entre ellas podría ser que presente trazas de Sulfato de Sodio, lo cual es muy probable ya que el óxido presenta en su superficie una capa fina brillante, la cual es más notoria al secar el producto.

El Oxido Cúprico es un producto que tiende a absorber gran cantidad de agua, esto se nota ya que luego de filtrar este es muy voluminoso, sin embargo al terminar de secarse este volumen se reduce considerablemente. La propiedad anterior es desfavorable en el momento del filtrado ya que este obstruye rápidamente el medio de filtración, siendo necesario cambiar el papel de filtro por otro nuevo.

Para las pruebas realizadas con variación de tiempos se trabajó con la cantidad estequiométrica de Hidróxido de Sodio, esto se hizo así por el hecho que esta condición favorece la calidad del óxido cúprico como se puede ver en el Cuadro N°7.

**6.2.2. Obtención de Óxido Cuproso por Precipitación de Hidróxido Cuproso y Calentamiento Utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como Reductor:**

Para realizar estas pruebas se tomó también como base una carga de 5 litros de solución de sulfato de cobre pentahidratado (75 g/L), la cantidad de hidróxido de sodio establecida en laboratorio que corresponde (5,3125 L de solución a una concentración de 40 g/L) y la cantidad estequiométrica de hidroxilamina correspondiente a la solución del Sulfato de Cobre (2,110 L de solución con una concentración de 50 g/L). Debido a que en la solución obtenida por la reacción se detectó una fuerte presencia de amoníaco, con lo cual, la reacción que se produce con la hidroxilamina sería diferente a la propuesta en la etapa de laboratorio, siendo esta la reacción (XVII):

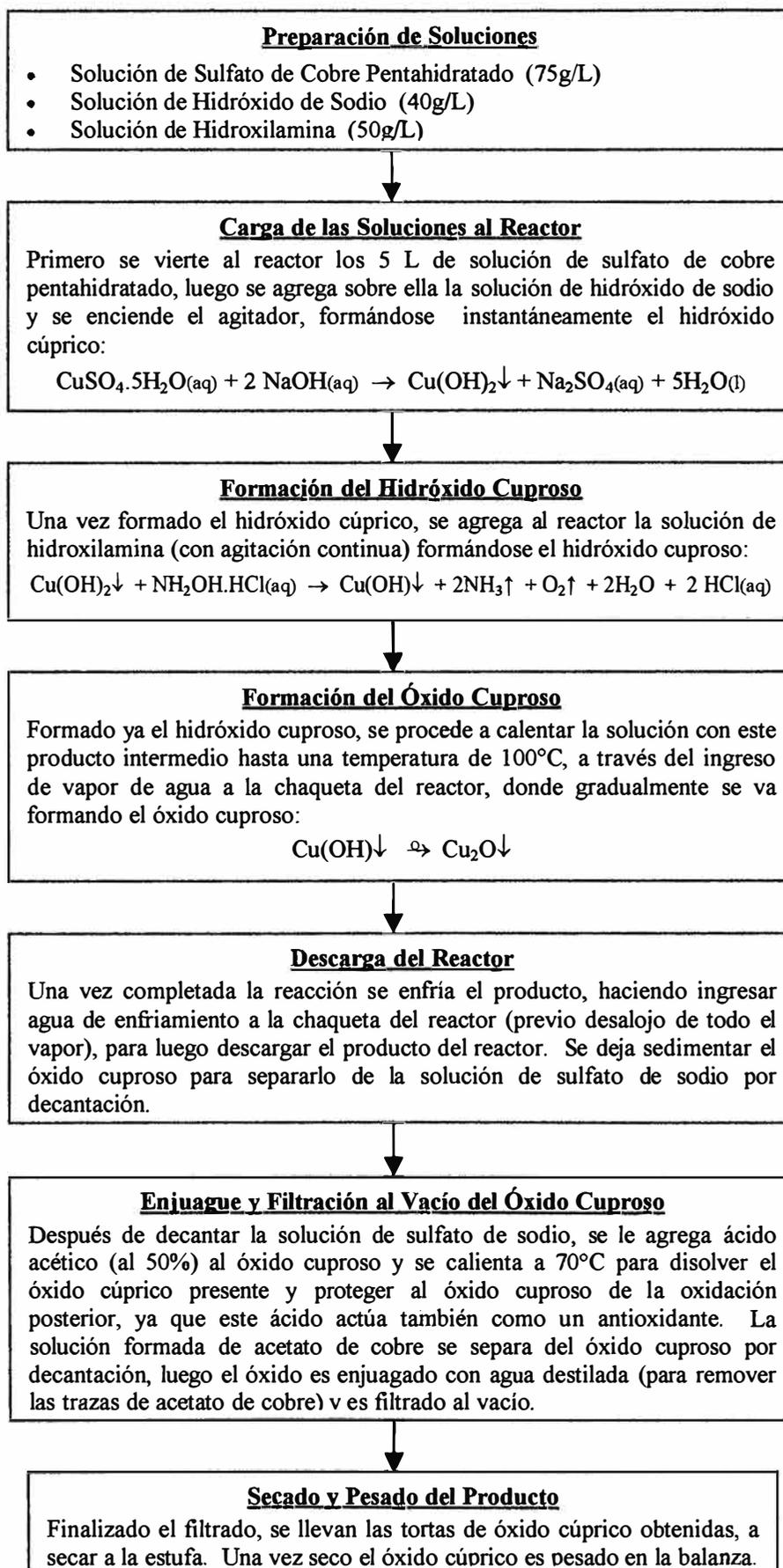


Los resultados de las pruebas realizadas se describen en el Cuadro N°8, en las que se indican las cantidades de reactantes utilizadas, el tiempo de reacción, la temperatura, la cantidad de producto obtenido y la calidad del mismo.

## Diagrama de Bloques N° 7

### Obtención de Óxido Cuproso a Nivel Piloto Utilizando Hidroxilamina como

#### Agente Reductor



### Cuadro N° 8

## Pruebas Realizadas para la Obtención de Óxido Cuproso con Clorhidrato de Hidroxilamina como Agente Reductor

#### DATOS CONSTANTES:

Volumen de Solución de Sulfato de Cobre Pentahidratado = 5 L  
 Volumen de Solución de Hidróxido de Sodio = 3,125 L  
 Volumen de Solución de Hidroxilamina = 2,110 L  
 Temperatura de Reacción = 100°C

Peso de Sulfato de Cobre Pentahidratado = 375 g  
 Peso de Hidróxido de Sodio = 125 g  
 Peso de Hidroxilamina = 105,5g  
 Peso Teórico de Óxido Cuproso a obtener = 105,32 g

N° DE PRUEBA	Tiempo de Reacción (min)	Peso de Producto Obtenido (g)	Porcentaje de Pureza	Rendimiento (%)	Observaciones
1	30	(*)	(*)	(*)	El producto obtenido en esta prueba, que se realizó en el reactor batch encaquetado, se oxidó por completo al dejarse secando en la estufa, debido a que la cantidad de óxido cuproso era grande comparada con la cantidad manejada en laboratorio y por lo tanto la cantidad de agua a secar era también mayor lo que provocó que el óxido permaneciera húmedo por más tiempo facilitándose así la oxidación de éste.
2	30	(*)	88,00	(*)	El secado del producto en esta prueba se observó con más detenimiento, para establecer el mínimo de tiempo requerido para secar (4,5 horas). La oxidación del producto empezaba a producirse dentro de la primera hora de secado.
3	48	(*)	90,00	(*)	El producto se puso a secar en varios papeles de filtro, de tal manera que la cantidad de óxido en cada papel permitiera que el secado sea más rápido y por lo tanto que la oxidación sea menor. Sin embargo, el producto aún seco no presenta mucha estabilidad, ya que continúa oxidándose.
4	30	(*)	89,40	(*)	En esta prueba se perdió una parte del producto al momento de descargar el reactor, por lo que no se tomó como dato el peso de óxido cuproso obtenido.
5 (**)	30	107,46	86,60	102,04	Esta prueba se realizó variando la temperatura para determinar si la variación de la calidad del producto era apreciable al realizar la reacción a menos temperatura, pero con el mismo tiempo de reacción. La variación fue de alrededor del 2%.
6	0	(*)	88,99	(*)	Como en el caso del óxido cúprico, esta prueba se realizó para determinar la variación de la calidad del producto respecto al tiempo de reacción a 100°C. En esta prueba apenas se llegó a la temperatura de 100°C se enfrió el producto y se finalizó la prueba.
7	45	100,66	89,42	95,58	Esta prueba se desarrolló al igual que la anterior, para tomar datos de calidad vs. tiempo de reacción, el producto se enjuagó con 180 ml de solución de ácido acético al 50%.
8	15	103,67	87,45	98,44	Al igual que las anteriores pruebas, esta nos da un dato adicional sobre el tiempo de reacción y la calidad del óxido cuproso obtenido.

(\*) No se tomaron esos datos en estas pruebas.

(\*\*) La prueba se realizó a una temperatura de 80°C.

### **6.2.2.1. Observaciones de las Pruebas Realizadas para Obtener Óxido Cuproso:**

El producto obtenido en las primeras pruebas realizadas a nivel piloto resultó ser más inestable que el obtenido a nivel laboratorio, debido a que la cantidad de óxido cuproso producido era bastante mayor que la obtenida en laboratorio, por lo que la operación de secado requería de más tiempo y el producto retenía la humedad también por más tiempo, facilitándose así la oxidación.

Como ya se había establecido en las pruebas de laboratorio, el principal contaminante del óxido cuproso es el óxido cúprico, este último aumenta su proporción en el producto debido a la inestabilidad del óxido cuproso (oxidación con la humedad y el oxígeno del ambiente); por ello se buscó una manera de separar el óxido cúprico del óxido cuproso, siendo esta el empleo del ácido acético como solvente del óxido cúprico, de tal forma que sólo se tenga óxido cuproso al final. Al realizar esta operación también proveemos al producto de una protección contra la oxidación, ya que el ácido acético actúa también como un agente antioxidante.

La formación de amoníaco en la reacción no se detectó en las pruebas a nivel laboratorio, debido a que las cantidades de reactantes y productos con los que se trabajaban eran pequeñas, por lo tanto la presencia de amoníaco era tan baja que no se podía percibir.

A diferencia del óxido cúprico el óxido cuproso absorbe poca humedad, por lo que es más fácil y rápido de filtrar que el óxido cúprico y conserva casi el mismo volumen después de terminado el secado.

### **6.2.3. Obtención de Óxido Cuproso por Precipitación de Hidróxido Cuproso y Calentamiento Utilizando Glucosa Monohidratada como Reductor:**

En este caso se estableció el rendimiento por tiempos en las pruebas de laboratorio, por ello se realizaron dos pruebas a nivel piloto, para comprobar el rendimiento y calidad del producto obtenido bajo las condiciones de reacción establecidas en las pruebas de laboratorio.

Para estas pruebas se utilizaron 5 L de solución de sulfato de cobre pentahidratado (150 g/L), 1,3215 L de solución de glucosa (20 g/L) y 3,7143 l de solución de hidróxido de sodio (80 g/L). Se procedió a realizar la reacción agregando a los 5 l de sulfato de cobre pentahidratado la solución de glucosa, la mezcla de estas dos soluciones no causa ninguna reacción; luego se agrega la solución de hidróxido de sodio a la mezcla anterior con una agitación constante. El producto de esta reacción es el hidróxido cúprico, no se produce ninguna variación en este producto ni con el transcurrir del tiempo ya que la glucosa no provoca ninguna reacción a la temperatura ambiente; al calentar la solución que contiene al hidróxido cúprico recién empieza a actuar la glucosa como reductor, convirtiendo primero al hidróxido cúprico en hidróxido cuproso y luego en óxido cuproso, completándose esta reacción cuando los productos llegan a una temperatura de 98°C a la cual empieza a ebulir la solución obtenida. Al igual que en las pruebas de laboratorio se obtuvo un producto de color naranja encendido y una solución de color naranja transparente.

Los rendimientos de estas pruebas fueron los siguientes, considerando que el peso teórico a obtener en esta prueba es de 202,6762 g:

### Cuadro N° 9

#### **Obtención de Óxido Cuproso por Precipitación de Hidróxido Cuproso y Calentamiento Utilizando Glucosa Monohidratada como Reductor**

<b>N° de Prueba</b>	<b>W de Cu<sub>2</sub>O obtenido (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
1	197,8623	92,06
2	207,4900	96,54
<b>Promedio</b>	202,6762	94,30

Entonces el rendimiento promedio de la prueba sería de 94,30%.

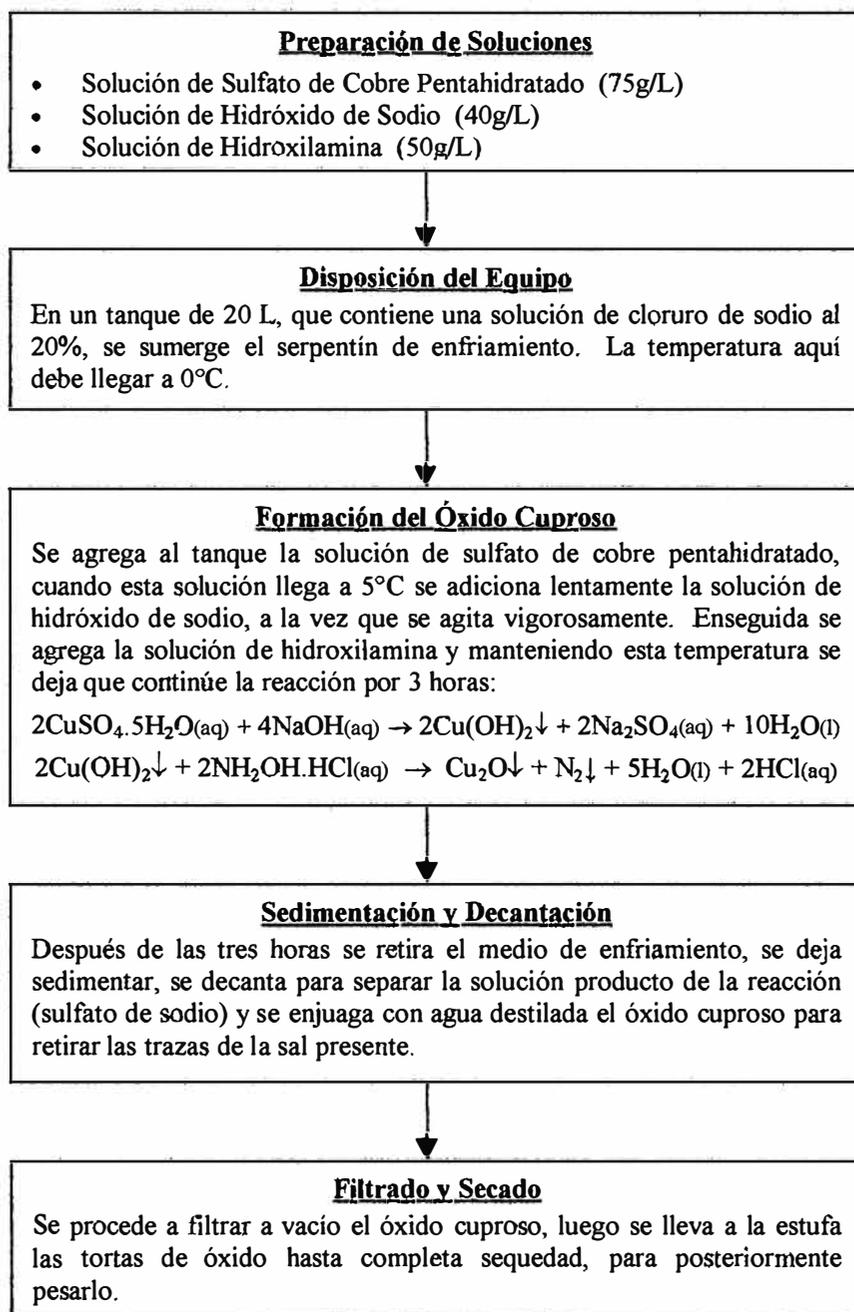
#### **6.2.4. Obtención de Óxido Cuproso por Reacción a Baja Temperatura:**

Al igual que en los anteriores métodos desarrollados en esta etapa del estudio, se tomó como base una carga de 5 litros de solución de sulfato de cobre pentahidratado (75 g/L), la cantidad de hidróxido de sodio establecida en laboratorio que corresponde (4,610 L de solución a una concentración de 40g/L) y la cantidad estequiométrica de hidroxilamina correspondiente a la solución del Sulfato de Cobre (2,110 L de solución con una concentración de 50 g/L).

Los resultados de las pruebas realizadas se describen en la Cuadro N° 10, en las que se indican las cantidades de reactantes utilizadas, el tiempo de reacción, la temperatura, la cantidad de producto obtenido y la calidad del mismo.

## Diagrama de Bloques N° 8

### Obtención de Óxido Cuproso a Nivel Piloto por Reacción a Baja Temperatura



### Cuadro N° 10

#### **Pruebas Realizadas para la Obtención de Óxido Cuproso por el Método de Precipitación de Hidróxido Cuproso a Bajas Temperaturas**

##### DATOS CONSTANTES:

Volumen de Solución de Sulfato de Cobre Pentahidratado	= 5 L	Peso de Sulfato de Cobre Pentahidratado	= 375 g
Volumen de Solución de Hidróxido de Sodio	= 4,610 L	Peso de Hidróxido de Sodio	= 184,375 g
Volumen de Solución de Hidroxilamina	= 2,110 L	Peso de Hidroxilamina	= 105,5 g
Temperatura de Reacción	= 5°C	Peso Teórico de Óxido Cuproso a obtener	= 105,32 g

<b>N° DE PRUEBA</b>	<b>Tiempo de Reacción (h)</b>	<b>Porcentaje de Pureza</b>	<b>Observaciones</b>
1	3	(*)	El producto obtenido tuvo un color amarillo, no resultó ser estable, ya que se oxidó al secarse en la estufa.
2	3	83,00	El secado del producto en esta prueba se observó con más detenimiento, para controlar la humedad del producto y evitar la oxidación. Pero el producto se oxidaba al calentarse, a los pocos minutos de iniciarse el secado. Para tomar una muestra algo representativa del óxido producido en la reacción (antes de secarse), se analizó sólo las capas internas del producto que no estuvieron tan expuestas a la oxidación.
3	3	84,00	Se realizó una tercera prueba para comprobar si este método no producía resultados favorables, debido a que no se pudo controlar satisfactoriamente la oxidación del producto. El producto se oxidó nuevamente, pero al igual que en el caso anterior se analizó sólo la parte del producto que no estuvo tan expuesta a la oxidación.

(\*) No se tomaron esos datos en estas pruebas.

#### **6.2.4.1. Observaciones de las Pruebas Realizadas para Obtener Óxido Cuproso:**

Teniendo en cuenta que la obtención de Oxido Cuproso a bajas temperaturas es bastante sensible a las temperaturas superiores a la del ambiente, a las cuales se expone necesariamente luego de culminada la reacción, este cambio de temperaturas ocasiona la oxidación afectando la calidad del producto.

En las pruebas realizadas por este método no se realizó el pesado del producto ya que este dato no sería representativo puesto que en su mayor parte es óxido cúprico y en menor cantidad es óxido cuproso, que es el producto principal.

Además de óxido cúprico, también se presenta como impurezas un precipitado de color verde que es el Hidróxido cuproso que aún no ha reaccionado a pesar de usar un exceso de soda.

#### **6.3. Equipos Utilizados en las Pruebas Piloto:**

Los equipos utilizados en la realización de las pruebas de planta piloto se encuentran en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería. En esta sección del informe se mencionarán los que se utilizaron en las pruebas y se dará una breve descripción de cada uno de ellos. Los equipos a los que se hace referencia son:

- Reactor de Vidrio con calentamiento por resistencias eléctricas.
- Reactor enchaquetado de acero inoxidable con calentamiento por vapor.
- Equipo de Filtro al Vacío.
- Equipo de Enfriamiento.

### **6.3.1 Reactor de Vidrio con Calentamiento por Resistencias Eléctricas:**

Este reactor consta de un recipiente de vidrio de 60 L de capacidad operativa y una tolva de vidrio con una capacidad de 5 L que se utiliza para alimentar al reactor con las soluciones reactantes; para calentar el reactor se cuenta con un juego de 3 resistencias eléctricas. En este reactor se realizaron pruebas de obtención de óxido cúprico y óxido cuproso, pero debido a que el tiempo que requería el reactor para llegar a su temperatura de reacción (100°C) es de dos horas y a que además no contaba con un agitador adecuado para la formación de hidróxido cúprico y cuproso, se optó por utilizar el reactor enchaquetado de acero inoxidable, que se describe a continuación.

### **6.3.2 Reactor Enchaquetado de Acero Inoxidable:**

Este equipo tiene una capacidad operativa de 50 L, consta de un cilindro de acero inoxidable cubierta por una chaqueta del mismo material, cuenta con una termocupla adaptada a un multipunto de tal manera que se mide la temperatura de la solución reactante en tiempo real, además posee un agitador graduable (0-175 RPM) que permite uniformizar la composición de la solución en la reacción inicial (formación de hidróxido cúprico y cuproso). El vapor alimentado a la chaqueta del reactor para lograr el calentamiento de los reactantes tiene una presión de 80 psi, este vapor proviene de una caldera pirotubular de dos pasos que utiliza como combustible petróleo Diesel 2 (a razón de 5 galones por hora). La caldera utilizada tiene una superficie total 150 ft<sup>2</sup>, una capacidad continua de 1035 lb/h y una presión de diseño de 150 psi.

### **6.3.3 Filtro al Vacío:**

Este equipo consta de una bomba de vacío que tiene una potencia de 3 HP, cuenta además de un Buchner con una capacidad aproximada de 3,5 L; así como de un recipiente tubular en el que se recibe el líquido de la solución filtrada. Este equipo permite tomar datos del flujo de filtrado, así como medir la diferencia de presión con la que se está trabajando en tiempo real, mediante un manómetro de mercurio. Este equipo no cuenta con un sistema de alimentación, por lo que la alimentación del filtrado se hace manualmente.

### **6.3.4 Equipo de Enfriamiento:**

Este es un equipo de frío que usa como refrigerante el Freón 12, consta de un graduador de temperatura ( $-15^{\circ}\text{C}$ - $15^{\circ}\text{C}$ ), y de un serpentín de cobre cubierto con aluminio, por el cual circula el Freón. Este serpentín es sumergido dentro de la solución que se desea enfriar, el intercambio de calor se produce entre el Freón 12 y la solución a través de la superficie del serpentín.

## **7 .DISEÑO DE LA PLANTA.-**

### **7.1 Tamaño de Planta.-**

#### **7.1.1 Demanda del Producto.-**

Los óxidos de Cobre por tener una variedad de usos, tienen además un amplio mercado. En este caso el tamaño de planta va orientado a satisfacer el mercado nacional, para esto se considera la información existente de exportación e importación de los óxidos de cobre en los últimos años.

Existe una única empresa que produce el óxido cuproso la cual tiene una producción de 150 toneladas por mes, pero que puede llegar a ser de 214,28 toneladas de óxido cuproso por mes. En el caso del óxido cúprico se sabe que no existen empresas nacionales que produzcan estos compuestos y que el mercado nacional se abastece actualmente mediante importaciones.

#### **7.1.2 Disposición de la Materia Prima:**

Las materias primas básicas para obtener el óxido cúprico son: el Sulfato de Cobre y el Hidróxido de Sodio, ambos insumos son bastante abundantes en el Perú, existiendo gran producción nacional y además el precio de ambos ha ido disminuyendo en los últimos años. Por este motivo se puede afirmar que el tamaño de la planta no está limitada por la disponibilidad de la materia prima.

En el caso de la producción del óxido cuproso también se emplea el sulfato de cobre, el hidróxido de sodio y un agente reductor que puede ser la glucosa o la Hidroxilamina. De estos, el que es más factible de usar es la glucosa ya que este insumo existe en el mercado nacional y es de menor precio que la Hidroxilamina.

### **7.1.3 Tecnología.-**

El actual avance de la tecnología es muy ventajoso para realizar un proceso de la mejor manera permitiendo que se obtenga un producto de mejor calidad a mas bajo costo, el presente proyecto también puede mejorar de esta manera haciendo uso de la instrumentación y la automatización. La tecnología necesaria para realizar este proyecto no es tan exigente, pues los parámetros críticos a controlar pueden ser: el pH y la temperatura, controles que cada vez se conoce más. Por tanto la tecnología no es una limitación para el tamaño de planta.

### **7.1.4 Capacidad Financiera.-**

Para el presente proyecto es necesario el financiamiento, pues la inversión tanto en capital fijo como en capital de trabajo puede ser alta, sin embargo es conocido que esto no es un problema para la realización de un proyecto pues existen entidades financieras que por una evaluación del mismo pueden realizar el préstamo necesario por un periodo fijo de años y con sus respectivos intereses.

### **7.1.5 Producción Establecida.-**

De acuerdo al estudio de mercado realizado (cifras de importación y exportación de los productos) y a la producción del principal productor de óxido de cuproso del país (SALDECO S.A.), se determinó que el nivel de producción de la planta sea de 152,28 ton de óxido cuproso por mes y 143,94 ton de óxido cúprico por mes considerando estas cantidades para el año de inicio de operaciones. Sin embargo el diseño se realizará considerando las demanda máxima que equivale a lo que se requiere para el año diez de operación, esta cantidad corresponde a producir 160,5713 ton por mes de óxido cuproso y 160,5712 de óxido cúprico.

La planta se diseñará para producir ambos óxidos por temporadas 25 días al año para producir óxido cúprico y 305 días al año para producir óxido cuproso (esta relación de tiempos se determinó tomando como base la relación de demandas de ambos productos). Además se asume que se trabajan dos turnos de ocho horas diarias para producir cada óxido de cobre, lo que implicaría un flujo de producción de 0,3649 ton/h para ambos óxidos en sus respectivos períodos de producción.

## **7.2 Diseño de los Equipos, Selección y Especificaciones.-**

De acuerdo a las pruebas realizadas a nivel piloto y al proyecto propuesto, los equipos que se utilizarían para producir óxidos de cobre serían los siguientes:

- Reactor
- Filtro
- Secador
- Molino
- Clasificador de Sólidos

En esta sección se mostrará una breve descripción de los equipos y los cálculos realizados para su diseño.

### **7.2.1. Reactor de Mezcla Completa.-**

El reactor escogido para realizar el proceso de reacción para obtener los óxidos de cobre es el de mezcla completa, debido a que es el más conveniente para reacciones de fluidos líquidos; la ecuación de diseño para este reactor se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Caudal de} \\ \text{entrada de} \\ \text{reactante en} \\ \text{el elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{caudal de} \\ \text{salida de} \\ \text{reactante} \\ \text{del elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{caudal perdido de} \\ \text{reactante debido a} \\ \text{la reacción química} \\ \text{en el elemento de} \\ \text{volumen} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{caudal de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de reactante en el} \\ \text{elemento de} \\ \text{volumen} \end{array} \right) \dots (1)$$

Al realizar el balance de un determinado reactante en un elemento de volumen del sistema, aunque la composición en todo el reactor sea uniforme, el balance puede referirse a todo el volumen del reactor (2):

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{desaparición por reacción} + \text{acumulación} \dots (2)$$

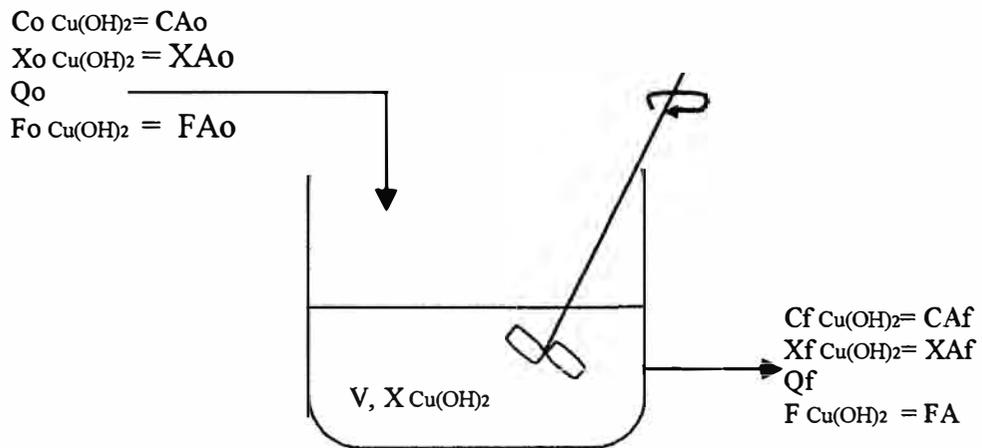


Fig. 1: Nomenclatura a usar en el reactor de mezcla completa.

Entonces, considerando el reactor como un solo conjunto, se tendrá que:

$$\text{Entrada de A (moles/tiempo)} = FA_o \cdot (1 - XA_o)$$

$$\text{Salida de A (moles/tiempo)} = FA = FA_o \cdot (1 - XA)$$

Luego:

Desaparición de A  
 por reacción =  $(-r_A)V = \frac{(\text{moles de A que reaccionan}) \cdot (\text{Volumen del reactor})}{(\text{tiempo})(\text{volumen de fluido})} \dots(3)$

Sustituyendo esta igualdad en la ecuación, tenemos que:

$$F_{A0} \cdot X_A = (-r_A) \cdot V \dots(4)$$

De esta nueva igualdad, se tiene que para un reactor de mezcla completa se cumple lo siguiente:

$$(V/F_{A0}) = (\tau/C_{A0}) = (\Delta X_A)/-r_A = X_A/-r_A \dots(5)$$

$$\tau = 1/s = (V/Q_0) = (V \cdot C_{A0})/F_{A0} = (C_{A0} \cdot X_A)/-r_A \dots(6)$$

Para el caso de sistemas de densidad constante como el nuestro:  $X_A = 1 - C_A/C_{A0}$ , la ecuación de diseño para el reactor de mezcla completa puede entonces escribirse también como sigue:

$$(V/F_{A0}) = (X_A/-r_A) = (C_{A0} - C_A)/(C_{A0}(-r_A)) \dots(7)$$

$$\tau = 1/s = (V/Q) = (C_{A0} \cdot X_A)/-r_A = (C_{A0} - C_A)/-r_A \dots(8)$$

$$\tau = 1/s = (V/Q_0) = (V \cdot C_{A0})/F_{A0} = (C_{A0} \cdot X_A)/-r_A \dots(9)$$

Para el caso de sistemas de densidad constante como el nuestro:  $X_A = 1 - C_A/C_{A0}$ , la ecuación de diseño para el reactor de mezcla completa puede entonces escribirse también como sigue:

$$(V/F_{A0}) = (X_A/-r_A) = (C_{A0} - C_A)/(C_{A0}(-r_A)) \dots(10)$$

$$\tau = 1/s = (V/Q) = (C_{A0} \cdot X_A)/-r_A = (C_{A0} - C_A)/-r_A \dots(11)$$

Para una reacción de segundo orden se cumple que:

$$r_A = K \cdot C_A^2 \dots\dots\dots (12)$$

En el Anexo E se muestran los datos experimentales hallados para determinar la cinética de la reacción de formación de óxido cuproso, así como el diseño del reactor necesario para la producción de óxidos de cobre.

### **7.2.2. Filtro Prensa:**

El sólido obtenido (óxido de cobre) se encuentra en una solución de sulfato de sodio, para poder separarlo de esta utilizaríamos un filtro prensa, el cual, es un equipo que consta de una serie de bastidores (filtros comúnmente de tela) y de placas los cuales cuentan con ductos para drenar el líquido. La mezcla sólida-líquida (lodo) se haría pasar a través de las mallas, el sólido queda retenido en ellas y el líquido pasa tras la malla para ser luego desalojado del filtro.

Este tipo de filtro es probablemente el más barato por unidad de superficie filtradora y el que requiere menor espacio de piso. Permite separar gran proporción de sólidos, y el sólido en forma de torta puede ser manipulada fácilmente. El tipo más sencillo tiene un solo conducto para introducir el lodo y el agua para lavado, y una abertura en cada placa para extraer el líquido. El lodo de alimentación entra por el conducto formado por agujeros en el ángulo superior derecho de las placas y los bastidores. Cada bastidor contiene un orificio de entrada que va desde este conducto hasta el espacio comprendido entre las placas. La presión ejercida sobre el lodo de alimentación que entra en el filtro hace que el filtrado pase a través de los lienzos que hay en ambos lados de las placas, y que corra por el espacio comprendido entre la tela y la placa hacia el agujero de salida, que puede ser un grifo u otro conducto

formado por agujeros abiertos en otro ángulo de las placas y los bastidores, con agujeros de salida procedentes de las placas pero no de los bastidores. La placa está perforada o construida de manera que el filtrado entre el orificio de salida desde ambos lados de la placa. Los sólidos que contiene el lodo se acumulan sobre los lienzos en lados opuestos de cada placa. Al cabo de cierto tiempo sólo queda para el lodo una pequeña parte del espacio comprendido entre las placas, y entonces se interrumpe la alimentación, se suprime la fuerza que mantiene juntas las placas, se abren sucesivamente las placas y los bastidores y se saca la torta. Luego que es completamente vaciado, se vuelve a cerrar el filtro, para lo cual se aplica la fuerza mecánica que junte las placas y los bastidores y se comienza un nuevo ciclo de filtración. En el Anexo F se muestran los cálculos realizados para el diseño de filtro.

### **7.2.3 Secador Rotatorio.-**

Para secar los óxidos de cobre se utilizará un secador rotatorio, ya que estos se aplican al procesamiento de sólidos tanto por lotes como en continuo y se aplican al secado de sustancias granulares o pulverulentas y el producto que descargan es granular. Este tipo de secador disminuiría el trabajo requerido por el molino para llegar al tamaño de partícula deseado.

Un secador rotatorio consiste de una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontalmente o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, unas pestañas levantan los sólidos para caer después en forma de lluvia a través del interior de la carcasa. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro. Los secadores rotatorios se calientan por contacto directo del gas con los sólidos, por gas caliente que pasa a través de un encamisado externo, o por medio de un vapor de agua que condensa en un conjunto de tubos instalados sobre la

superficie interior de la carcasa (secador rotatorio con tubos de vapor de agua). En un secador rotatorio directo indirecto el gas caliente pasa primero a través del encamisado y luego a través de la carcasa, donde se pone en contacto con los sólidos.

Los secadores rotatorios se diseñan basándose en la transmisión de calor. Una ecuación empírica dimensional para el coeficiente volumétrico de transmisión de calor  $U_a$  es:

$$U_a = 57 \cdot G^{0,16} / D \dots\dots\dots(13)$$

donde:  $U_a$  está en  $Kcal/m^3 \cdot h \cdot ^\circ C$ ,  $G$  es la velocidad másica del gas en  $Kg/m^2 \cdot h$  de la sección transversal del secador, y  $D$  es el diámetro del secador en metros. La velocidad de transmisión de calor  $q_T$ , es:

$$q_T = U_a \cdot V \cdot \Delta T / D \dots\dots\dots(14)$$

donde:  $q_T$  = calor total transmitido en  $J/s$ ;  $U_a$  en  $J/m^3 \cdot s \cdot ^\circ C$ ;  $V$  = volumen de secador en  $m^3$ ; y  $\Delta T$  = diferencia de la temperatura media real entre los gases calientes y el material en  $K$ . La temperatura más conveniente del gas a la salida es una cuestión económica; ya que se sabe que los secadores rotatorios desde el punto de vista económico son más convenientes cuando  $Not$  varía entre 1,5 y 2,5.

En el caso de los secadores comerciales que se fabrican actualmente, por lo común el número de aspas varía de  $0,6D$  a  $D$ , donde  $D$  = diámetro en  $m$ , para diámetros mayores a  $0,6m$  y la altura de aspa radial de un secador directo varía  $1/12$  a  $1/8$  del diámetro. Los secadores rotatorios funcionan con velocidades periféricas de  $0,25$  a  $0,5m/s$ ; se recomienda la siguiente relación:

$$q_T = 14,25 \cdot \pi \cdot L \cdot D \cdot G^{0,16} \cdot \Delta T \dots\dots\dots(15)$$

L= longitud del secador en m, D= diámetro del secador en m. La razón L/D que resulta más eficiente en la práctica comercial oscila entre 4 y 10.

Las velocidades de masa del aire en estos secadores varía de 0,5 a 5 Kg/s-m<sup>2</sup>. Se recomienda utilizar la mayor velocidad de aire posible sin producir una cantidad apreciable de polvo, en general se puede utilizar con seguridad una velocidad de aire de 1,4 Kg/s-m<sup>2</sup> con sólidos de malla 35. Los cálculos respectivos para el diseño del secador se muestran en el Anexo G.

#### **7.2.4 Molino de Bolas.-**

El óxido obtenido se descarga del secador y luego pasa a un molino para disminuir el tamaño de partícula de manera que se encuentre en el rango de 10-100 micras (en nuestro caso 48 micras), ya que es deseable para aplicaciones seguras que el óxido de cobre esté dentro de este tamaño promedio. Para esto se utilizará un molino de bolas, el cual comprende una carcasa cilíndrica que gira lentamente alrededor de un eje horizontal, y está llena aproximadamente hasta la mitad de su volumen con un medio sólido de molienda. La carcasa es generalmente de acero, con un recubrimiento de una lámina de acero de elevado contenido de carbono, porcelana o caucho; el medio de molienda puede ser bolas de metal o esferas de porcelana. Estos molinos pueden operar en forma continua o discontinua, la reducción de tamaño de las partículas se produce por impacto de la caída de las bolas desde cerca de la parte superior de la carcasa. En el Anexo H se muestran los cálculos realizados para el diseño de molinos de bolas.

### **7.2.5. Tamiz.-**

Los tamices son un medio familiar para la separación de sólidos de acuerdo con el tamaño de las partículas. En las aplicaciones comerciales generalmente es más eficiente emplear una serie de tamices de plataforma sencilla mejor que unidades múltiples. Si las partículas son grandes (mayores de 5 cm) y se pueden separar eficazmente sin agitación, por lo general los tamices estacionarios son los adecuados. En general estas "cribas" están ligeramente inclinadas y se fabrican de barras pesadas en lugar de alambre. Para la separación de partículas más pequeñas se hacen vibrar los tamices, y ocasionalmente se emplea el tamizado húmedo. Por otro lado, los tamices móviles son más sofisticados y costosos.

Debido a que el tamaño máximo de la partícula pasante del tamiz es fino (48  $\mu\text{m}$ ), en nuestro caso el tamiz que se utilizará será uno del tipo vibratorio. Naturalmente, el sólido depositado sobre la superficie tamizadora se mueve también, pero con un cierto retraso, a causa de la inercia. El modelo más rudimentario de este tipo lo constituye la zaranda o cernidor, accionado a brazo. Dentro del tipo general se pueden distinguir varias clases, según el tipo de movimiento que se dé a la superficie tamizadora.

#### **7.2.5.1. Superficie Tamizadora Vibrante.-**

El movimiento de un vástago se transmite a la superficie tamizadora por estar aquél acoplado a ésta mediante una unión. En estos aparatos importa mucho la amplitud y la frecuencia del movimiento vibratorio. Estos tamices se utilizan generalmente cuando se desea gran capacidad y eficiencia elevada. La capacidad, sobre todo en los tamaños más finos, es mucho mayor que en cualquier de los otros tamices,

por lo que han reemplazado prácticamente todos los otros tipos, en los casos en que la eficiencia del tamiz es un factor importante. Entre las ventajas se incluye la exactitud de la selección de tamaños, el aumento de la capacidad por unidad de área, el bajo costo de mantenimiento por tonelada de material manejado y ahorros en el espacio de instalación y el peso. En el mercado gran número de tamices, pero se pueden dividir básicamente en dos clases principales: tamices con vibración mecánica y tamices con vibración eléctrica.

Las cribas de vibración eléctrica resultan muy útiles en la industria química. Manejan en forma bastante adecuada muchos materiales ligeros, finos y secos, y polvos metálicos de, aproximadamente, malla 4 hasta malla 325. La mayor parte de estas tamices tienen una vibración intensa, de alta velocidad (25 a 120 vibraciones/s) y baja amplitud, proporcionada por medio de un electroimán.

#### **7.2.5.2. Tamiz de Oscilaciones (Vaivén).-**

Un aparato de esta clase se deforma en ocasiones intencionalmente, mediante acoplamiento elástico, el movimiento de vaivén del tamiz, para que simultáneamente describa un movimiento de traslación, con lo que el sistema, en conjunto, imita muy bien el zarandeo a brazo. Estos tamices se caracterizan por oscilaciones a baja velocidad (5 a 7 oscilaciones/s) en un plano esencialmente paralelo a la tela del tamiz. Este grupo de tamices se suelen emplear para partículas de 0,013m a malla 60.

### **7.2.5.3. Tamices Rotatorios.-**

Llamados también de trommel o de tambor, estos tamices pueden acoplarse en cascada, para lo cual se disponen coaxialmente los varios tamices cilíndricos, siendo el de menor diámetro de tambor el tamiz de mayor abertura. Los tamices rotatorios tienen un tope máximo en su velocidad de rotación, que viene determinado por el momento en que la fuerza centrífuga hace que el producto se agarre a la superficie del tambor y gire con ella. Según Naske, el número de revoluciones por minuto viene dado por:

$$\text{r.p.m. máx.} = 42,3 D_t^{0,5} \dots\dots\dots (16)$$

siendo  $D_t$  = diámetro del tambor, en metros. Los tamices giran con velocidades relativamente bajas de 15 o 20 rpm. Su capacidad no es muy grande y su eficiencia relativamente baja.

### **7.2.5.4. Tamices de Barra Giratoria.-**

En este caso el movimiento no se le da a la superficie tamizadora en su conjunto, sino que se hacen girar independientemente todas las barras de la sección circular de la criba.

De acuerdo a la información presentada, se utilizará un tamiz del tipo vibratorio eléctrico; ya que es el más adecuado para trabajar con el tamaño de partícula establecido.

Existen varios métodos para calcular la capacidad de tamizado y cada uno presenta limitaciones, en esta ocasión se utilizará el Método de la Asociación de Fabricantes de Tamices Vibratorios:

$$S = \frac{U}{A*B*C*D*E*F*G*H*J} \dots\dots\dots (17)$$

donde:

- S = Área o Superficie de tamizado requerido (pies).
- U = Cantidad de pasantes alimentados a la superficie (TCPH).
- A = Porcentaje de área abierta.
- B = Factor referente al porcentaje de rechazos alimentados  
Capacidad de la unidad en ton/h-pie<sup>2</sup>.
- C = Factor referente al porcentaje de tamaño mitad alimentado.
- D = Factor referente a la posición de la superficie en el tamiz.
- E = Factor referente al tipo de tamizado (seco o húmedo).
- F = Factor debido a la densidad aparente.
- G = Factor por el área abierta de la tela utilizada.
- H = Factor de la forma de abertura del tamiz.
- J = Factor de la eficiencia.

Los cálculos respectivos para el diseño del tamiz se encuentra en el Anexo I.

### 7.2.6. Ciclón.-

Es un equipo clasificador de partículas que se usa con mayor frecuencia. Los separadores ciclónicos utilizan una fuerza centrífuga que se genera haciendo girar una corriente de gas con el fin de separar las partículas sólidas del gas que las transporta. La unidad separadora puede ser una sola cámara grande, unas cuantas cámaras tubulares, en paralelo o en serie, o una unidad dinámica similar a un soplador. Existen dos clases principales de separadores ciclónicos: los tipo de paleta axial y los de envolutas. La única diferencia que existe entre los dos se basa en el método de introducción del gas dentro del casco cilíndrico con el propósito de impartirle un movimiento giratorio que sea suficiente. En nuestro caso utilizaremos un separador ciclónico de involuta, en el cual se obtiene el movimiento por medio de una entrada tangencial del gas. El pasaje de entrada de involuta rectangular tiene su pared interior tangente al cilindro, y la entrada ha sido diseñada para que se incorpore gradualmente con una involuta de 180 grados. La operación de separación depende de la tendencia de las partículas a moverse en una línea recta cuando se cambia la dirección de la corriente de gas. La fuerza centrífuga debida a una alta tasa de rotación, lanza las partículas de gas contra las paredes internas del cilindro y el cono. Las partículas finas resbalan por las paredes hasta llegar a la tolva de almacenamiento, mientras que las partículas más gruesas caen directamente debido a su peso hacia la salida inferior del cono.

Las ecuaciones prácticas que se pueden usar en un ciclón fueron determinados de datos experimentales como:

$$V_{\theta} * r^m = \text{constante} \dots\dots\dots(18)$$

Y el exponente  $m$  de la velocidad tangencial del fluido está dado por

$$M = 1 - (1 - 0.67 * D_c^{0.14}) * (T/283)^{0.3} \dots\dots\dots(19)$$

donde:

$D_c$ , es el diámetro del cuerpo del ciclón en metros

$T$ , es la temperatura en °K

La eficiencia de colección de acuerdo al modelo Leith y Licht es:

$$\eta = 1 - \exp(-\psi D_p^M) \dots \dots \dots (20)$$

$$M = 1/(m+1) \dots \dots \dots (21)$$

$$\psi = 2 * (K Q \rho_p C_c (m+1) / (18 * \mu D_c^3))^{M/2} \dots \dots \dots (22)$$

donde:

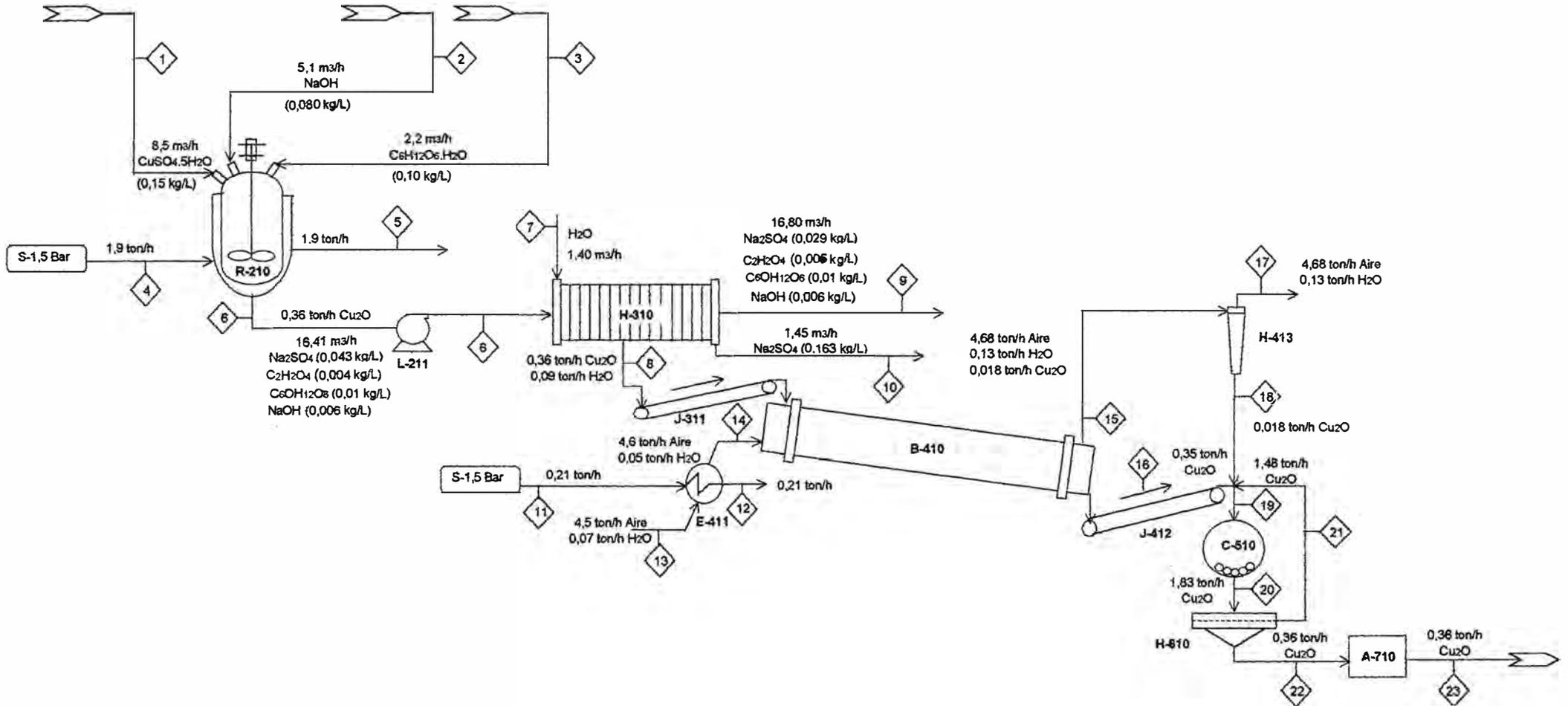
$K$  :es un parámetro de configuración geométrica adimensional

$C_c$ , es el factor de corrección de Cunningham 0,954

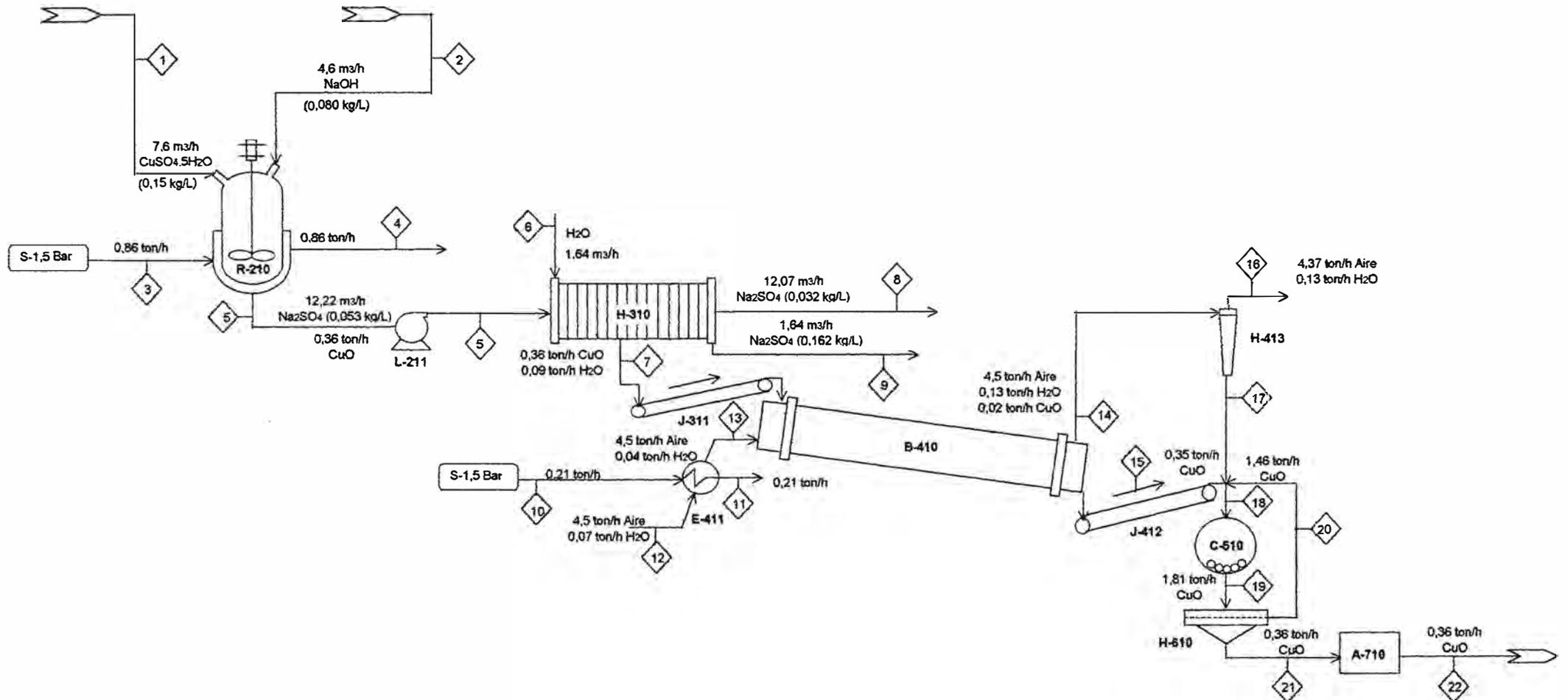
Los cálculos de diseño para este equipo se encuentran en el Anexo J.

### **7.3 Balance de Materia y Energía y Distribución de los Equipos**

**7.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MASA DE LA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO CUPROSO**

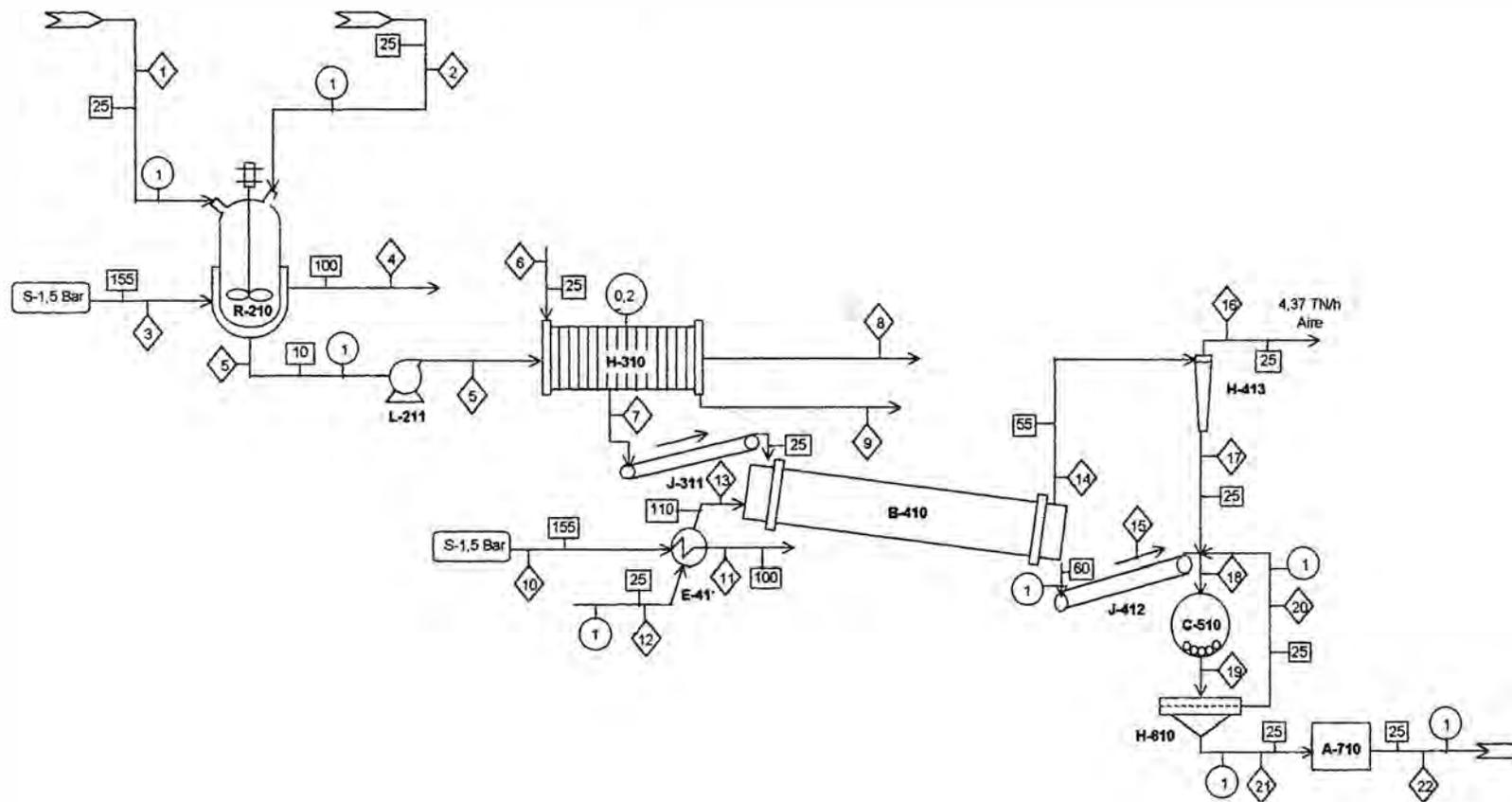


### 7.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MASA DE LA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO CÚPRICO





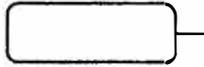
### 7.3.4 DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE ENERGÍA DE LA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE ÓXIDO CÚPRICO



### **7.3.5 Simbología y Nomenclatura de los Equipos en los Diagramas de Flujo**

#### **7.3.5.1 Simbología:**

En el diagrama de flujo se manejaron los siguientes símbolos:

	Número de corriente de entrada o salida del equipo.
	Alimentación de Materia Prima.
	Salida de producto terminado.
	Presión de Operación en bar.
	Temperatura de Operación en °C.
	Servicios (presión de vapor).

#### **7.3.5.2 Nomenclatura de los Equipos:**

Los equipos se identifican por una letra acompañada de tres números, el primero identifica el área de operación de la planta, el segundo el número del equipo principal dentro de dicha área de operación, para los equipos principales el tercer número es cero; en el caso de los equipos secundarios, el segundo número identifica al equipo principal anterior a dicho equipo secundario y el tercer número indica el número del equipo secundario, entonces según esta nomenclatura se tiene que las áreas de producción de la planta se identifican con los siguientes números:

Área de Alimentación	= 1
Área de Reacción	= 2
Área de Filtrado	= 3
Área de Secado	= 4

Área de Molienda = 5

Área de Tamizado = 6

Área de Sellado = 7

Los equipos están identificados con las siguientes letras:

Reactor Agitado = R

Filtro, Ciclón y Tamiz = H

Secador = B

Bomba = L

Faja Transportadora = J

Calentadores = E

Servicios = S

Según la nomenclatura explicada se tiene la siguiente relación de los equipos

- R-210 → Reactor de tanque agitado.
- L-211 → Bomba de alimentación al filtro.
- H-310 → Filtro prensa.
- J-311 → Faja transportadora de alimentación al secador.
- B-410 → Secador rotatorio.
- B-411 → Calentador de aire.
- J-412 → Faja transportadora de alimentación al molino
- H-413 → Ciclón
- C-510 → Molino de bolas
- H-610 → Tamiz
- A-710 → Empacadora

## 7.4 Distribución de la Planta.-

Para realizar una adecuada distribución de planta se debe considerar como factores los siguientes puntos:

- ◊ Circulación óptima de materiales y de personal
- ◊ Economía del trabajador
- ◊ Calidad del trabajador
- ◊ No debe haber contaminación (humos, gases) pues esto afecta la seguridad.
- ◊ Debe mejorar las condiciones de trabajo y relacionadas con la seguridad, higiene, iluminación y ambiente.
- ◊ Debe facilitarse el control de operaciones, debe facilitar almacenamiento horizontal y vertical, mayor fluidez a nivel administrativo y productivo.
- ◊ Debe existir una ubicación adecuada de zonas de servicio.

Además si se quiere realizar un diagnóstico de la distribución de planta se debe considerar primeramente el área destinada por sección y esto se realizará por el método del cálculo de la superficie. En la tabla adjunta se calcula el área necesaria para la instalación de la planta:

EQUIPO	Ss (m <sup>2</sup> )	N	Sg (m <sup>2</sup> )	Se (m <sup>2</sup> )	n	Sp/maq	St (m <sup>2</sup> )	
Mezclador 1	2.35	1.00	2.35	3.62	1	8.32	8.32	
Mezclador 1	1.67	1.00	1.67	2.57	1	5.91	5.91	
Mezclador 1	0.97	1.00	0.97	1.49	1	3.43	3.43	
Reactor	1.67	1.00	1.67	2.58	1	5.93	5.93	
Filtro prensa	6.75	2.00	13.50	15.59	2	35.84	71.69	
Secador	10.44	2.00	20.88	24.12	1	55.44	55.44	
Ciclón	0.15	1.00	0.15	0.23	1	0.53	0.53	
Molino	4.80	1.00	4.80	7.39	1	16.99	16.99	
Tamiz	3.17	2.00	6.34	7.33	1	16.85	16.85	
Caldero	8.62	4.00	34.48	33.19	1	76.29	76.29	
Transportadores	2.07	2.00	4.14	4.78	5	10.99	54.96	
Empacadora	4.00	1.00	4.00	6.16	1	14.16	14.16	
Area total=							330.49	

En la tabla anterior se calcula el valor del área tomando en cuenta las siguientes ecuaciones:

Sg: área estática

Ss: área gravitatoria

N: número de lados que se utilice del equipo

Se:: superficie evolutiva =  $0.77*(S_s + S_g)$

$S_p = S_s + S_g + S_e$

St = superficie total

## **7.5 Ubicación de la Planta.-**

Para la ubicación de la planta existen factores muy importantes que permitirán realizar una adecuada ubicación de la planta entre estos puntos pueden considerarse:

- ◊ Proximidad a la zona de mercado
- ◊ Materias primas
- ◊ Transporte
- ◊ Disponibilidad de mano de obra
- ◊ Fluido eléctrico
- ◊ Relaciones económicas con otras industrias
- ◊ Necesidades específicas de la planta

Considerando las diversas pautas y normas se hace evidente que es muy necesario el análisis de mercado es una base importante para edificar. Este debe incluir un estudio de:

- ◊ Normas de actuación de los vendedores
- ◊ Planeamiento de las zonas de ventas
- ◊ Los presupuestos y contribución

Si se quiere elegir datos típicos de mercado que sean los mas decisivos para una buena medida y control de las actividades distributivas y estos pueden ser:

- ◊ Ventas por zona de la compañía
- ◊ Ventas Totales de la industria por zonas
- ◊ Los potenciales de ventas por zona.

Considerando estos anteriores puntos y puesto que su consumo mayormente en Lima además tomando en cuenta que estos productos se pueden exportar y que se puede fácilmente realizar desde Lima. Se escoge por lo tanto como lugar donde localizar la planta a la ciudad de Lima en distritos como el Callao por su viabilidad para la exportación y por su cercanía a puertos, además que es considera zona industrial.

También puede considerarse el distrito de Vitarte o zonas aledañas por tener un clima apropiado (menos húmedo) y por ser una zona de fácil acceso para el transporte de materia prima y productos terminados.

## 8 ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACION

### 8.1 Requerimiento de Personal.-

En la consideración del requerimiento de personal se ha establecido en base a la información existente sobre el número de operarios necesarios por equipo y por turno luego en base a esta información se relaciona esta cantidad determinada con el número de administrativos que debiera haber en la planta. En la siguiente tabla se muestra el cálculo del número de operarios por turno:

EQUIPOS	NUMERO DE EQUIPOS	N° DE OPERARIOS TURNO	N° DE OPERARIOS (2 TURNOS)
Mezclador	1	0,2	0,4
Reactor CSTR	1	0,3	0,6
Bomba	1	0	0
Filtro Prensa	2	1,2	2,4
Secador Rotatorio	1	0,2	0,4
Ciclón	1	0	0
Molino	1	0,4	0,8
Tamiz	1	0,03	0,06
Ventiladores	1	0,05	0,1
Caldero y Ablandador	1	1,1	2,2
Transportador de tornillo	5	0,5	1,0
Empacadora	1	2	4
total de operarios=			11,96

Considerando como total doce operarios se determina el número de personal administrativo según:

A cada técnico directivo o no le corresponden aproximadamente cinco especialistas, seis obreros no calificados y 2.5 administrativos. En base a esta información se tiene:

Personal Calificado = 10

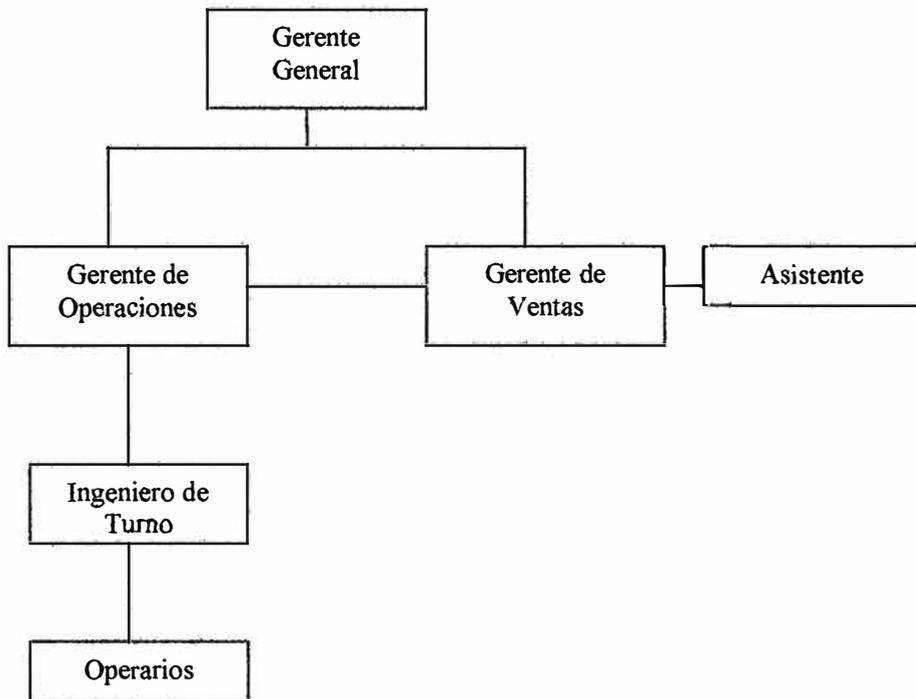
Personal no Calificado = 2

Administrativos = 4

Supervisores = 2

## 8.2 Organización Funcional

De acuerdo a la disponibilidad de personal establecida en la sección anterior se establece la siguiente organización o para el personal de la planta:



## 9. EVALUACION ECONOMICA.-

### 9.1 Inversión Fija:

Se determina la inversión fija en base al costo de los equipos necesarios para el funcionamiento de la planta, para esto se determinará el valor total de los equipos utilizando con este fin los índices económicos y precios de los equipos de otros años tomados como referencia y la siguiente relación:

$$\text{Precio 2000} = (\text{Precio Referencia/Índice de Referencia}) * \text{Índice 2000}$$

Los precios obtenidos para cada equipo se muestran en el siguiente cuadro:

EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	PRECIO DE REFERENCIA (MUS\$)	AÑO DE REFERENCIA	INDICE DE REFERENCIA	INDICE 2000	PRECIO 2000 (MUS\$)	TOTAL (MMUS\$)
Mezclador	1,7m x 3,5m	1	12000.00	1982	315.0	372.7	14198.10	14.20
Mezclador	1,5m x 2,9m	1	10000.00	1982	315.0	372.7	11831.75	11.83
Mezclador	1,1m x 2,2m	1	6500.00	1982	315.0	372.7	7690.63	7.69
Reactor CSTR	1,4m x 2,7m	1	1500.00	1982	285.4	666.6	3503.50	3.50
Bomba	0,29 HP	1	1250.00	1988	342.5	666.6	2432.85	2.43
Filtro Prensa	13 placas de L=1,5m	2	61250.00	1982	315.0	339.9	66091.67	132.18
Secador Rotatorio	1,4m x 7,6m	1	125000.00	1982	315.0	438.8	174126.98	174.13
Ciclón	0,8m x 3,2m	1	2400.00	1982	315.0	438.8	3343.24	3.34
Molino	1,6m x 3,1m	1	16000.00	1982	315.0	339.9	17264.76	17.26
Tamiz	1m x 3m	1	5600.00	1982	315.0	339.9	6042.67	6.04
Ventiladores	turbo axial	1	520.00	1984	414.3	663.7	833.03	0.83
Caldero y Ablandador	128 HP - 80 psi	1	41700.00	1982	315.0	339.9	44996.29	45.00
Transportador de tornillo	0,23m x 9m	5	1700.00	1980	325.1	339.9	1777.39	8.89
Empacadora	3 sacos/minuto	1	12000.00	1981	328.9	339.9	12401.34	12.40
<b>Costo Total de Equipos</b>								<b>439.74</b>

Fuente: Revista "Chemical Engineering". Marzo 1981, Enero 1982, Febrero 1983, Diciembre 1984, Agosto 2000.

\* MUS\$ = Miles de dólares

\*\* MMUS\$ = Millones de dólares

Utilizando el método de los factores de costo para determinar el total del capital fijo de la planta, el cual tiene como punto de partida el costo de los equipos (Ref. 16), el cual se representará en moneda del año de operación 0, este año se define como el año en el que se realizarán las inversiones necesarias para iniciar la producción de la planta; este año para nuestro proyecto viene a ser el año 2001:

$$\text{Costo del Equipo (Año 2001)} = \text{Costo del Equipo (Año 2000)} / (1 + \pi)^{(2000-2001)}$$

donde:

$$\pi = \text{tasa de inflación anual} = 4\%$$

Entonces:

$$\text{Costo del Equipo (Año 2001)} = 457.32$$

	<b>% del Costo de Equipo</b>	<b>Costo (MUS\$ AÑO 0)</b>
<b>Activo Fijo</b>		
Costo del Equipo		457.32
Instalación del Equipo	43.5	198.94
Control e Instrumentación Instalada	13	59.45
Tuberías y Accesorios	30	137.20
Instalaciones Eléctricas (colocadas)	13	59.45
Obras Civiles	30	137.20
Mejoras de Terreno	17.5	80.03
Instalaciones de Servicios (montadas)	52	237.81
Terreno	4	18.29
<b>Total Activo Fijo</b>		<b>1385.69</b>
<b>Intangibles</b>		
Ingeniería y Supervisión	39	178.36
Gastos de Construcción	39	178.36
Utilidad del Contratista	13	59.45
Contingencias	39	178.36
<b>Total Intangibles</b>		<b>594.52</b>
<b>Total de Inversión Fija</b>		<b>1980.22</b>

Fuente: Peters Max S. - Timmerhaus Klaus B. "Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos".

## 9.2 Costo de Producción:

Se determina el costo de producción de materia prima mediante el costo de requerimiento de materia prima, costos variables y costos fijos necesarios para la elaboración del producto, así como también la producción. A continuación se presenta cuadro con los costos de producción para los diez años de operación de la planta, el cual se iniciaría el año 2002:

### COSTO DE PRODUCCIÓN DEL ÓXIDO CUPROSO (MUS\$ DEL AÑO 0)

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>MATERIA PRIMA</b>										
<i>Sulfato de Cobre Pentahidratado</i>										
TM/DC	16.12	16.22	16.32	16.42	16.51	16.61	16.71	16.81	16.90	17.00
MUS\$/TM	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
MUS\$/DC	10.23	10.29	10.35	10.41	10.48	10.54	10.60	10.66	10.72	10.78
<i>Hidróxido de Sodio</i>										
TM/DC	6.39	6.43	6.47	6.50	6.54	6.58	6.62	6.66	6.70	6.74
MUS\$/TM	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
MUS\$/DC	3.65	3.68	3.70	3.72	3.74	3.76	3.79	3.81	3.83	3.85
<i>Glucosa</i>										
TM/DC	2.84	2.86	2.87	2.89	2.91	2.93	2.94	2.96	2.98	3.00
MUS\$/TM	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
MUS\$/DC	1.77	1.78	1.79	1.80	1.82	1.83	1.84	1.85	1.86	1.87
<i>Agua</i>										
TM/DC	215.75	217.05	218.36	219.66	220.97	222.27	223.58	224.88	226.18	227.48
MUS\$/TM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MUS\$/DC	3.21	3.22	3.24	3.26	3.28	3.30	3.32	3.34	3.36	3.38
<b>MMUS\$/AÑO</b>	<b>6.88</b>	<b>6.93</b>	<b>6.97</b>	<b>7.01</b>	<b>7.05</b>	<b>7.09</b>	<b>7.13</b>	<b>7.18</b>	<b>7.22</b>	<b>7.26</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>										
TM/DC	4.62	4.65	4.68	4.70	4.73	4.76	4.79	4.82	4.84	4.87
MANO DE OBRA (MUS\$/DC)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ENERGIA ELECTRICA MUS\$/TN	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
AGUA (MUS\$/TN)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
SUMINISTROS(MUS\$/TN)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MUS\$/DC	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50
<b>MMUS\$/AÑO</b>	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>	<b>0.18</b>							
<b>COSTOS FIJOS</b>										
Mantenimiento	73.42	73.38	73.35	73.31	73.28	73.24	73.21	73.17	73.14	73.11
Seguros	18.35	18.35	18.34	18.33	18.32	18.31	18.30	18.29	18.28	18.28
<b>MMUS\$/AÑO</b>	<b>0.09</b>									
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>										
<b>MMUS\$/AÑO</b>	<b>7.15</b>	<b>7.19</b>	<b>7.23</b>	<b>7.28</b>	<b>7.32</b>	<b>7.36</b>	<b>7.40</b>	<b>7.45</b>	<b>7.49</b>	<b>7.53</b>
MMUS\$/DC	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MUS\$/TM	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.23

**COSTO DE PRODUCCIÓN DEL ÓXIDO CÚPRICO (MUSS DEL AÑO 0)**

<b>AÑO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>										
<i>Sulfato de Cobre Pentahidratado</i>										
TM/DC	1.14	1.16	1.17	1.19	1.20	1.22	1.23	1.25	1.26	1.28
MUSS/TM	0.63	0.69	0.71	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0.94
MMUSS/DC	0.73	0.80	0.84	0.88	0.93	0.98	1.03	1.08	1.14	1.20
<i>Hidróxido de Sodio</i>										
TM/DC	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.41
MUSS/TM	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
MMUSS/DC	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
<i>Agua</i>										
TM/DC	12.21	12.37	12.52	12.68	12.84	12.99	13.15	13.31	13.46	13.62
MUSS/TM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MMUSS/DC	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20
<b>MMUSS/AÑO</b>	<b>0.41</b>	<b>0.43</b>	<b>0.45</b>	<b>0.47</b>	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	<b>0.57</b>	<b>0.60</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>										
TM/DC	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40	0.40	0.41
MANO DE OBRA (MUSS)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ENERGIA ELECTRICA (MUSS/TM)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
AGUA (MUSS/TN)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
SUMINISTROS(MUSS/TN)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MUSS/DC	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
<b>MMUSS/AÑO</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>								
<b>COSTOS FIJOS</b>										
Mantenimiento	5.79	5.83	5.86	5.90	5.93	5.97	6.00	6.04	6.07	6.10
Seguros	1.45	1.46	1.47	1.47	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.53
<b>MMUSS/AÑO</b>	<b>0.01</b>									
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>										
<b>MMUSS/AÑO</b>	<b>0.43</b>	<b>0.46</b>	<b>0.47</b>	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	<b>0.57</b>	<b>0.60</b>	<b>0.62</b>
MMUSS/DC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MUSS/TM</b>	<b>3.22</b>	<b>3.38</b>	<b>3.47</b>	<b>3.56</b>	<b>3.65</b>	<b>3.75</b>	<b>3.85</b>	<b>3.95</b>	<b>4.06</b>	<b>4.17</b>

Los costos variables se determinan considerando los siguientes elementos:

- Consumo de Energía eléctrica
- Consumo de agua de proceso
- Suministros

Los tres factores serán variables, pues dependen de las ventas de cada producto. Para el caso de la energía eléctrica está en función de la energía consumida en la planta, lo que resulta en:

EQUIPO	POTENCIA	Horas de operación	KW-Hr consumida	US\$/kw-h	MUS\$/AÑO
Agitador del reactor	6.25 HP	5280	33000.00	0.07	2.24
Bomba	0.29 HP	5280	1531.20	0.07	0.10
Molino	62.77 HP	5280	331437.47	0.07	22.53
Tamiz	10.73 HP	5280	56639.86	0.07	3.85
Agitador de los tanques	19.60 HP	2640	51744.00	0.07	3.52
Secador rotatorio	12.47 HP	5280	65848.46	0.07	4.48
Caldera	7.00 HP	2640	18480.00	0.07	1.26
Ventilador	4.96 HP	5280	26197.78	0.07	1.78
Banda transportadora	0.48 HP	2640	1264.82	0.07	0.09
Empacadora y otros	18.68 HP	5280	98644.86	0.07	6.71
	143.23 HP				46.56
	106.81 KW				

Este valor obtenido de Kw-año es distribuido entre ambos productos de acuerdo a la producción proyectada. Teniendo así los valores que se encuentran en la tabla correspondiente a los costos de producción.

En el caso del consumo del Agua en especial para la alimentación a la caldera, se toma en cuenta:

$$\begin{aligned} \text{Flujo de agua (L/s)} &= 1.02 \\ \text{Precio del agua (US$/L)} &= 0.003 \\ \text{Costo del Agua (MUS$/año)} &= 55.21 \end{aligned}$$

Para los suministros se tomó que representa el 0.2% del capital fijo, de esto se obtiene que equivale a 0,004 MUS\$ del año 0 por tonelada. Todas las cantidades anteriores se distribuyeron para cada producto, sea este Óxido Cúprico u Óxido Cuproso.

Los Costos Fijos incluyen mano de obra, mantenimiento y seguros. Para el caso de la mano de obra se consideran el sueldo al año del personal calificado, calificado, no calificado y los supervisores. El total de estos asciende a catorce personas, como se puede ver en la tabla de Requerimiento de personal

$$\begin{aligned} \text{Mano de Obra: } &40,6 \text{ MUS$/año} = 42,2 \text{ MUS\$ del 2001/año de operación} \\ \text{Mantenimiento: } &4\% \text{ del Costo Fijo} \\ \text{Seguros: } &1\% \text{ del Costo Fijo} \end{aligned}$$

### 9.3 Precio de Venta del Producto:

Para establecer el precio de venta del producto se asumirá como margen de ganancia un 25% sobre el costo de producción.

#### PRECIOS PROYECTADOS PARA LOS ÓXIDOS DE COBRE (MUS\$ DEL AÑO 0)

AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Precio Óxido Cuproso	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.29	5.29	5.29
Precio Óxido Cúprico	4.03	4.23	4.34	4.45	4.56	4.68	4.81	4.94	5.08	5.22

El precio del subproducto, que es el sulfato de sodio en solución, se asume constante e igual a un 30% del precio comercial, esto debido a que la sal no se encuentra cristalizada y además contiene glucosa como impureza, para el sulfato obtenido en la obtención de óxido cuproso; ya que en la obtención del óxido cúprico la solución de sulfato de sodio obtenida no contiene esta impureza.

$$\text{Precio del Sulfato de Sodio (MUS\$ del 2000/TN)} = 0,31$$

Luego:

$$\text{Precio del Sulfato de Sodio (MUS\$ del 2002/TN)} = 0,31/(1+TD)^{-2}$$

donde:

$$TD = \text{Tasa de Inflación Anual} = 4\%$$

Entonces:

$$\text{Precio del Sulfato de Sodio (MUS\$ del 2001/TN)} = 0,34$$

Por lo tanto el precio de la solución de sulfato de sodio (obtenida en el proceso) por tonelada de sulfato de sodio será:

$$\text{Precio de Solución Sulfato de Sodio (MUS\$ del 2001/TN)} = 0,34 * 0,3$$

$$\text{Precio de Solución Sulfato de Sodio (MUS\$ del 2001/TN)} = 0,10$$

#### 9.4 Capital de Trabajo:

Se determina la inversión necesaria e indispensable para garantizar y asegurar el normal desarrollo del proceso productivo, considerando los siguientes requerimientos:

##### VALOR DE VENTAS (US\$ DEL AÑO 0)

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Venta Óxido Cuproso (TM/DC)	4.62	4.65	4.68	4.70	4.73	4.76	4.79	4.82	4.84	4.87
Precio Óxido Cuproso (MUS\$/TM)	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.29	5.29	5.29
Ventas Óxido Cúprico (TM/DC)	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40	0.40	0.41
Precio Óxido Cúprico (MUS\$/TM)	4.03	4.23	4.34	4.45	4.56	4.68	4.81	4.94	5.08	5.22
Venta de Subproducto (*) (TM/DC)	9.82	9.88	9.95	10.01	10.07	10.14	10.20	10.27	10.33	10.39
Precio de Subproducto (MUS\$/TM)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
MUS\$/DC	26.94	27.19	27.40	27.61	27.83	28.05	28.27	28.50	28.73	28.96
<b>MMUS\$/AÑO</b>	<b>9.83</b>	<b>9.92</b>	<b>10.00</b>	<b>10.08</b>	<b>10.16</b>	<b>10.24</b>	<b>10.32</b>	<b>10.40</b>	<b>10.49</b>	<b>10.57</b>

(\*) Subproducto = Sulfato de Sodio

Para determinar el capital de trabajo se establecen los siguientes requerimientos en los componentes del capital de trabajo:

Inventario de Materia Prima: 30 días de uso

Inventario de Subproducto: 20 días de venta

Inventario de Producto Terminado: 20 días de venta

Cuentas por Cobrar: 15 días de venta

Cuentas por Pagar: 30 días de compra

Luego el capital de trabajo se determina en el siguiente cuadro:

**CAPITAL DE TRABAJO (US\$ DEL AÑO 0)**

ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ACTIVO CIRCULANTE</b>										
<b>INVENTARIO DE M.P. 30 DIAS</b>										
<i>Sulfato de Cobre Pentahidratado</i>										
TM/DC	17.27	17.38	17.49	17.60	17.72	17.83	17.94	18.05	18.16	18.28
TM/DO	19.10	19.22	19.35	19.47	19.60	19.72	19.84	19.97	20.09	20.21
TM/AÑO	572.96	576.68	580.41	584.13	587.85	591.57	595.29	599.01	602.72	606.44
MUSS/TM	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
MUSS/AÑO	363.48	365.85	368.21	370.57	372.93	375.29	377.65	380.01	382.37	384.72
<i>Hidróxido de Sodio</i>										
TM/DC	6.75	6.80	6.84	6.88	6.93	6.97	7.01	7.06	7.10	7.14
TM/DO	7.47	7.52	7.57	7.62	7.66	7.71	7.76	7.81	7.85	7.90
TM/AÑO	224.14	225.58	227.02	228.45	229.89	231.33	232.76	234.20	235.64	237.07
MUSS/TM	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
MUSS/AÑO	128.21	129.03	129.85	130.68	131.50	132.32	133.14	133.96	134.78	135.60
<i>Glucosa</i>										
TM/DC	2.84	2.86	2.87	2.89	2.91	2.93	2.94	2.96	2.98	3.00
TM/DO	3.14	3.16	3.18	3.20	3.22	3.24	3.26	3.27	3.29	3.31
TM/AÑO	94.26	94.83	95.40	95.97	96.54	97.11	97.67	98.24	98.81	99.38
MUSS/TM	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
MUSS/AÑO	58.82	59.17	59.53	59.88	60.24	60.59	60.95	61.30	61.66	62.01
<i>Agua</i>										
TM/DC	227.96	229.42	230.88	232.34	233.80	235.26	236.72	238.18	239.64	241.10
TM/DO	252.13	253.75	255.37	256.98	258.60	260.22	261.83	263.44	265.06	266.67
TM/AÑO	7563.99	7612.53	7661.05	7709.55	7758.03	7806.48	7854.92	7903.33	7951.72	8000.09
MUSS/TM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MUSS/AÑO	112.38	113.10	113.82	114.54	115.26	115.98	116.70	117.42	118.14	118.86
<b>MUSS/AÑO</b>	<b>662.89</b>	<b>667.15</b>	<b>671.41</b>	<b>675.67</b>	<b>679.93</b>	<b>684.19</b>	<b>688.44</b>	<b>692.70</b>	<b>696.95</b>	<b>701.20</b>
<b>INVENTARIO DE P.S. 20 DIAS</b>										
<i>TM/DC</i>	9.82	9.88	9.95	10.01	10.07	10.14	10.20	10.27	10.33	10.39
<i>TM/DO</i>	10.86	10.93	11.00	11.07	11.14	11.21	11.28	11.35	11.42	11.50
<i>TM/AÑO</i>	217.21	218.62	220.04	221.45	222.86	224.27	225.68	227.09	228.50	229.90
<i>MUSS/TM</i>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
<i>MUSS/AÑO</i>	21.85	21.99	22.13	22.28	22.42	22.56	22.70	22.84	22.98	23.13
<b>INVENTARIO DE P.T. 20 DIAS</b>										
<b>ÓXIDO CUPROSO</b>										
<i>TM/DC</i>	4.62	4.65	4.68	4.70	4.73	4.76	4.79	4.82	4.84	4.87
<i>TM/DO</i>	5.11	5.14	5.17	5.20	5.23	5.27	5.30	5.33	5.36	5.39
<i>TM/AÑO</i>	102.22	102.84	103.46	104.08	104.70	105.32	105.93	106.55	107.17	107.78
<i>MUSS/TM</i>	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.29	5.29	5.29
<i>MUSS/AÑO</i>	541.68	544.89	548.11	551.32	554.53	557.74	560.94	564.15	567.35	570.55
<b>ÓXIDO CÚPRICO</b>										
<i>TM/DC</i>	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40	0.40	0.41
<i>TM/DO</i>	0.40	0.41	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.45
<i>TM/AÑO</i>	8.06	8.17	8.27	8.37	8.48	8.58	8.69	8.79	8.89	9.00
<i>MUSS/TM</i>	4.03	4.23	4.34	4.45	4.56	4.68	4.81	4.94	5.08	5.22
<i>MUSS/AÑO</i>	32.47	34.54	35.86	37.25	38.69	40.19	41.77	43.41	45.13	46.92
<b>MUSS/AÑO</b>	<b>574.15</b>	<b>579.43</b>	<b>583.97</b>	<b>588.56</b>	<b>593.22</b>	<b>597.93</b>	<b>602.71</b>	<b>607.56</b>	<b>612.48</b>	<b>617.48</b>
<b>CUENTAS POR COBRAR</b>										
<b>15 DIAS DE VENTA</b>										
<b>MUSS/AÑO</b>	<b>404.14</b>	<b>407.82</b>	<b>410.99</b>	<b>414.20</b>	<b>417.45</b>	<b>420.74</b>	<b>424.08</b>	<b>427.46</b>	<b>430.90</b>	<b>434.38</b>
<b>TOTAL ACTIVO CIRCULANTE</b>	<b>1663.02</b>	<b>1676.39</b>	<b>1688.50</b>	<b>1700.71</b>	<b>1713.01</b>	<b>1725.42</b>	<b>1737.94</b>	<b>1750.57</b>	<b>1763.31</b>	<b>1776.19</b>
<b>PASIVO CIRCULANTE</b>										
<b>CUENTAS POR PAGAR</b>										
<b>30 DIAS DE COMPRAS</b>										
<b>MUSS/AÑO</b>	<b>599.32</b>	<b>604.98</b>	<b>609.82</b>	<b>614.72</b>	<b>619.69</b>	<b>624.73</b>	<b>629.84</b>	<b>635.02</b>	<b>640.28</b>	<b>645.62</b>
<b>TOTAL PASIVO CIRCULANTE</b>	<b>599.32</b>	<b>604.98</b>	<b>609.82</b>	<b>614.72</b>	<b>619.69</b>	<b>624.73</b>	<b>629.84</b>	<b>635.02</b>	<b>640.28</b>	<b>645.62</b>
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>										
<b>MUSS/AÑO</b>	<b>1.06</b>	<b>1.07</b>	<b>1.08</b>	<b>1.09</b>	<b>1.09</b>	<b>1.10</b>	<b>1.11</b>	<b>1.12</b>	<b>1.12</b>	<b>1.13</b>
<b>INCREMENTO</b>										
<b>MMUSS/AÑO</b>	<b>1.06</b>	<b>0.01</b>	<b>(1.12)</b>							

### 9.5 Cronograma de Inversiones:

Se asume que el monto de capital fijo será aportado por una entidad financiera mediante un préstamo, por lo tanto la inversión propia corresponderá solamente al capital de trabajo, se muestra el cronograma de inversiones por año en el siguiente cuadro:

**CRONOGRAMA DE INVERSIONES (MMUS\$ DEL AÑO 0)**

<b>RUBROS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
INVERSIONES CAPITAL FIJO	1.98										(0.20)
CAPITAL DE W. INCREMENTAL		1.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.12)
TOTAL INVERSIONES	1.98	1.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.32)

La inversión de 1,98 millones de dólares en el año cero corresponde al valor del capital fijo, el cual será financiado.

## 10. FINANCIAMIENTO

### 10.1 Financiamiento de la Inversión Fija:

Se decidió que el íntegro de la inversión fija será financiada con un préstamo a pagar en cinco años, sometido al interés impuesto por la entidad financiera aportadora.

Monto del Préstamo (MMUS\$): 1,98

Interés Anual : 10% de la deuda

### 10.2 Financiamiento del Capital de Trabajo:

Para el caso del capital de trabajo se decidió utilizar capital propio, ya sea de un único propietario o de un grupo de socios, por lo tanto no existiría financiamiento para el capital de trabajo.

### 10.3 Intereses y Determinación de Amortizaciones:

Los intereses sobre el préstamo son establecidos por la entidad financiera, en este caso el interés equivale al diez por ciento de la deuda pendiente de cada año, las amortizaciones de la deuda se determinan por la diferencia entre la cuota y el monto de interés por pagar en cada año. La cuota anual se calcula por la siguiente ecuación:

$$C = p \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

donde:

C: Valor de la cuota

p: monto del préstamo = 1,98 MMUS\$

i: tasa de interés = 10%

n: número de cuotas = 5

AÑO	1	2	3	4	5
CUOTA ANUAL	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
INTERES (MMUS\$)	0.19	0.15	0.12	0.08	0.04
AMORTIZACION (MMUS\$)	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39

#### 10.4 Estados Económicos y Financieros Proyectados:

Los estados financieros proyectados son muy necesarios la evaluación de proyectos de inversión e incluye

- Estado de Pérdidas y Ganancias proyectado
- Flujo de Caja Proyectado
- Balance General Proyectado

##### 10.4.1 Estado de Ganancias y Perdidas:

Elaborado para la etapa de operación del proyecto y muestra los resultados de la operación del proyecto. Se obtiene además la utilidad neta luego de restar egresos, depreciación, impuestos de los ingresos por ventas. A continuación se muestra los Estados de Pérdidas y Ganancias Proyectado Económico y Financiero.

#### ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS - EVALUACIÓN ECONÓMICA ( MMUS\$ DEL AÑO 0)

RUBROS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS</b>	9.83	9.92	10.00	10.08	10.16	10.24	10.32	10.40	10.49	10.57
<b>EGRESOS</b>										
Materia Prima	7.29	7.36	7.42	7.48	7.54	7.60	7.66	7.73	7.79	7.86
Costos Variables	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20
Costos Fijos	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
<b>GASTOS DE PRODUCCIÓN</b>	7.58	7.65	7.71	7.77	7.83	7.89	7.96	8.02	8.08	8.15
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	2.26	2.27	2.29	2.31	2.33	2.35	2.36	2.38	2.40	2.42
Gastos										
Administrativos	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26
Gastos de Ventas	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
<b>UTILIDAD DE OPERACIÓN</b>	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10
Depreciación	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
<b>RENTA NETA</b>	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93
Renta Neta										
Acumulada	0.85	1.72	2.58	3.46	4.35	5.24	6.14	7.05	7.97	8.90
Impuesto a la Renta	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28
<b>UTILIDAD NETA</b>	0.60	0.60	0.61	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65
Reserva Legal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Utilidad Retenida	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Dividendos	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57
Utilidad Retenida										
Corregida	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Perdidas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS - EVALUACIÓN FINANCIERA**  
( MMUS\$ DEL AÑO 0)

<b>RUBROS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>INGRESOS</b>	9.83	9.92	10.00	10.08	10.16	10.24	10.32	10.40	10.48	10.57
<b>EGRESOS</b>										
Materia Prima	7.29	7.36	7.42	7.48	7.54	7.60	7.66	7.73	7.79	7.86
Costos Variables	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20
Costos Fijos	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
<b>GASTOS DE PRODUCCIÓN</b>	7.58	7.65	7.71	7.77	7.83	7.89	7.96	8.02	8.08	8.15
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	2.26	2.27	2.29	2.31	2.33	2.35	2.36	2.38	2.40	2.42
Administrativos	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26
Gastos de Ventas	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06
<b>UTILIDAD DE OPERACIÓN</b>	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.09	1.10
Depreciación	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Gastos Financieros	0.19	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>RENTA NETA</b>	0.66	0.71	0.75	0.80	0.85	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93
Renta Neta Acumulada	0.66	1.37	2.13	2.93	3.77	4.67	5.57	6.48	7.40	8.32
Impuesto a la Renta	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28
<b>UTILIDAD NETA</b>	0.46	0.50	0.53	0.56	0.59	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65
Reserva Legal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Utilidad Retenida	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Dividendos	0.41	0.44	0.47	0.50	0.52	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57
Utilidad Retenida Corregida	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Perdidas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### 10.4.2 Flujo de Caja Proyectado:

En esta sección se determina las entradas y salidas de dinero del proyecto, las cuales son conocidas como Flujo Neto de Fondos (FNF).

Si el FNF es negativo significa salida de dinero y si es positivo es ingreso de dinero. Se muestra a continuación el Flujo de Caja Proyectado para la análisis económico y financiero:

#### FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACIÓN ECONÓMICA (MMUS\$ DEL AÑO 0)

RUBROS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INVERSIONES</b>											
Capital Fijo Propio	1.98										
Capital de W Incremental		1.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.12)
<b>TOTAL INVERSIONES</b>	1.98	1.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.12)
Utilidad Neta		0.60	0.60	0.61	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65
Depreciación		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
Aportes	1.98	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dividendos	0.00	0.00	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.57
Saldo de Caja	0.00	0.00	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.38
Aportes Totales	1.98	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saldo de Caja Corregido	0.00	0.10	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.38
Caja Residual	0.00	0.10	0.35	0.59	0.84	1.08	1.33	1.57	1.82	2.07	3.45

**FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACIÓN FINANCIERA  
(MMUS\$ DEL AÑO 0)**

<b>RUBROS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>INVERSIONES</b>											
Capital Fijo Propio	0.00										
Amortización de la Deuda		0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capital de W Incremental		1.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.12)
<b>TOTAL INVERSIONES</b>	<b>0.00</b>	<b>1.38</b>	<b>0.34</b>	<b>0.36</b>	<b>0.38</b>	<b>0.40</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>(1.12)</b>
Utilidad Neta		0.46	0.50	0.53	0.56	0.59	0.63	0.63	0.64	0.64	0.65
Depreciación		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>	<b>0.00</b>	<b>(0.74)</b>	<b>0.34</b>	<b>0.35</b>	<b>0.36</b>	<b>0.37</b>	<b>0.79</b>	<b>0.80</b>	<b>0.81</b>	<b>0.81</b>	<b>1.95</b>
Aportes	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dividendos	0.00	0.00	0.41	0.44	0.47	0.50	0.52	0.55	0.56	0.56	0.57
Saldo de Caja	0.00	0.00	-0.08	-0.09	-0.11	-0.12	0.27	0.25	0.25	0.25	1.38
Aportes Totales Considerando Caja Mínima	0.00	0.84	0.18	0.20	0.21	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saldo de Caja Corregido	0.00	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.27	0.25	0.25	0.25	1.38
Caja Residual	0.00	0.10	0.21	0.31	0.42	0.53	0.80	1.04	1.29	1.54	2.92

### 10.4.3 Estados Financieros Proyectados:

Es la relación de saldos que hay en las cuentas de activo, pasivo y capital contable, muestra el estado de las cuentas y registra la situación vigente en el momento de realizar el balance. A continuación se muestran los balances proyectados para la evaluación económica económica y financiera:

#### BALANCE GENERAL PROYECTADO-EVALUACION ECONOMICA (MMUSS DEL AÑO 0)

RUBROS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ACTIVO</b>											
Caja-Banco	0.00	0.10	0.35	0.59	0.84	1.08	1.33	1.57	1.82	2.07	3.45
Inv. Materia Prima		0.66	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68	0.69	0.69	0.70	0.00
Inv. Subproducto		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
Inv. Producto		0.57	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.00
Cuentas por Cobrar		0.40	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.00
Activo Neto	1.98	1.80	1.63	1.45	1.27	1.10	0.92	0.74	0.57	0.39	0.21
<b>TOTAL ACTIVO</b>	1.98	3.57	3.65	3.73	3.81	3.89	3.97	4.06	4.14	4.22	3.66
<b>PASIVO</b>											
<b>CORTO PLAZO</b>											
Cuentas por Pagar		0.60	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62	0.63	0.64	0.64	0.00
Dividendos		0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.554	0.559	0.564	0.569	0.574
<b>PATRIMONIO</b>											
Capital Social	1.98	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
Reserva Legal Acumulada		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
Utilidad Retenida Acumulada		0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.37	0.43	0.49	0.56	0.62
Venta de Activo Fijo											0.00
Perdidas Acumuladas		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL PASIVO</b>	1.98	3.57	3.65	3.73	3.81	3.89	3.97	4.06	4.14	4.22	3.66

**BALANCE GENERAL PROYECTADO-EVALUACION FINANCIERA**  
(MMUS\$ DEL AÑO 0)

RUBROS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ACTIVO</b>											
Caja-Banco	0.00	0.10	0.21	0.31	0.42	0.53	0.80	1.04	1.29	1.54	2.92
Inv. Materia Prima		0.66	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68	0.69	0.69	0.70	0.00
Inv. Subproducto		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
Inv. Producto		0.57	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.00
Cuentas por Cobrar		0.40	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.00
Activo Neto	1.98	1.80	1.63	1.45	1.27	1.10	0.921	0.744	0.568	0.391	0.214
<b>TOTAL ACTIVO</b>	1.98	3.57	3.51	3.45	3.40	3.34	3.444	3.527	3.61	3.695	3.134
<b>PASIVO</b>											
<b>CORTO PLAZO</b>											
Ctas. Por Pagar	0.00	0.60	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62	0.63	0.64	0.64	0.00
Amortización de la Deuda	0.32	0.36	0.39	0.43	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dividendos	0.00	0.41	0.44	0.47	0.50	0.52	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57
<b>LARGO PLAZO</b>											
Deuda	1.66	1.30	0.91	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>PATRIMONIO</b>											
Capital Social	0.00	0.84	1.02	1.22	1.43	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
Reserva Legal		0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
Utilidad Retenida Acumulada		0.05	0.10	0.15	0.20	0.26	0.33	0.39	0.45	0.52	0.58
Perdidas Acumuladas		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Efecto de la Inflación		0.01	0.04	0.08	0.15	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
<b>TOTAL PASIVO</b>	1.98	3.57	3.51	3.45	3.40	3.34	3.44	3.53	3.61	3.69	3.13

#### 10.4.4 SERVICIO DE LA DEUDA:

Para el cálculo de los estados financieros se presenta el siguiente cuadro de la deuda (los montos han sido calculados en la sección 10.3 Intereses y Determinación de Amortizaciones):

**CUADRO DEL SERVICIO DE LA DEUDA (MMUS\$)**

<b>AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>MONEDA CORRIENTE</b>						
DEUDA	1.98	1.66	1.30	0.91	0.47	0.00
AMORTIZACION		0.32	0.36	0.39	0.43	0.47
INTERES		0.20	0.17	0.13	0.09	0.05
PAGO		0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
<b>MONEDA CTE.(AÑO 0)</b>						
AMORTIZACION		0.31	0.33	0.35	0.37	0.39
INTERESES		0.19	0.15	0.12	0.08	0.04
PAGO		0.50	0.48	0.46	0.45	0.43
<b>AMORT.CORR-AMORT.CTE.</b>		0.01	0.03	0.04	0.06	0.08

## 11. CRITERIOS DE LA EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN.-

### 11.1 Criterio de Evaluación Económica-Financiera:

Para evaluar la conveniencia de una inversión se evalúan ciertos criterios de rentabilidad, los cuales indican que tan rentable o no sería realizar un determinado proyecto de inversión. Entre estos criterios a evaluar se encuentran:

- Tasa de Descuento
- Valor Presente Neto
- La Tasa Interna de Retorno
- Relación Costo Beneficio
- Período de Recuperación
- Índice del Valor Presente

### 11.2 Valor Presente Neto (VPN):

Conocido como valor actual neto, viene a ser la sumatoria actualizada con la tasa de descuento de los flujos netos de fondo de todo el horizonte de planeamiento. Este criterio mide la rentabilidad absoluta expresada en unidades monetarias del año 0.

$$VPN_{0,TD} = \sum_{j=0}^N \frac{FNF_j}{(1 + TD)^j} \dots\dots\dots (23)$$

FNF : Flujo Neto de Fondos

TD : Tasa de descuento

j : año

Un proyecto se considera rentable si  $VPN > 0$ , siendo mejores proyectos, los que tienen mayor VPN. La siguiente tabla muestra los FNF económico y financiero, así como también el valor correspondiente al valor presente neto.

#### VPN DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Fondos	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
VPNA	(1.98)	(2.24)	(1.61)	(1.02)	(0.49)	0.00	0.45	0.86	1.24	1.58	2.33
VPN	2.33										

#### VPN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Fondos	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
VPNA	0.00	(0.67)	(0.39)	(0.13)	0.12	0.35	0.80	1.21	1.58	1.93	2.68
VPN	2.68										

Se puede apreciar que el VPN económico y el VPN financiero son mayores a cero, lo cual indica que el proyecto es rentable.

### 11.3 Tasa Interna de Retorno (TIR):

Es también una medida de la rentabilidad relativa y es aquella tasa porcentual que hace cero el valor del VPN. Se consideran proyectos rentables cuando la  $TIR > TD$ .

$$VPN_{0,TIR} = 0 = \sum_{j=0}^N \frac{FNF_j}{(1 + TIR)^j} \dots\dots\dots (24)$$

Si se compara la TIR económica (TIRE) con la financiera (TIRF), se aprecia que la TIRF es mayor que la TIRE por el efecto de financiamiento o de la palanca financiera. A continuación se presenta el valor de la TIR para la evaluación económica y la financiera.

#### TIR DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Fondos	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
TIR	26%										

#### TIR DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Fondos	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
TIR	57%										

El valor de la TIRE y el de la TIRF son mayores que la TD, por lo cual se puede decir que el proyecto es rentable.

#### 11.4 Relación Beneficio Costo (B/C):

Representa la relación de los ingresos (Beneficios) y de los egresos (Costos) este monto representa cuanto dinero ingresa al proyecto por cada unidad monetaria de egreso.

$$(B/C)_{TD} = \frac{VPB_{0,TD}}{VPC_{0,TD}} \dots\dots\dots (25)$$

donde:

VPB: Valor presente de los beneficios.

VPC: Valor presente de los costos

A continuación se presenta el valor de B/C para la evaluación económica y para la evaluación financiera

#### RELACIÓN B/C DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	0.00	9.83	9.92	10.00	10.08	10.16	10.24	10.32	10.40	10.49	10.57
EGRESOS	1.98	10.12	9.15	9.22	9.30	9.37	9.44	9.52	9.60	9.67	8.62
VPB	62.30										
VPC	59.96										
B/C	1.04										

#### RELACIÓN B/C DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	0.00	9.83	9.92	10.00	10.08	10.16	10.24	10.32	10.40	10.48	10.57
EGRESOS	0.00	10.57	9.59	9.65	9.72	9.79	9.44	9.52	9.60	9.67	8.62
VPB	62.29										
VPC	59.61										
B/C	1.04										

Como se puede apreciar ambos valores de la relación B/C son mayores que la unidad, lo que indica que el proyecto es rentable.

### 11.5 Período de Recuperación (PR):

Es el tiempo en el que se recupera la inversión, es una medida de la liquidez del proyecto. El PR se puede obtener de la siguiente tabla, cuando el valor del VPNA (valor del VPN acumulado para los k primeros años de vida del proyecto, k varía de 0 a N) pasa de ser negativo a positivo, ese es el año en el que se recupera la inversión.

A continuación se presentan los valores de VPNA acumulados para cada año del período de operación de la planta, tanto para el análisis económico como para el análisis financiero:

#### VPNA DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VPNA	(1.98)	(2.24)	(1.61)	(1.02)	(0.49)	0.00	0.45	0.86	1.24	1.58	2.33

#### VPNA DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VPNA	0.00	(0.67)	(0.39)	(0.13)	0.12	0.35	0.80	1.21	1.58	1.93	2.68

Según los valores de VPNA se puede apreciar que el período de recuperación para el análisis económico es de cinco años, mientras que para el análisis financiero el período de recuperación es de cuatro años.

### 11.6 Índice de Valor Presente (IVP):

Es la relación entre el VPN y el valor actual de las inversiones VPI<sub>inv</sub>. Es también una medida de rentabilidad del proyecto por cada unidad monetaria de inversión.

$$(B/C)_{TD} = \frac{VPB_{0,TD}}{VPC_{0,TD}} = \frac{\sum_{j=0}^N FNF/(1+TD)^j}{\sum_{j=0}^N INV_j/(1+TD)^j} \dots\dots\dots (26)$$

Se considera que un proyecto será rentable cuando el valor de IVP > 0. A continuación se presentan los valores de IVP para el análisis económico y para el análisis financiero.

#### IVP DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Fondos	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
Inversión	1.98	1.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.12)
<b>IVP</b>	<b>0.92</b>										

#### IVP DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA MUS\$ DEL AÑO 0

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo Neto de Fondos	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95
Inversión	0.00	1.38	0.34	0.36	0.38	0.40	0.01	0.01	0.01	0.01	(1.12)
<b>IVP</b>	<b>1.42</b>										

Se puede apreciar que los valores de IVP para ambos análisis son mayores de cero, por tanto el proyecto es rentable.

## 12. ANÁLISIS DE RIESGO E INCERTIDUMBRE

### 12.1 Análisis de Sensibilidad y Simulación por el Método de Montecarlo para la Evaluación Económica - Financiera:

Se estudiará la sensibilidad de la rentabilidad en las variables consideradas más importantes del proceso, las cuales son:

- Inversión
- Costos Variables
- Cantidad Demandada del Producto
- Precio de la Materia Prima
- Precio del producto

Se empleará el método Montecarlo, el cual consiste en estimar la distribución de probabilidades de ocurrencia de cada una de las variables consideradas, asignando números aleatorios que darán valores diferentes para cada uno de los Flujos Netos de Fondos. Se realizan aproximadamente 1000 veces o más.

En ese diagrama se encuentra el porcentaje de probabilidad para el cual el VPN se hace cero, siendo este la probabilidad de que el proyecto no sea rentable.

Se presentan a continuación los resultados de la sensibilidad del proyecto respecto a cada variable para la evaluación económica y para la evaluación financiera, en primer lugar se presentan los resultados de sensibilidad para el análisis económico:

### EVALUACIÓN ECONÓMICA

#### Análisis de Sensibilidad a la Inversión (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.9	(1.78)	(0.18)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.83	2.59
0.95	(1.88)	(0.24)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.89	2.46
1	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
1.05	(2.08)	(0.34)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	2.01	2.21
1.1	(2.18)	(0.40)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	2.06	2.08
1.15	(2.28)	(0.45)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	2.12	1.96
1.2	(2.38)	(0.50)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	2.18	1.83

Análisis de Sensibilidad a los Costos Variables (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.7	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.32
0.75	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.32
0.8	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.32
0.85	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.33
0.9	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
0.95	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
1	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
1.05	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.34
1.1	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.34
1.15	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.34
1.2	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.35
1.25	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	1.96	2.35
1.3	(1.98)	(0.29)	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	1.96	2.35
1.35	(1.98)	(0.29)	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	1.96	2.35
1.4	(1.98)	(0.29)	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	1.96	2.36
1.45	(1.98)	(0.29)	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.82	1.96	2.36
1.5	(1.98)	(0.29)	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	1.96	2.36

Análisis de Sensibilidad a la Demanda del Producto (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.8	(1.98)	(0.26)	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.61	0.62	0.62	1.53	1.32
0.85	(1.98)	(0.27)	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	1.64	1.56
0.9	(1.98)	(0.28)	0.68	0.69	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	0.72	1.74	1.81
0.95	(1.98)	(0.28)	0.73	0.73	0.74	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	1.84	2.07
1	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
1.05	(1.98)	(0.30)	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86	0.86	2.06	2.61
1.1	(1.98)	(0.30)	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	2.16	2.89
1.15	(1.98)	(0.30)	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97	2.27	3.17
1.2	(1.98)	(0.31)	0.97	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02	2.38	3.46

Análisis de Sensibilidad al Precio de la Materia Prima (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.8	(1.98)	(0.19)	0.68	0.68	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70	0.71	1.63	1.83
0.85	(1.98)	(0.21)	0.70	0.71	0.71	0.71	0.72	0.72	0.73	0.74	1.71	1.95
0.9	(1.98)	(0.24)	0.72	0.73	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.76	1.79	2.08
0.95	(1.98)	(0.26)	0.75	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.79	1.87	2.21
1	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
1.05	(1.98)	(0.32)	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.83	0.84	2.03	2.46
1.1	(1.98)	(0.34)	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86	0.86	2.11	2.59
1.15	(1.98)	(0.37)	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	2.18	2.72
1.2	(1.98)	(0.39)	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	2.26	2.84
1.25	(1.98)	(0.42)	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	2.34	2.97
1.3	(1.98)	(0.44)	0.92	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.97	2.42	3.10

Análisis de Sensibilidad al Precio del Producto (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.70	(1.98)	(2.40)	(1.65)	(1.66)	(1.67)	(1.69)	(1.70)	(1.71)	(1.73)	(1.74)	(0.94)	(12.70)
0.75	(1.98)	(2.00)	(1.20)	(1.21)	(1.22)	(1.23)	(1.24)	(1.25)	(1.26)	(1.27)	(0.41)	(9.92)
0.80	(1.98)	(1.61)	(0.75)	(0.76)	(0.77)	(0.77)	(0.78)	(0.79)	(0.79)	(0.80)	0.11	(7.14)
0.85	(1.98)	(1.21)	(0.31)	(0.31)	(0.31)	(0.32)	(0.32)	(0.32)	(0.32)	(0.33)	0.64	(4.37)
0.90	(1.98)	(0.82)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	1.17	(1.59)
0.95	(1.98)	(0.55)	0.46	0.46	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	1.56	0.40
1.00	(1.98)	(0.29)	0.77	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.33
1.05	(1.98)	(0.03)	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.12	1.13	1.14	2.33	4.27
1.10	(1.98)	0.23	1.40	1.41	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	2.72	6.21
1.15	(1.98)	0.49	1.71	1.72	1.73	1.75	1.76	1.77	1.79	1.80	3.10	8.14
1.20	(1.98)	0.75	2.02	2.04	2.05	2.07	2.08	2.10	2.11	2.13	3.49	10.08

Luego la matriz del análisis de sensibilidad evaluación económica será la siguiente:

$\beta$	Inversión	Costo Variable	Precio del Producto	Demanda del Producto	Precio de M.P.
0.7		2.32	(12.70)		
0.75		2.32	(9.92)		
0.8		2.32	(7.14)	1.32	1.83
0.85		2.33	(4.37)	1.56	1.95
0.9	2.59	2.33	(1.59)	1.81	2.08
0.95	2.46	2.33	0.40	2.07	2.21
1	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
1.05	2.21	2.34	4.27	2.61	2.46
1.1	2.08	2.34	6.21	2.89	2.59
1.15	1.96	2.34	8.14	3.17	2.72
1.2	1.83	2.35	10.08	3.46	2.84
1.25		2.35			2.97
1.3		2.35			3.10
1.35		2.35			
1.4		2.36			
1.45		2.36			
1.5		2.36			

## EVALUACIÓN FINANCIERA

### Análisis de Sensibilidad a la Inversión (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
<b>0.9</b>	0.00	(0.58)	0.38	0.39	0.40	0.41	0.79	0.80	0.81	0.81	1.83	2.89
<b>0.95</b>	0.00	(0.66)	0.36	0.37	0.38	0.39	0.79	0.80	0.81	0.81	1.89	2.79
<b>1</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
<b>1.05</b>	0.00	(0.81)	0.31	0.33	0.34	0.35	0.79	0.80	0.81	0.81	2.01	2.57
<b>1.1</b>	0.00	(0.89)	0.29	0.31	0.32	0.33	0.79	0.80	0.81	0.81	2.06	2.46
<b>1.15</b>	0.00	(0.96)	0.27	0.28	0.30	0.31	0.79	0.80	0.81	0.81	2.12	2.35
<b>1.2</b>	0.00	(1.04)	0.25	0.26	0.28	0.29	0.79	0.80	0.81	0.81	2.18	2.24

### Análisis de Sensibilidad a los Costos Variables (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
<b>0.7</b>	0.00	(0.73)	0.33	0.34	0.36	0.37	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.66
<b>0.75</b>	0.00	(0.73)	0.33	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.66
<b>0.8</b>	0.00	(0.73)	0.33	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.66
<b>0.85</b>	0.00	(0.73)	0.33	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.67
<b>0.9</b>	0.00	(0.73)	0.33	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.80	0.81	1.94	2.67
<b>0.95</b>	0.00	(0.73)	0.33	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.67
<b>1</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
<b>1.05</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
<b>1.1</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
<b>1.15</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.80	0.80	0.81	0.81	1.95	2.69
<b>1.2</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.80	0.80	0.81	0.81	1.96	2.69
<b>1.25</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.80	0.80	0.81	0.81	1.96	2.69
<b>1.3</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.38	0.80	0.80	0.81	0.82	1.96	2.70
<b>1.35</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.38	0.80	0.80	0.81	0.82	1.96	2.70
<b>1.4</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.37	0.38	0.80	0.81	0.81	0.82	1.96	2.70
<b>1.45</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.37	0.38	0.80	0.81	0.81	0.82	1.97	2.71
<b>1.5</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.37	0.38	0.80	0.81	0.81	0.82	1.97	2.71

### Análisis de Sensibilidad a la Demanda del Producto (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
<b>0.8</b>	0.00	(0.70)	0.16	0.17	0.18	0.19	0.61	0.61	0.62	0.62	1.53	1.66
<b>0.85</b>	0.00	(0.71)	0.20	0.21	0.22	0.23	0.65	0.66	0.66	0.67	1.64	1.91
<b>0.9</b>	0.00	(0.72)	0.24	0.26	0.27	0.28	0.70	0.71	0.71	0.72	1.74	2.16
<b>0.95</b>	0.00	(0.73)	0.29	0.30	0.31	0.32	0.75	0.75	0.76	0.76	1.84	2.41
<b>1</b>	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
<b>1.05</b>	0.00	(0.74)	0.38	0.40	0.41	0.42	0.84	0.85	0.86	0.86	2.06	2.95
<b>1.1</b>	0.00	(0.75)	0.43	0.45	0.46	0.47	0.89	0.90	0.91	0.91	2.16	3.23
<b>1.15</b>	0.00	(0.75)	0.48	0.50	0.51	0.52	0.94	0.95	0.96	0.97	2.27	3.51
<b>1.2</b>	0.00	(0.75)	0.53	0.55	0.56	0.57	1.00	1.00	1.01	1.02	2.38	3.81

Análisis de Sensibilidad al Precio de la Materia Prima (MMUS\$ DEL AÑO 0)

$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.8	0.00	(0.63)	0.24	0.25	0.26	0.27	0.69	0.70	0.70	0.71	1.63	2.17
0.85	0.00	(0.66)	0.26	0.28	0.29	0.30	0.72	0.72	0.73	0.74	1.71	2.30
0.9	0.00	(0.68)	0.29	0.30	0.31	0.32	0.74	0.75	0.76	0.76	1.79	2.42
0.95	0.00	(0.71)	0.31	0.32	0.34	0.35	0.77	0.78	0.78	0.79	1.87	2.55
1	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
1.05	0.00	(0.76)	0.36	0.37	0.38	0.40	0.82	0.83	0.83	0.84	2.03	2.80
1.1	0.00	(0.79)	0.38	0.40	0.41	0.42	0.84	0.85	0.86	0.86	2.11	2.93
1.15	0.00	(0.81)	0.41	0.42	0.43	0.45	0.87	0.88	0.88	0.89	2.18	3.06
1.2	0.00	(0.84)	0.43	0.45	0.46	0.47	0.89	0.90	0.91	0.91	2.26	3.19
1.25	0.00	(0.86)	0.46	0.47	0.48	0.50	0.92	0.93	0.93	0.94	2.34	3.31
1.3	0.00	(0.89)	0.48	0.49	0.51	0.52	0.94	0.95	0.96	0.97	2.42	3.44

Análisis de Sensibilidad al Precio del Producto (MMUS\$ DEL AÑO 0)

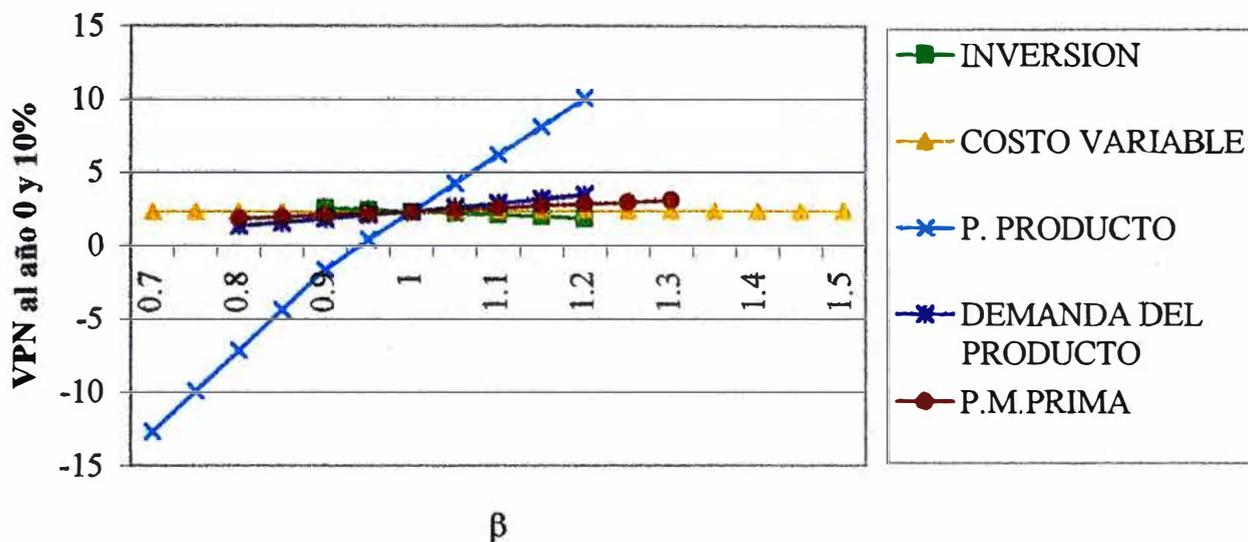
$\beta$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN
0.70	0.00	(2.90)	(2.13)	(2.12)	(2.12)	(2.11)	(1.70)	(1.71)	(1.73)	(1.74)	(0.94)	(12.49)
0.75	0.00	(2.50)	(1.68)	(1.67)	(1.67)	(1.66)	(1.24)	(1.25)	(1.26)	(1.27)	(0.41)	(9.72)
0.80	0.00	(2.11)	(1.24)	(1.22)	(1.21)	(1.20)	(0.78)	(0.78)	(0.79)	(0.80)	0.11	(6.94)
0.85	0.00	(1.72)	(0.79)	(0.77)	(0.76)	(0.74)	(0.32)	(0.32)	(0.32)	(0.33)	0.64	(4.16)
0.90	0.00	(1.32)	(0.34)	(0.32)	(0.31)	(0.29)	0.14	0.14	0.14	0.14	1.17	(1.39)
0.95	0.00	(1.00)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.47	0.48	0.48	0.48	1.56	0.74
1.00	0.00	(0.74)	0.34	0.35	0.36	0.37	0.79	0.80	0.81	0.81	1.95	2.68
1.05	0.00	(0.47)	0.65	0.66	0.68	0.69	1.12	1.12	1.13	1.14	2.33	4.61
1.10	0.00	(0.21)	0.96	0.98	0.99	1.01	1.44	1.45	1.46	1.47	2.72	6.55
1.15	0.00	0.05	1.27	1.29	1.31	1.33	1.76	1.77	1.79	1.80	3.10	8.49
1.20	0.00	0.31	1.58	1.61	1.63	1.65	2.08	2.10	2.11	2.13	3.49	10.42

Luego la matriz del análisis de sensibilidad evaluación económica será la siguiente:

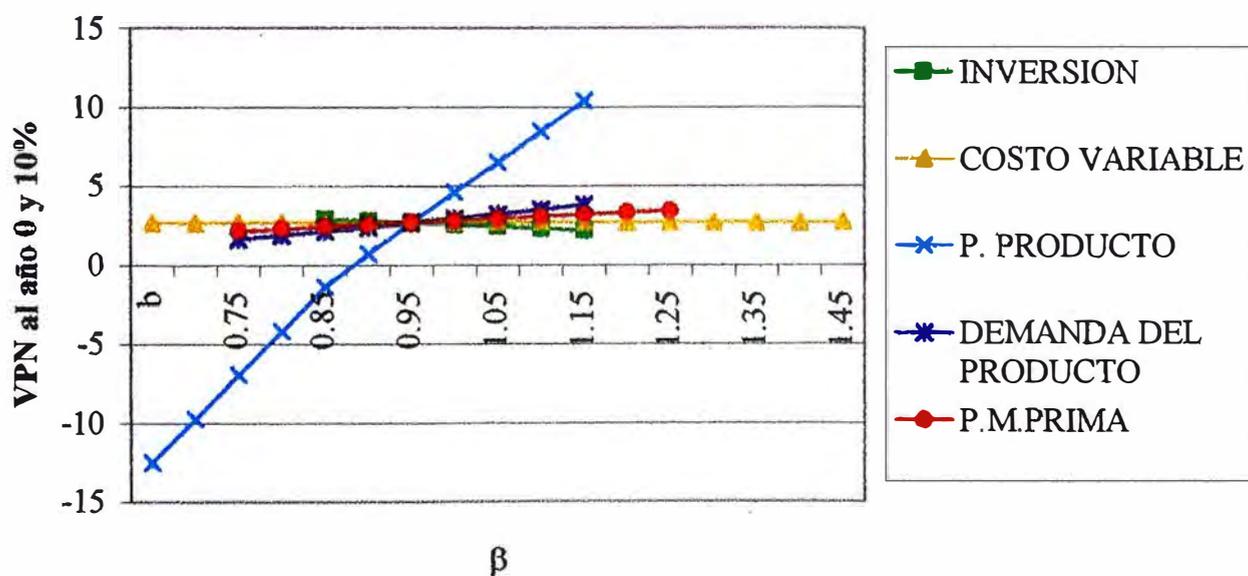
$\beta$	Inversión	Costo Variable	Precio del Producto	Demanda del Producto	Precio de M.P.
0.7		2.66	(12.49)		
0.75		2.66	(9.72)		
0.8		2.66	(6.94)	1.66	2.17
0.85		2.67	(4.16)	1.91	2.30
0.9	2.89	2.67	(1.39)	2.16	2.42
0.95	2.79	2.67	0.74	2.41	2.55
1	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
1.05	2.57	2.68	4.61	2.95	2.80
1.1	2.46	2.68	6.55	3.23	2.93
1.15	2.35	2.69	8.49	3.51	3.06
1.2	2.24	2.69	10.42	3.81	3.19
1.25		2.69			3.31
1.3		2.70			3.44
1.35		2.70			
1.4		2.70			
1.45		2.71			
1.5		2.71			

## Gráfica de Sensibilidad

### GRÁFICA N° 12.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EVALUACIÓN ECONÓMICA



### GRÁFICA 12.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EVALUACIÓN FINANCIERA



Como se puede observar en las gráficas de análisis de sensibilidad el precio y la demanda del producto y son las variables que más afectan la rentabilidad del proyecto.

En esta sección se realiza un análisis de rentabilidad determinando una distribución de probabilidades acumuladas (PAC) para cada una de las variables relevantes, donde PAC es la probabilidad de que la variable sea menor o igual al valor establecido en el análisis.

Para los valores de  $\beta$  dados en cada caso (que deben ser un mínimo de 100) se calcula el valor del VPN económico y del VPN financiero.

#### MONTECARLO CON DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES ACUMULADA

N	$\beta$					RENTABILIDAD (VPN)	
	Precio de la Materia Prima	Precio del Producto	Inversión	Costos Variables	Cantidad Vendida	ANÁLISIS ECONOMICO	ANÁLISIS FINANCIERO
1	1.10	1.13	0.96	1.37	1.06	8.83	9.16
2	1.00	0.79	1.00	1.21	0.91	(7.25)	(7.05)
3	1.19	1.18	1.01	1.42	0.94	10.15	10.50
4	0.89	0.97	1.04	1.32	1.00	0.74	1.10
5	0.84	0.90	1.12	1.46	0.93	(1.70)	(1.47)
6	1.02	0.79	1.10	1.22	1.05	(8.50)	(8.28)
7	1.17	0.95	0.98	1.02	1.06	0.56	0.90
8	0.91	0.91	1.13	0.95	1.05	(1.49)	(1.16)
9	1.17	0.98	1.07	1.00	0.86	0.96	1.33
10	1.09	1.13	0.95	0.83	1.14	9.74	10.07
11	1.05	1.15	1.01	1.13	0.95	7.99	8.34
12	1.04	0.98	1.02	1.13	0.87	0.92	1.27
13	0.99	0.96	1.09	0.96	0.98	0.64	1.01
14	1.10	1.13	1.06	1.23	0.92	7.18	7.55
15	1.19	1.00	0.99	1.09	1.09	3.28	3.62
16	1.22	0.89	1.03	0.74	1.07	(2.29)	(2.08)
17	1.04	1.09	1.03	1.03	0.96	5.70	6.05
18	1.22	1.19	1.06	1.05	0.98	11.31	11.68
19	0.89	1.00	1.15	0.94	0.92	1.19	1.59
20	1.06	1.06	1.07	1.01	1.04	5.03	5.39
21	0.84	1.20	0.99	0.74	0.90	7.43	7.77
22	1.09	1.13	0.96	1.38	0.92	7.23	7.56
23	0.90	0.88	1.02	1.08	1.03	(2.54)	(2.33)
24	1.01	1.16	1.00	1.18	0.91	7.67	8.01
25	1.07	1.05	1.06	1.29	0.99	4.50	4.86
26	1.14	1.11	1.15	0.89	0.96	6.74	7.13
27	0.92	0.91	1.07	1.22	1.03	(1.39)	(1.10)
28	0.91	1.01	1.05	1.10	0.83	1.48	1.84
29	0.85	1.14	1.05	1.08	1.02	6.70	7.06
30	0.96	1.17	1.09	0.77	1.02	8.67	9.04
31	1.22	1.24	1.05	1.04	0.89	12.26	12.62
32	1.18	1.20	0.99	0.85	1.07	13.17	13.51
33	1.08	1.10	1.08	0.91	1.07	7.23	7.60
34	1.01	1.05	1.02	1.06	1.06	4.56	4.92
35	0.92	0.92	0.95	0.91	0.97	(0.62)	(0.30)
36	0.85	1.08	1.02	0.96	1.01	4.55	4.90
37	1.01	1.02	1.11	1.12	1.00	2.83	3.22
38	0.94	1.06	0.98	0.77	1.11	5.08	5.42
39	0.93	1.24	0.96	1.12	0.88	9.56	9.89

N	$\beta$					RENTABILIDAD (VPN)	
	Precio de la Materia Prima	Precio del Producto	Inversión	Costos Variables	Cantidad Vendida	ANÁLISIS ECONOMICO	ANÁLISIS FINANCIERO
40	1.08	0.83	1.16	1.07	1.06	(6.72)	(6.48)
41	0.86	1.05	1.02	0.73	1.00	3.53	3.89
42	1.08	1.10	1.09	0.71	1.06	6.85	7.23
43	1.20	0.94	0.99	1.18	1.06	0.08	0.42
44	1.09	0.98	1.17	1.11	1.00	1.10	1.50
45	0.98	0.80	1.09	0.81	1.19	(7.51)	(7.29)
46	1.03	1.06	1.01	0.83	1.01	4.67	5.02
47	1.24	0.98	0.97	1.05	1.08	2.46	2.79
48	0.95	1.05	0.93	0.96	1.06	4.85	5.17
49	1.06	1.16	0.99	1.09	0.98	9.10	9.44
50	1.08	0.91	1.00	1.34	0.99	(1.20)	(0.89)
51	0.90	0.93	1.04	1.01	1.12	(0.24)	0.12
52	1.10	1.00	0.93	0.84	0.91	2.33	2.65
53	1.18	1.00	1.10	1.29	0.94	2.01	2.38
54	0.84	0.92	1.02	1.10	1.00	(0.66)	(0.31)
55	0.96	0.82	1.04	1.10	1.00	(5.92)	(5.71)
56	1.07	0.98	0.99	1.33	1.01	1.87	2.21
57	1.14	0.95	1.09	1.27	1.05	0.46	0.84
58	1.13	1.14	1.03	1.15	1.08	9.56	9.92
59	1.10	1.01	1.07	1.14	0.95	2.50	2.86
60	0.92	1.07	0.94	1.04	0.94	4.31	4.63
61	0.96	1.04	1.00	1.37	1.10	4.59	4.93
62	1.01	1.08	0.92	0.97	1.06	6.24	6.55
63	1.24	0.93	0.98	0.89	1.13	0.18	0.51
64	1.04	1.13	0.96	1.28	1.05	8.17	8.50
65	0.93	0.78	1.08	1.05	0.97	(7.75)	(7.53)
66	1.01	1.09	0.96	0.98	0.94	5.35	5.68
67	0.89	0.89	1.01	0.94	0.92	(1.98)	(1.77)
68	1.15	1.02	1.00	0.95	0.98	3.42	3.77
69	1.06	0.99	1.00	0.81	1.09	2.66	3.00
70	0.95	1.19	1.05	1.12	1.11	10.33	10.69
71	1.13	0.93	1.11	0.97	0.90	(0.80)	(0.42)
72	1.12	1.08	1.05	0.95	1.06	6.43	6.79
73	1.01	0.93	1.05	1.22	1.01	(0.59)	(0.23)
74	0.94	0.84	1.05	1.02	0.98	(4.62)	(4.40)
75	1.10	0.82	0.96	1.27	1.11	(6.61)	(6.42)
76	0.86	1.10	1.03	1.05	1.16	6.86	7.21
77	1.18	0.88	1.04	1.22	0.85	(3.56)	(3.35)
78	0.92	0.87	0.95	0.83	1.03	(2.71)	(2.52)
79	1.02	0.97	1.13	1.12	0.93	0.74	1.13
80	1.16	0.83	1.03	0.95	0.91	(5.98)	(5.77)
81	1.07	0.80	1.11	0.96	0.85	(7.27)	(7.04)
82	1.15	0.95	1.06	1.04	1.05	0.72	1.08
83	0.96	0.94	1.15	0.92	1.06	(0.06)	0.34
84	1.09	1.24	1.06	1.22	1.09	13.64	14.00
85	1.16	0.98	1.16	0.76	1.02	1.48	1.88
86	1.09	1.18	1.00	1.28	0.99	10.22	10.56
87	0.97	0.77	0.99	1.05	0.93	(8.09)	(7.89)
88	1.26	0.99	1.00	0.87	0.98	2.23	2.57

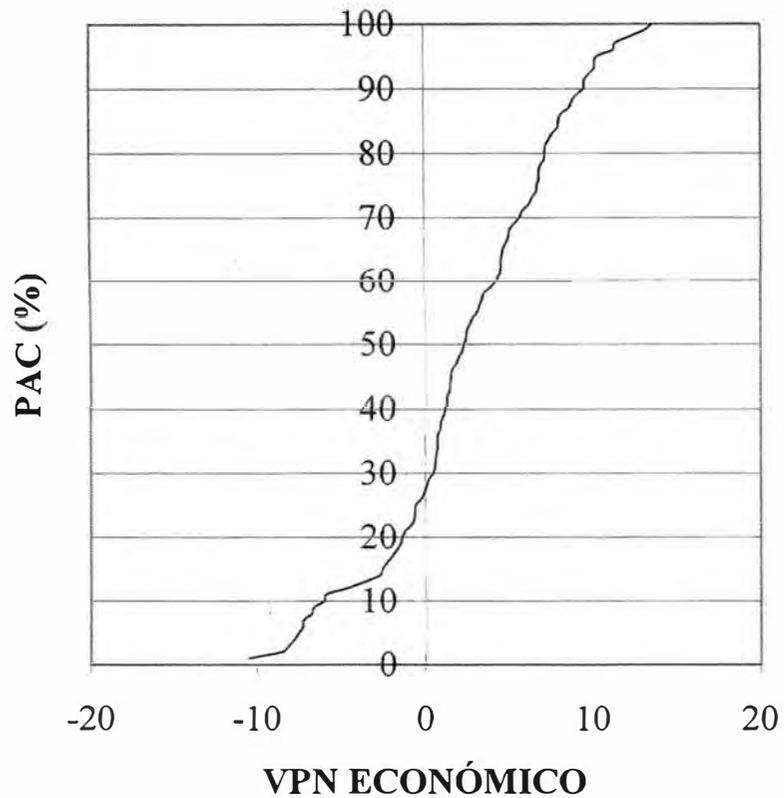
N	$\beta$					RENTABILIDAD (VPN)	
	Precio de la Materia Prima	Precio del Producto	Inversión	Costos Variables	Cantidad Vendida	ANÁLISIS ECONOMICO	ANÁLISIS FINANCIERO
89	1.23	1.08	0.94	0.97	1.13	8.04	8.37
90	1.27	1.05	0.97	1.07	1.06	5.85	6.18
91	0.96	1.08	0.99	0.87	1.19	6.93	7.26
92	1.09	1.17	0.94	0.89	1.12	11.38	11.71
93	1.23	0.76	0.93	1.02	0.94	(10.51)	(10.32)
94	1.17	0.99	1.02	0.86	0.84	1.57	1.92
95	1.02	0.95	1.01	1.16	1.07	0.63	0.97
96	0.97	0.97	0.92	1.35	1.04	1.61	1.92
97	1.07	0.99	1.03	1.12	0.87	1.32	1.68
98	0.97	0.98	0.99	1.06	0.97	1.31	1.65
99	1.11	1.04	1.07	1.23	0.95	3.99	4.35
100	1.00	1.03	1.09	1.10	1.00	3.13	3.51

Luego se ordena el VPN en forma ascendente, de esta manera se habrá determinado la distribución de probabilidades acumuladas del VPN. La PAC para  $VPN = 0$ , será la probabilidad de que el proyecto no sea rentable ( $VPN < 0$ ).

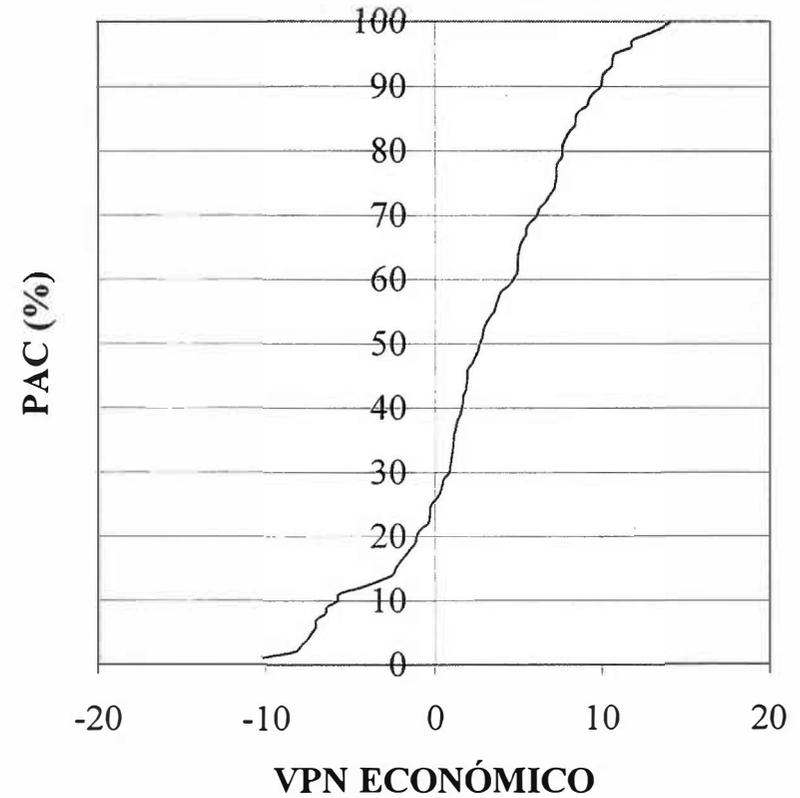
VPN ECON	VPN FINAN	N
(10.5)	(10.3)	1
(8.5)	(8.3)	2
(8.1)	(7.9)	3
(7.7)	(7.5)	4
(7.5)	(7.3)	5
(7.3)	(7.0)	6
(7.3)	(7.0)	7
(6.7)	(6.5)	8
(6.6)	(6.4)	9
(6.0)	(5.8)	10
(5.9)	(5.7)	11
(4.6)	(4.4)	12
(3.6)	(3.4)	13
(2.7)	(2.5)	14
(2.5)	(2.3)	15
(2.3)	(2.1)	16
(2.0)	(1.8)	17
(1.7)	(1.5)	18
(1.5)	(1.2)	19
(1.4)	(1.1)	20
(1.2)	(0.9)	21
(0.8)	(0.4)	22
(0.7)	(0.3)	23
(0.6)	(0.3)	24
(0.6)	(0.2)	25
(0.2)	0.1	26
(0.1)	0.3	27
0.1	0.4	28
0.2	0.5	29
0.5	0.8	30
0.6	0.9	31
0.6	1.0	32
0.6	1.0	33
0.7	1.1	34
0.7	1.1	35
0.7	1.1	36
0.9	1.3	37
1.0	1.3	38
1.1	1.5	39
1.2	1.6	40
1.3	1.7	41
1.3	1.7	42
1.5	1.8	43
1.5	1.9	44
1.6	1.9	45
1.6	1.9	46
1.9	2.2	47
2.0	2.4	48
2.2	2.6	49
2.3	2.6	50

VPN ECON	VPN FINAN	N
2.5	2.8	51
2.5	2.9	52
2.7	3.0	53
2.8	3.2	54
3.1	3.5	55
3.3	3.6	56
3.4	3.8	57
3.5	3.9	58
4.0	4.4	59
4.3	4.6	60
4.5	4.9	61
4.6	4.9	62
4.6	4.9	63
4.6	4.9	64
4.7	5.0	65
4.8	5.2	66
5.0	5.4	67
5.1	5.4	68
5.4	5.7	69
5.7	6.1	70
5.8	6.2	71
6.2	6.6	72
6.4	6.8	73
6.7	7.1	74
6.7	7.1	75
6.9	7.2	76
6.9	7.2	77
6.9	7.3	78
7.2	7.5	79
7.2	7.6	80
7.2	7.6	81
7.4	7.8	82
7.7	8.0	83
8.0	8.3	84
8.0	8.4	85
8.2	8.5	86
8.7	9.0	87
8.8	9.2	88
9.1	9.4	89
9.6	9.9	90
9.6	9.9	91
9.7	10.1	92
10.2	10.5	93
10.2	10.6	94
10.3	10.7	95
11.3	11.7	96
11.4	11.7	97
12.3	12.6	98
13.2	13.5	99
13.6	14.0	100

**GRÁFICA 13.3**  
**DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES**  
**ACUMULADA DEL VPN ECONÓMICO**



**GRÁFICA 13.4**  
**DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES**  
**ACUMULADA DEL VPN FINANCIERO**



Como se muestra en las gráficas se determina que la probabilidad de que el proyecto no sea rentable es de un 27,5% en la evaluación económica y de un 25,7% en la evaluación financiera.

### **13. Conclusiones**

- 1. El óxido cúprico es un compuesto que por tener el cobre con valencia II es estable. Sin embargo el óxido cuproso por tener el cobre con valencia I tiene la tendencia a oxidarse y por tanto cambiar su valencia a II, esto es más factible en presencia de aire y de humedad.**
- 2. El control del pH (índice de acidez) es un factor importante en la obtención de ambos óxidos de cobre, sobre todo en la obtención del óxido cuproso y su control es por esto fundamental para obtenerlo libre de compuestos indeseables (CuO). El pH de trabajo para conseguir esto es de 12.**
- 3. El método de producción desarrollado en esta tesis se asemeja al método de obtención de óxido cuproso a partir de acetato de cobre, sólo que en nuestro caso utilizamos como materia prima el sulfato de cobre pentahidratado, el cual es un producto abundante y de bajo costo en nuestro país, asimismo la temperatura requerida es mucho menor que la necesaria en dicho método. Además utilizamos el mismo método desarrollado en este proyecto para producir óxido cúprico, sólo obviando el uso del agente reductor (glucosa).**
- 4. En el desarrollo de este proyecto se ha estudiado la obtención del óxido cuproso con dos agentes reductores: la glucosa monohidratada y el clorhidrato de hidroxilamina, sin embargo al utilizar glucosa monohidratada como agente reductor en la obtención de óxido cuproso se consigue un producto bastante estable aún en estado húmedo, con un contenido de óxido cúprico bajo (principal contaminante del óxido cuproso), el cual presenta características muy similares al óxido cuproso obtenido con agente reductor de hidroxilamina y enjuagado con ácido acético, esto debido quizás a la formación de ácido oxálico que se forma durante la reacción. La ventaja de usar como reductor a la glucosa es que es un producto más comercial y de bajo costo.**

5. El método de formación de óxido cúprico por calcinación no es recomendable por su necesidad de altas temperaturas (800°C), además que resulta ser de menor calidad (95%) que el óxido obtenido por reacciones químicas a partir de la formación del hidróxido cúprico. En el caso del óxido cuproso la temperatura necesaria es mayor (1300°C).
6. El método de obtención de óxido cuproso por reacción a bajas temperaturas (inferiores a 5°C) da como resultado a nivel piloto un producto muy poco estable, pues se oxida rápidamente al incrementarse la temperatura del producto en el secado. Además su tiempo de reacción es muy largo. El óxido cuproso tiene dos etapas de formación: la primera de formación del hidróxido cúprico que es una reacción instantánea y exotérmica (la baja temperatura impide la formación de óxido cúprico antes que se reduzca el ion cúprico a cuproso), sin embargo la siguiente etapa necesita de altas temperaturas, además de que no se obtiene un buen producto, por lo cual no se continuó con este método.
7. La reacción de obtención del óxido cúprico a 100°C es bastante rápida por tanto esto la diferencia del óxido cuproso pues esta última tiene un tiempo de reacción de aproximadamente catorce minutos a una temperatura de 100°C.
8. La calidad del óxido cúprico obtenido a nivel de planta piloto no es tan alta como la obtenida a nivel de laboratorio (99%) sin embargo sigue siendo buena, ya que supera el 95% de pureza por lo que constituye un buen producto comercial. Los resultados conseguidos durante la etapa de laboratorio y pruebas piloto para el óxido cúprico comprueban que la obtención de este producto no presenta mayores inconvenientes y se muestra factible obtener un resultado favorable.
9. La planta diseñada en este caso se puede emplear para producir tanto óxido cúprico como cuproso en periodos de operación independientes, no en producción paralela. El periodo correspondiente a la producción de óxido cuproso sería de 330 días al año, mientras que a

la producción de óxido cúprico le correspondería un período de 25 días al año de acuerdo a la demanda de cada producto.

10. Se ha establecido una producción de óxido cuproso y óxido cúprico en base a la información existente para los últimos cinco años de importación y exportación y consumo nacional de estos productos. Se encontró que para el óxido cuproso existe demanda tanto nacional como internacional, para el caso del óxido cúprico es un producto que en nuestro país solo se importa pues no existe producción nacional.
11. Para la reacción de ambos óxidos se determinó que son favorecidas por temperaturas altas (100°C), siendo el caso del óxido cúprico una reacción bastante rápida por lo que se realizó el diseño de los equipos considerando una reacción instantánea. En el caso del óxido cuproso se encontró que para conseguir una conversión de 95% se requieren aproximadamente catorce minutos, por este motivo se diseña un solo reactor y se aprovecha su capacidad para la realización de la reacción del óxido cúprico.
12. En el caso de la obtención del óxido cuproso usando glucosa monohidratada tiene la ventaja de que se forma un producto de mejor calidad debido a que también se encuentra presente ácido oxálico el cual actúa como antioxidante en la etapa de secado evitando así su oxidación.
13. Se elige entre muchos equipos colectores de partículas al Ciclón por su gran efectividad y bajo precio para conseguir la separación de partículas, lo que fue determinado considerando el diámetro de partícula requerido de 48 micras para nuestro caso.
14. Del estudio económico del proyecto se puede decir que es un proyecto *rentable* y los indicadores lo confirman. Su Valor Presente Neto (VPN) es de 2,33; la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 26%; la Relación Beneficio Costo (B/C) es de 1,04. Tomando en cuenta todos estos criterios de evaluación respectivos se dice que es un proyecto técnico económicamente factible.

## **14. Recomendaciones**

1. Como los equipos necesarios para producir ambos óxido de cobre son los mismos, y por cálculos de diseño se establecen dimensiones diferentes para los equipos en cada caso (para producir óxido cúprico y óxido cuproso) pero que no varían considerablemente uno del otro, con el fin de cumplir con la flexibilidad de producción de la planta sería recomendable adquirir los equipos con las mayores dimensiones, para que no se presenten problemas de capacidad de los equipos.
2. La flexibilidad de la planta para producir cualquiera de los dos óxidos en períodos independientes, permite cambiar de producción con relativa facilidad por lo cual si la demanda de alguno de los productos sufriera una variación no esperada, se podrá variar la producción de la planta. En la actualidad la demanda del óxido cúprico es baja comparada con la demanda del óxido cuproso, por lo que sería más rentable producir sólo óxido cuproso por el momento y dado el caso de que la demanda del óxido cúprico aumente puede empezar a producirse también.
3. En caso de que la demanda de alguno de los óxidos de cobre o de ambos aumente en una cantidad no esperada, es factible aumentar un turno de trabajo de ocho horas al día, ya que la planta esta diseñada para trabajar solo dos turnos de ocho horas al día.
4. Para el subproducto del presente proyecto que es el Sulfato de Sodio, el cual es importante por ser un producto de considerable demanda y por que se recupera en una cantidad apreciable, puede considerarse posteriormente una manera de purificarlo y hacerlo comercial.

## **15. Bibliografía.-**

1. Kirk-Othmer. Enciclopedia de Tecnología Química. Primera Edición en español. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. México 1962. Tomo IX, págs. 250-255; Tomo II págs, 355-357.
2. G.P.A. PROCOBRE. Compuestos de Cobre. Capítulo 1.14-Sección 1. Págs. 1-6. Capítulo 1.14-Sección 2. Págs. 1-4. Capítulo 1.15-Sección 6. Págs. 1-7.
3. Arthur Vogel. "Química Analítica Cualitativa". Editorial Kapelusz. Buenos Aires Enero 1969. Quinta Edición. pág. 156.
4. LUNDSTROM R., BAUER D., HASKETT P.; U.S. Pat. 3,716,615 (Febrero 1973).  
PROCESS FOR THE PRODUCTION OF CUPROUS OXIDE.
5. A.K. BISWAS, W.G. DAVENPORT. EL COBRE - METALURGIA EXTRACTIVA. Editorial LIMUSA. 1993. Págs. 84,85.
6. Giral Rojahn. "Productos Químicos y Farmacéuticos". Volumen 1. Editorial Atlante. págs. 52-53.
7. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE ADUANAS. ANUARIO ESTADISTICO 1993 - 1997. Oficina de Estadística.
7. Servens, Degler, Miles "Energía Mediante Vapor, Aire o Gas". Editorial Reverté S.A 1975, España. Págs. 138-144.
8. J.M.Smith "Ingeniería de la Cinética Química", Primera Edición. Compañía Editorial Continental S.A. México, 1976. Págs. 24-50
9. Austin Leonard "Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación". Green Print Impresores, Chile 1994. Págs. 45-49.
10. Nonhebel, M. A. Moss " El Secado en la Industria Química". Editorial Reverté S.A. España. Págs. 45-49.

11. Vian Ocon "Elementos de Ingeniería Química" Quinta Edición. Editorial Aguilar, 1979. pag 499-500; 510-512; 350.
12. Treybal Robert "Operaciones en transferencia de Masa" 2ª edición. Editorial Programas Educativos S.A. de C.V. , México 1993. Págs. 259-262.
13. Perry "Manual del Ingeniero Químico" tomo V. Quinta Edición, 1997. Págs. 19.81-19.86
14. Smith Van Ness "Introducción a la Termodinámica Química". Quinta Edición. Págs. 156-162.
15. Base de datos de la Superintendencia Nacional de Aduanas" datos de importación - exportación de Oxidos de Cobre de 1995-2000
16. Peters Max S.-Timmerhaus Klaus B. "Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos". Editorial Géminis S.R.L. Buenos Aires 1978. Págs. 103, 112, 151.
17. Revista "Chemical Engineering". Marzo 1981, Enero 1982, Febrero 1983, Diciembre 1984, Agosto 2000.
18. Nassir Sapag Chain - Reinaldo Sapag Chain. "Preparación y Evaluación de Proyectos". Editorial Mc Graw - Hill Interamericana. Santiago de Chile 2000. Cuarta Edición. Págs. 271-274.

## **16. ANEXOS**

**16.1 ANEXO A**  
**Propiedades de los Compuestos**

A continuación se muestran algunas de las propiedades de los compuestos que se utilizaron y se obtuvieron durante el desarrollo del proyecto:

**Tabla A.1**

COMPUESTO	Peso Molecular (g/mol)	Calor de Formación a 25°C (J/mol)	A	B*10 <sup>3</sup>	C*10 <sup>6</sup>	D*10 <sup>-5</sup>	Cp a 25°C (J/mol-K)	Densidad a 20°C (g/mL)
<b><u>Materia Prima</u></b>								
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	249,71	- 850 800,00	9,3612	82,4	-	-	-	2,29
NaOH (s)	40	- 426 886,12	0,121	16,316	-	1948	-	2,13
NaOH (ac)		- 469 729,65	-	-	-	-	-	
NH <sub>2</sub> OH.HCl	69,5	- 87 000,00	-	-	-	-	-	1,67
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .H <sub>2</sub> O	198,17	- 1 270 398,60	0,096	78,4	50	-	-	1,544
<b><u>Productos Principales e Intermedios</u></b>								
Cu(OH) <sub>2</sub>	97,59	- 455 942,52	-	-	-	-	87,1	3,37
Cu(OH)	80,58		-	-	-	-		3,40
CuO	79,57	- 161 191,80	5,78	0,973	-	-0,874	42328548	6,45
Cu <sub>2</sub> O	143,14	- 180 032,40	6,744	4,3	-	-	63681228	6,00
<b><u>Productos Secundarios</u></b>								
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	142	- 1 383 737,40	11,044	12,5	-	-	-	2,70
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O	322	- 4 328 523,18			-			1,46
H <sub>2</sub> O (l)	18	- 286 031,29	8,712	1,25	-0,18	-	-	1,00
NaCl (l)	58,5	-411 640	8,007		-	-	-	2,16
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	90,07	- 824 600	11,748	34,472	-	-	-	1,65

(\*) Los valores de A, B, C y D son constantes para determinar el calor específico a diferentes temperaturas.

## 16.2. ANEXO B:

### Especificaciones Técnicas de la Materia Prima y Productos

#### 16.2.1 Especificaciones de la Materia Prima:

##### 16.2.1.1 Sulfato de Cobre Pentahidratado.-

Se realizó el análisis de una muestra del sulfato de cobre pentahidratado utilizado en las pruebas, con el fin de determinar la concentración de los posibles contaminantes presentes en este reactante principal. Además, se realizaron análisis cuantitativos para confirmar la concentración de sulfato de cobre pentahidratado y de cobre total proporcionados por el proveedor: Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA B.1: COMPOSICIÓN DEL SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO**

<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>CONCENTRACIÓN (% EN PESO)</b>
Sulfato de Cobre	>98,0000
Cobre Total	25,5200
Material Insoluble	0,0465
Material Insoluble en Agua	0,2160
Plomo	0,0080
Zinc	0,0250
Níquel	0,7710
Hierro	0,4000
Cadmio	0,0003
Aluminio	0,0100
Calcio	0,4000
Arsénico	0,0020
Cromo	0,0007

(\*) pH en solución = 3,7- 4

Según estos resultados, se tiene que puede aceptarse que la pureza del sulfato de cobre pentahidratado es de 98%. En la siguiente página se puede observar el certificado expedido por el Laboratorio Alfred Knight, en lo referente al análisis de contenido de cobre.



# Alfred H. Knight del Perú S.R.L.

LABORATORIO Y OFICINAS  
Calle Manco Cápac 1240  
(Entrada por Huáscar 251)  
Apartado 01 - 0015  
Callao, 1 Perú  
E-mail: ahk.peru@alfred-h-knight.co.uk

Telfs.: 429-4653 - 465-8916  
Cables Assayers Lima - Perú  
FAX: 465-3824

Alfred H. Knight International Ltda.  
Eccleston Grange, Prescott Road  
St.Helens, Merseyside WA10 3 BQ  
Telephone 0744 33757  
E-mail: st.helens@alfred-h-knight.co.uk

18677

CERTIFICADO DE ENSAYE

147/3

FECHA: 20/03/2000

CERTIFICADO Nº 18677/00  
AHK Nº 3789/3789

MUESTRA(S) DE LOS SEÑORES: JESSICA PALOMINO (P904)  
FECHA DE RECEPCION: 15/03/2000 HORA: 08:00 TIPO: LOTE  
MATERIAL: SULFATO DE COBRE  
REFERENCIA DEL CLIENTE : UNA MUESTRA EN FRASCO S/I

---

AHK	NUMERO DE MUESTRA	LOTE	
		CuTot %	
3789		25.52	

---

ALFRED H. KNIGHT DEL PERU S.C.R. LTDA.

R.U.C.: 10024773 INSCRITO FICHA 3527 ASIENTO 1 DE SOCIEDADES DEL REGISTRO MERCANTIL DE LIMA

Todo trabajo se ejecuta sujeto a nuestros Términos y Condiciones Generales,  
copias de los cuales estan disponibles a solicitud.

### 16.2.1.2 Hidróxido de Sodio.-

El hidróxido de sodio usado para la realización de este proyecto es de grado comercial y es de la empresa Químicos Goicochea, el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas.

**TABLA B.2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HIDRÓXIDO DE SODIO**

<b>PARAMETRO ANALIZADO</b>	<b>COMPOSICION</b>
Hidróxido de Sodio(como NaOH)	98%
Carbonato de Sodio(como Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0.5%
Cloruro de Sodio(como NaCl)	80 ppm
Sulfato de Sodio(como Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	25 ppm
Hierro (Fe)	10 ppm
Cobre (Cu)	2 ppm
Sílice (como SiO <sub>2</sub> )	10 ppm
Arsénico (como As)	0.1 ppm
Metales pesados (como Pb)	5.0 ppm
Plomo	0.1 ppm
Mercurio	0.01 ppm
Manganeso (Mn)	0.1 ppm
Insolubles	0.05%

### 16.2.1.3 Glucosa Monohidratada.-

La glucosa monohidratada usada fue de grado químicamente puro, sin embargo puede usarse Sus especificaciones se muestran a continuación:

**TABLA B.3: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA GLUCOSA MONOHIDRATADA**

<b>PARAMETROS</b>	<b>COMPOSICION</b>
Glucosa Monohidratada (Dextrosa)p	42,7-43,2%
Sólidos Totales	80-81%
Equivalente Dextrosa (B.S)	40-44%
Gravedad Específica (18 °C)	1,41-1,421
Anhídrido Sulfuroso	Máx. 250 mg/Kg
<b>COMPOSICION DE CARBOHIDRATOS PARA D.E.42% (B.S)</b>	
Fructosa	0,0%
Dextrosa	19,0%
Maltosa	14,0%
Maltotriosa	12,0%
Altos Azucares	55,0%

pH en solución=4,7-5,2

## 16.2.2 Especificaciones de los Productos

### 16.2.2.1 Óxido Cúprico.-

Las especificaciones técnicas para un óxido cúprico comercial son las siguientes:

**TABLA B.4: Composición del Óxido Cúprico Comercial**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>COMPOSICIÓN (% EN PESO)</b>
Óxido Cúprico (CuO)	95 - 97
Óxido Cuproso (Cu <sub>2</sub> O)	0,3 - 5
Cobre (Cu)	75
Arsénico (As)	0,007
Plomo (Pb)	0,300
Cadmio (Cd)	0,006
Calcio (Ca)	0,150
Hierro (Fe)	0,090
Magnesio (Mg)	0,300
Antimonio (Sb)	0,005
Metales Libres	0,3 - 1

### 16.2.2.2. Óxido Cuproso.-

En el caso del óxido cuproso comercial utilizado para pinturas marinas antiincrustantes, se presentan dos tipos de calidades:

**TABLA B.5: Composición del Óxido Cuproso Comercial**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>Naval Grado I (% en peso)</b>	<b>Naval Grado II (% en peso)</b>
Oxido de cobre (I)	97	90
Cobre total (mínimo)	86	80
Poder reductor (mínimo)	87	90
Insoluble en ácido nítrico(máximo)	0,3	0,3
Cloruro (máximo)	0,4	0,4
Sulfato (máximo)	0,1	0,1
Óxido de Zinc (máximo)	-	10,0
Otros Metales (máximo)	0,5	0,5
Material soluble en acetona (máximo)	0,5	0,5

### 16.2.2.3. Sulfato de Sodio.-

Para esta sal se tienen las siguientes especificaciones técnicas:

**TABLA B.6: Composición del Sulfato de Sodio Comercial**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>COMPOSICIÓN (% EN PESO)</b>
Sulfato de Sodio	99
Calcio y Magnesio (Ca y Mg)	0.15
Fierro (Hg)	0,01
Humedad	0,2
Sustancias Insolubles en Agua	0,1

\*pH = 6-8

## 16.3 ANEXO C

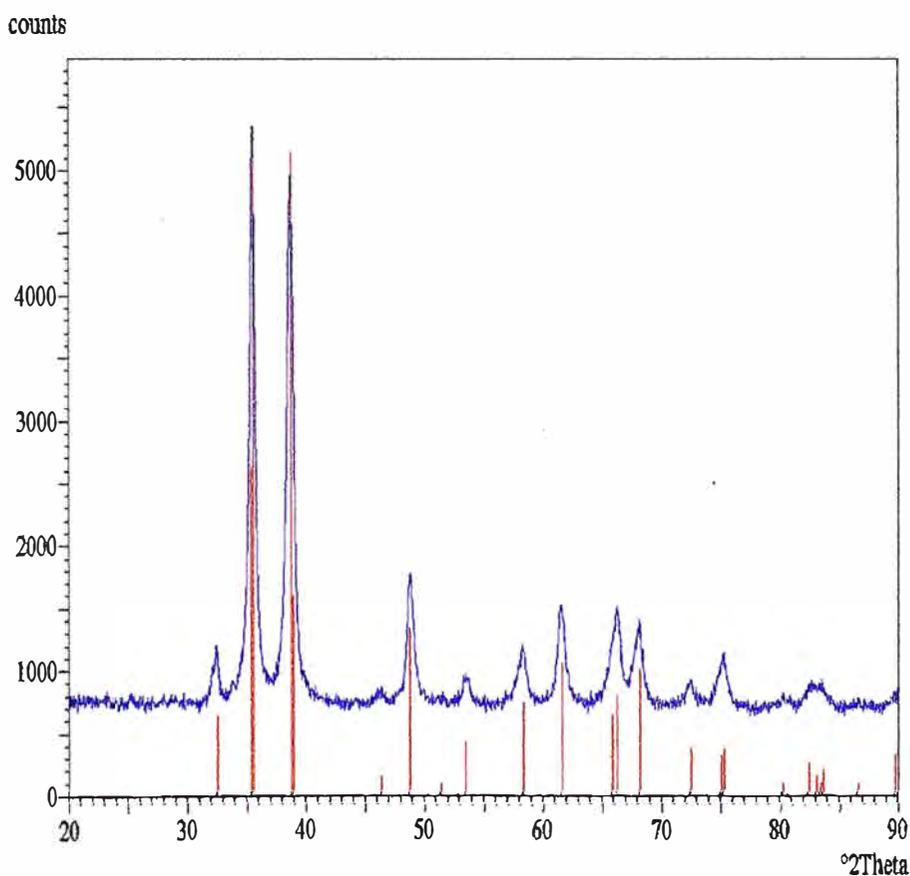
### Análisis Realizados a los Productos Obtenidos en las Pruebas de Laboratorio

#### 16.3.1 Pruebas Realizadas al Óxido Cúprico:

##### 16.3.1.1 Pruebas Realizadas al Óxido Cúprico obtenido en Laboratorio:

La muestra de óxido cúprico dio el siguiente resultado en el análisis realizado por difracción de rayos X:

DIFRACTOGRAMA N°1 INDEXADO

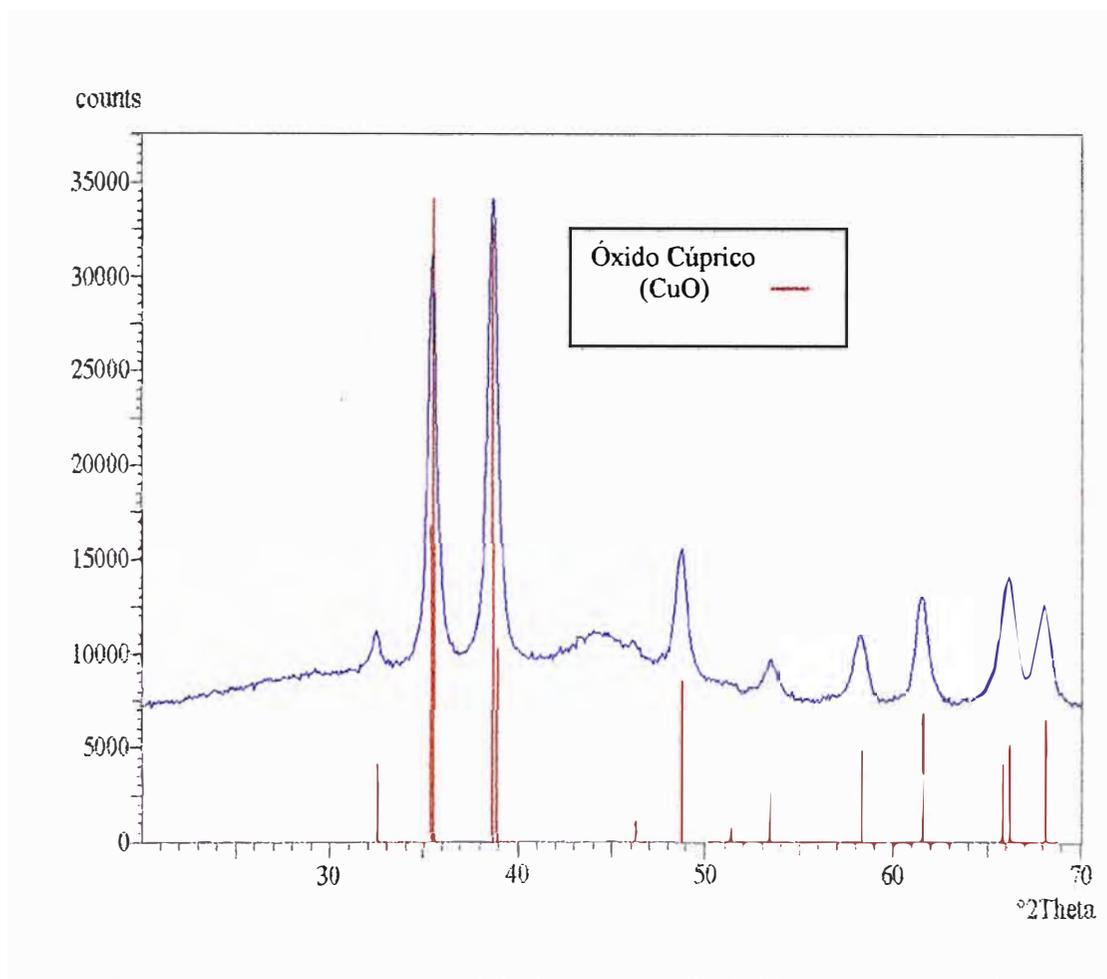


Se observa sólo la formación de la fase de CuO (óxido cúprico representado por la línea roja), en caso de que existiera presencia de algún otro compuesto esta sería menor del 1% de la composición de la muestra, ya que ese es el límite de detección del equipo.

### 16.3.1.2 Pruebas Realizadas al Óxido Cúprico obtenido en las Pruebas Piloto:

Se obtuvo el siguiente resultado para el análisis por Difracción de Rayos X realizado a una muestra de óxido cúprico obtenido en pruebas a nivel piloto.

DIFRACTOGRAMA OBTENIDO N°2



Este espectro es el que produjo la muestra de óxido cúprico obtenida por reacción con la cantidad estequiométrica de hidróxido de sodio. En este caso se encontró alrededor de un 5% de impurezas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por análisis químico cuantitativo realizado a tres muestras de óxido cúprico obtenidas en pruebas piloto, este resultado se expresa en contenido de cobre, que en el óxido cúprico debe ser de alrededor del 79,9%.



# Alfred H. Knight del Perú S.R.L.

LABORATORIO Y OFICINAS  
Calle Manco Cápac 1240  
(Entrada por Huáscar 251)  
Apartado 01 - 0015  
Callao, 1 Perú  
E-mail: ahk.peru@alfred-h-knight.co.uk

Telfs.: 429-4653 - 465-8916  
Cables Assayers Lima - Perú  
FAX: 465-3824

Alfred H. Knight International Ltda.  
Eccleston Grange, Prescott Road  
St. Helens, Merseyside WA10 3 BQ  
Telephone 0744 33757  
E-mail: st.helens@alfred-h-knight.co.uk

18677

CERTIFICADO DE ENSAYE

147/3

FECHA: 20/03/2000

CERTIFICADO Nº 18677/00  
AHK Nº 1789/3789

MUESTRA(S) DE LOS SEÑORES: JESSICA PALOMINO (P904)  
FECHA DE RECEPCION: 15/03 2000 HORA: 08:00 TIPO: LOTE  
MATERIAL: SULFATO DE COBRE  
REFERENCIA DEL CLIENTE : UNA MUESTRA EN FRASCO S/I

---

NUMERO DE MUESTRA	LOTE CuTot %
3789	25.52

---

  
ALFRED H. KNIGHT DEL PERU S.C.R. LTDA.

R.U.C.: 10024773 INSCRITO FICHA 3527 ASIENTO 1 DE SOCIEDADES DEL REGISTRO MERCANTIL DE LIMA

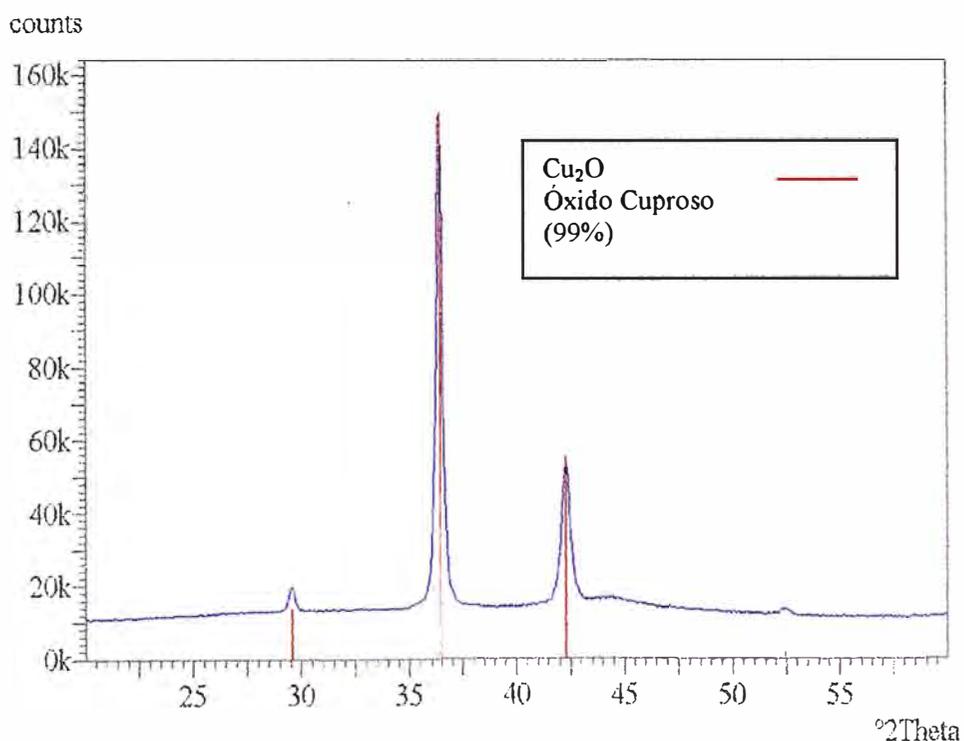
Todo trabajo se ejecuta sujeto a nuestros **Términos y Condiciones Generales**,  
copias de los cuales estan disponibles a solicitud.

## 16.3.2 Pruebas Realizadas al Óxido Cuproso:

### 16.3.2.1 Pruebas Realizadas al Óxido Cuproso obtenido en Laboratorio:

Se muestra el resultado obtenido en el análisis por Difracción de Rayos X de la muestra de óxido cuproso obtenido a nivel laboratorio utilizando glucosa monohidratada como agente reductor:

DIFRACTOGRAMA OBTENIDO N°3

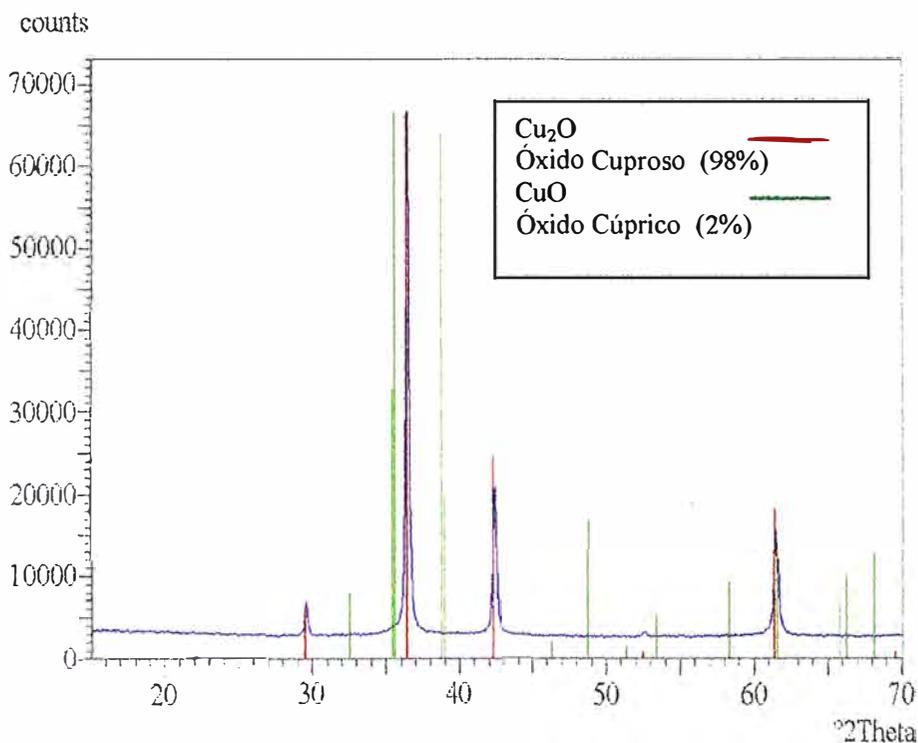


En esta muestra no se detectó presencia de óxido cuproso, por lo que se deduce que la pureza es de alrededor del 99%, ya que el equipo no detecta compuestos con una presencia que represente menos del 1% del total.

### 16.3.2.2 Pruebas Realizadas al Óxido Cuproso obtenido en Pruebas Piloto:

A continuación se muestra el resultado obtenido con una muestra de óxido cuproso obtenido a nivel piloto utilizando glucosa monohidratada como agente reductor:

DIFRACTOGRAMA OBTENIDO N°4



De acuerdo a este difractograma el producto obtenido es prácticamente sólo óxido cuproso, presentando un contenido de óxido cúprico de alrededor del 2%.

## 16.4 ANEXO D

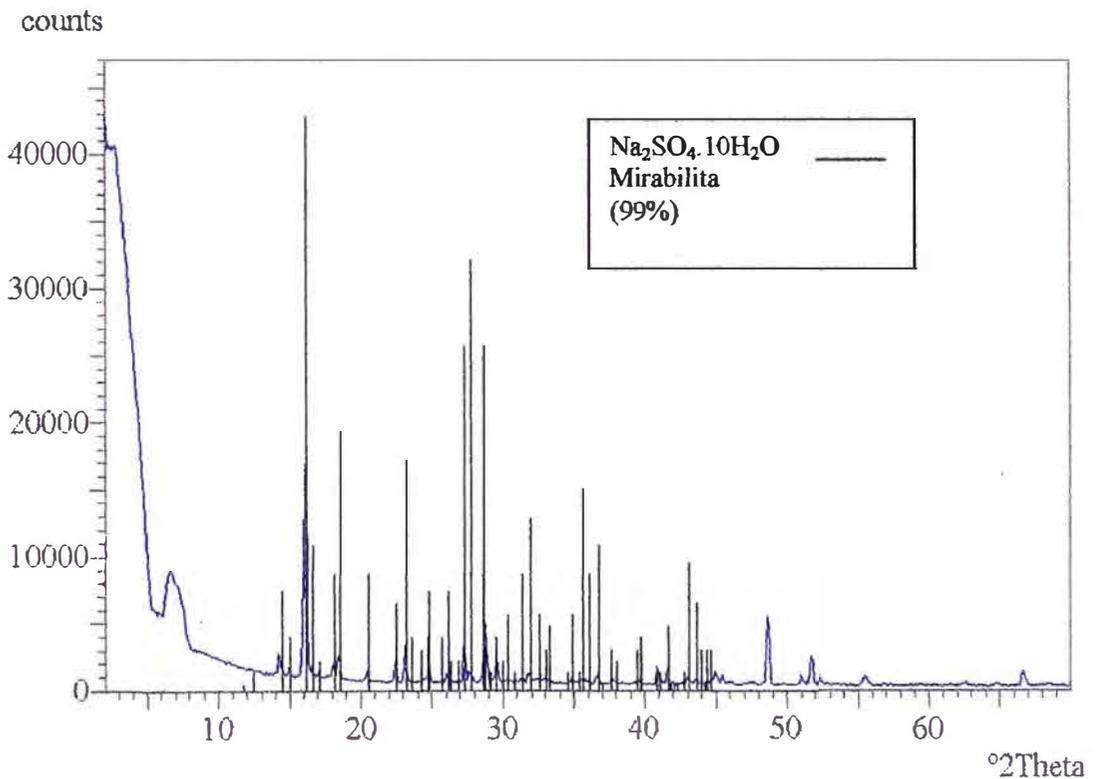
### Análisis Realizados al Subproducto Obtenido

#### 16.4.1 Pruebas por Difracción de Rayos X Realizadas al Sulfato de Sodio Obtenido a

##### Nivel Piloto:

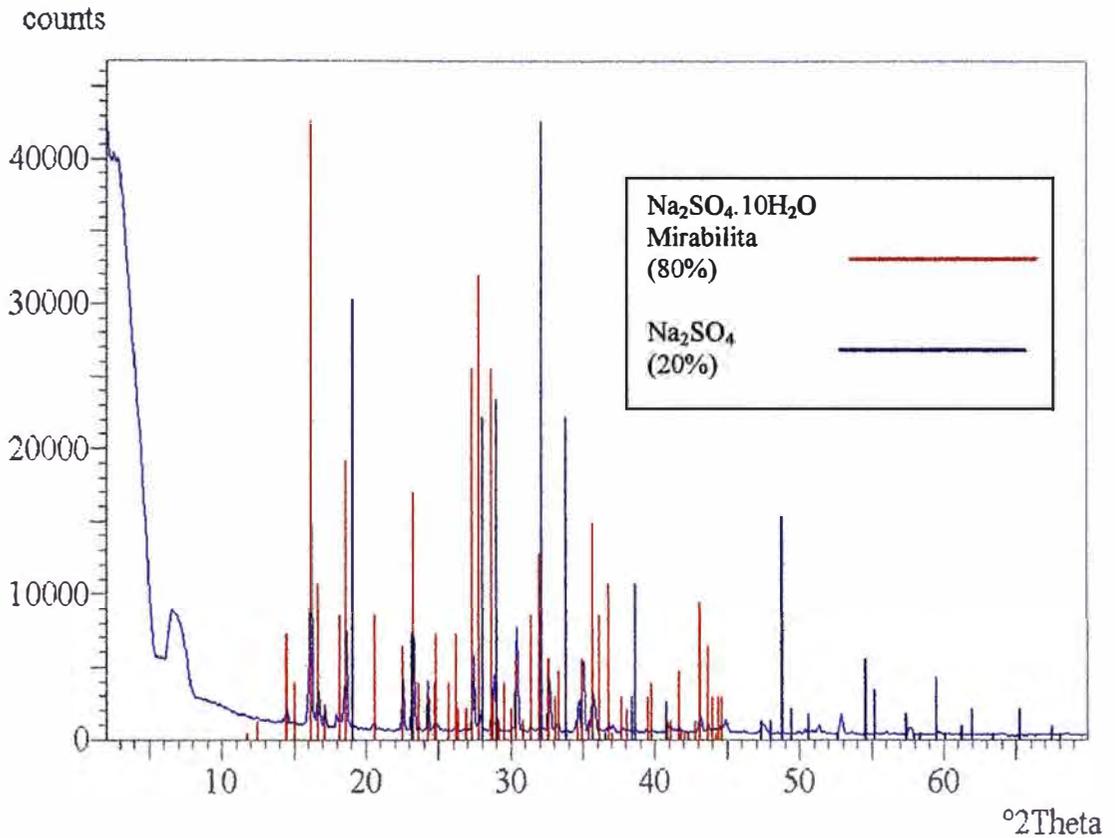
En este caso se muestra el resultado del análisis de una muestra de sulfato de sodio resultante de la obtención de óxido cúprico a nivel piloto.

#### DIFRACTOGRAMA OBTENIDO N°5



La muestra presentó únicamente sulfato de sodio pentahidratado por lo cual se podría decir que sólo presentaría algunas trazas de impurezas menores al 1%, que es límite de detección del equipo.

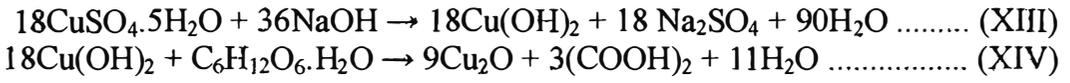
## DIFRACTOGRAMA OBTENIDO N°6



En este caso se obtuvo una mezcla de sulfato de sodio decahidratado y sulfato de sodio anhidro, no se detectó otro tipo de compuesto en este subproducto por lo que también se podría decir que se trata únicamente de sulfato e sodio con quizás algunas trazas de impurezas.

**16.5 ANEXO E**  
**Cinética de la Reacción y Diseño del Reactor**

Dadas las reacciones para la formación del óxido cuproso:



$$r_A = K \cdot C_{\text{Cu}(\text{OH})_2} \cdot C_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Se considera reactante:

$$A = \text{Cu}(\text{OH})_2$$

$$B = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

Luego se tiene:

$$r_A = K \cdot C_A \cdot C_B = K \cdot C_{A0} \cdot (1-x_A) \cdot (1-x_B) \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

- $C_{A0}$  : concentración inicial de A
- $x_A$  : fracción de A que ha reaccionado
- $C_{B0}$  : concentración inicial de B
- $x_B$  : fracción de B que ha reaccionado
- K : constante cinética de la reacción

Según las condiciones para la formación de óxido cuproso se tiene que:

$$C_{B0} = 0,222 \cdot C_{A0}$$

$$X_B = 0,25 \cdot x_A$$

Entonces:

$$C_B = 0,222 \cdot C_{A0} \cdot (1 - 0,25 \cdot x_A) = 0,0555 \cdot C_{A0} \cdot (4 - x_A)$$

Reemplazando en (27):

$$r_A = K \cdot C_{A0}^2 \cdot (1-x_A) \cdot (4-x_A)$$

$$K' = 0,0555 \cdot K$$

$$C_{A0} \cdot \frac{dx_A}{dt} = K' \cdot C_{A0}^2 \cdot (1-x_A) \cdot (4-x_A)$$

$$\frac{dx_A}{dt} = K' \cdot C_{A0} \cdot (1-x_A) \cdot (4-x_A)$$

Integrando la expresión anterior se obtiene lo siguiente:

$$\ln\left(\frac{4-x_A}{4 \cdot (1-x_A)}\right) = 1,665 \cdot K \cdot C_{A0} \cdot t + C$$

$$\ln\left(\frac{4-x_A}{4 \cdot (1-x_A)}\right) = K'' \cdot C_{A0} \cdot t + C \dots\dots\dots (28)$$

donde:

$$K'' = 1,665 \cdot K \qquad C = \text{cte.}$$

### 16.5.1 Cinética del Óxido Cuproso:

Temperatura de trabajo = 70°C

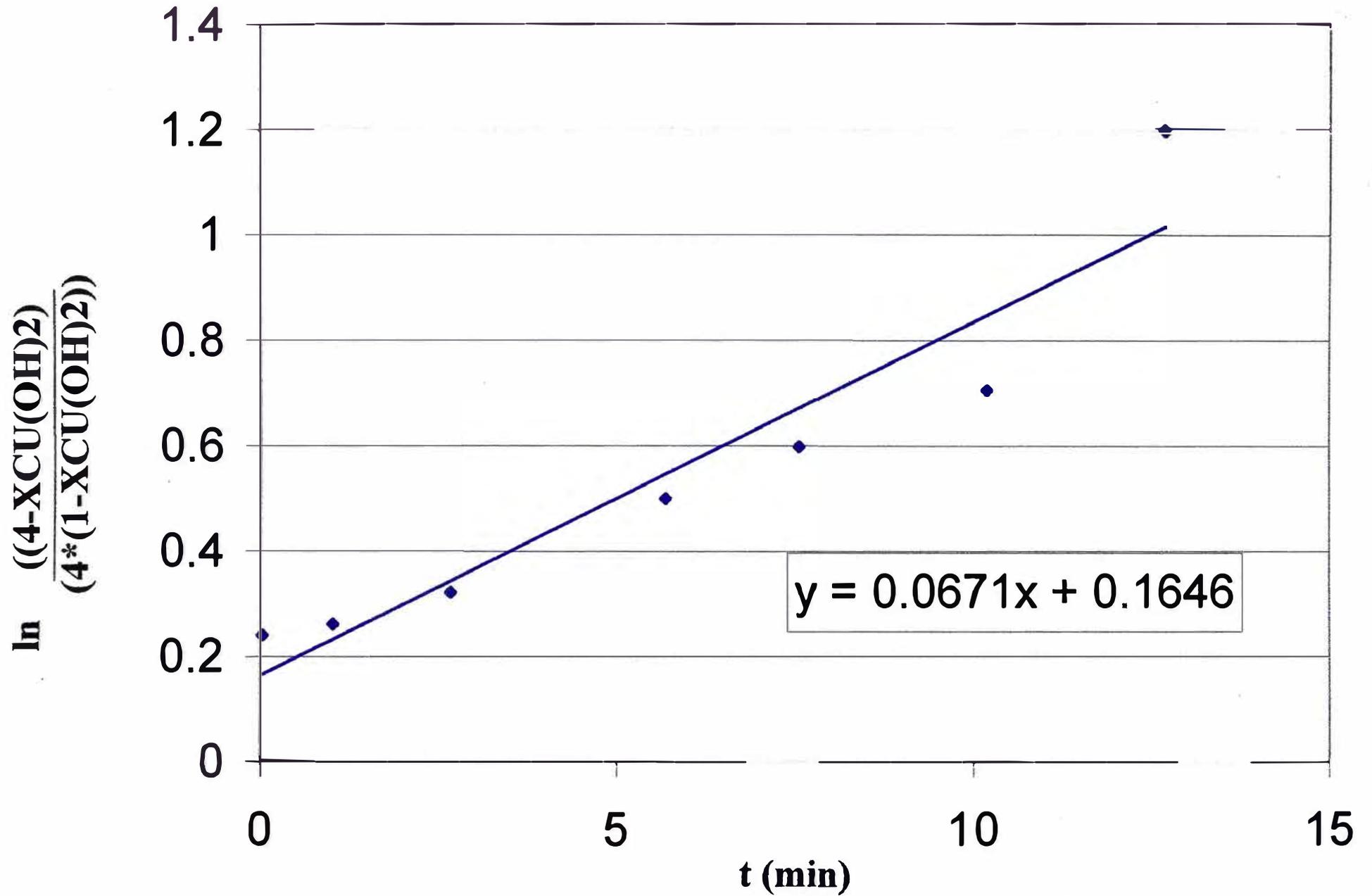
Nº de Muestra	t (min)	X <sub>Cu(OH)<sub>2</sub></sub>	C <sub>Cu(OH)<sub>2</sub></sub> (mol/L)	C <sub>C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub></sub> (mol/L)	ln ((4-X <sub>Cu(OH)<sub>2</sub></sub> )/(4*(1-X <sub>Cu(OH)<sub>2</sub></sub> )))
1	0,0	0,2662	0,1941	0,0666	0,2407
2	1,0	0,2850	0,1891	0,0713	0,2616
3	2,7	0,3365	0,1755	0,0841	0,3224
4	5,7	0,4639	0,1418	0,1160	0,5002
5	7,6	0,5220	0,1264	0,1305	0,5983
6	10,2	0,5774	0,1118	0,1444	0,7054
7	12,7	0,7549	0,0648	0,1887	1,1969
8	15,3	1,0000	0,0000	0,2500	-

Concentración Inicial de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (mol/L) = 0,2645

Concentración Inicial de Cu(OH)<sub>2</sub> (mol/L) = 0,2645

Concentración Inicial de C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>.H<sub>2</sub>O (mol/L) = 0,0587

# Gráfica E.1: Cinética del Óxido Cuproso



De la Gráfica E.1 se tiene que:

$$C_{O_{Cu(OH)_2}} * K'' = 0,067$$

Donde:

$$K'' = 1,665 * K$$

Entonces:

$$K = 1,5216 \text{ (L/mol).min}^{-1}$$

$$K = 0,0254 \text{ (L/mol).s}^{-1}$$

Se sabe que, para  $t=2s$  la conversión a  $100^\circ\text{C}$  ( $373.15^\circ\text{K}$ ) es  $X_{Cu(OH)_2} = 0.8474$ , luego, relacionando las conversiones para un mismo tiempo de conversión se obtiene que:

$$\frac{K_{343,15}}{K_{373,15}} = \frac{[\ln ((4-X_{Cu(OH)_2})/4(1-X_{Cu(OH)_2}))]_{343,15K}}{[\ln ((4-X_{Cu(OH)_2})/4(1-X_{Cu(OH)_2}))]_{373,15K}} \dots\dots\dots (29)$$

Luego para  $t = 0$  a  $70^\circ\text{C}$  ( $343.5^\circ\text{K}$ ) se tiene que la conversión es  $X_{Cu(OH)_2} = 0,2662$ ; para la formación del óxido cuproso, la constante cinética varía con la temperatura según la relación de Arrhenius:

$$K = K_o * \exp(-E/RT)$$

Entonces se tendrá que:

$$K_{343,35K}/K_{373,15K} = \exp ((E/R)*((1/373,15) - (1/343,15))) \dots\dots\dots (30)$$

Reemplazando la relación (30) en (29), se obtiene que:

$$E/R = 8196,0074 \text{ K}$$

$$A_o = 5,99 * 10^8 \text{ (L/mol).s}$$

Entonces:

$$K_{373,15K} = 0,1730 \text{ (L/mol).s}^{-1}$$

### 16.5.2 Diseño del Reactor (CSTR).-

El reactor escogido para realizar el proceso de reacción para obtener los óxidos de cobre es el de mezcla completa, debido a que es el más conveniente para reacciones de fluidos líquidos; la ecuación de diseño para este reactor se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Caudal de} \\ \text{entrada de} \\ \text{reactante en} \\ \text{el elemento} \\ \text{de Volumen} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{caudal de} \\ \text{salida de} \\ \text{reactante} \\ \text{del elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{caudal perdido de} \\ \text{reactante debido a} \\ \text{la reacción química} \\ \text{en el elemento de} \\ \text{volumen} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{caudal de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de reactante en el} \\ \text{elemento de} \\ \text{volumen} \end{array} \right)$$

Al realizar el balance de un determinado reactante en un elemento de volumen del sistema, aunque la composición en todo el reactor sea uniforme, el balance puede referirse a todo el volumen del reactor (ecuación D). Considerando el reactante Cu(OH)<sub>2</sub>, el cual proviene de una primera reacción instantánea, la cual es continuada por una siguiente reacción cinética de segundo orden. Estas son:



$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{desaparición por reacción} + \text{acumulación}$$

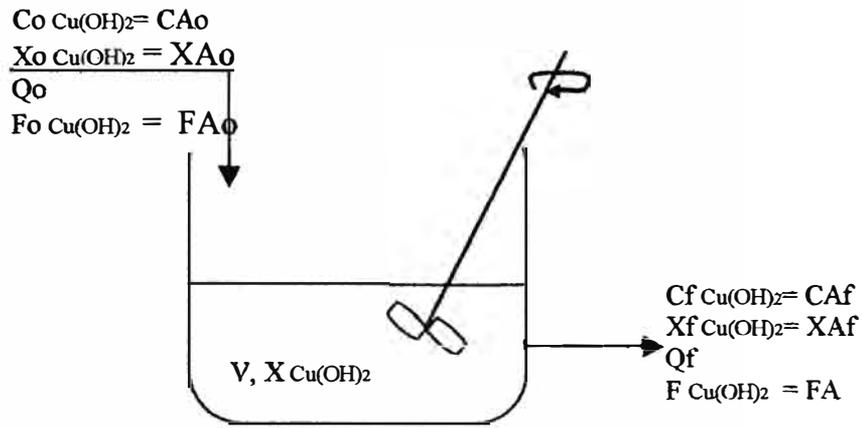


Fig. E.1: Nomenclatura a usar en el reactor de mezcla completa.

Entonces, considerando el reactor como un solo conjunto, se tendrá que:

$$\text{Entrada de A (moles/tiempo)} = FAo*(1-XAo)$$

$$\text{Salida de A (moles/tiempo)} = FA = FAo*(1-XA)$$

Luego:

$$\begin{array}{l} \text{Desaparición de A} \\ \text{por reacción} \\ \text{(moles/tiempo)} \end{array} = (-rA)V = \frac{\text{(moles de A que reaccionan)}}{\text{(tiempo)(volumen de fluido)}} \text{ (volumen de reactor)}$$

Sustituyendo esta igualdad en la ecuación D, tenemos que:

$$FAo*XA = (-rA)*V$$

De esta nueva igualdad, se tiene que para un reactor de mezcla completa se cumple lo siguiente:

$$(V/FAo) = (\tau/CAo) = (\Delta XA)/-rA = XA/-rA$$

$$\tau = 1/s = (V/Q_0) = (V \cdot C_{A0})/F_{A0} = (C_{A0} \cdot X_A)/-r_A$$

Para el caso de sistemas de densidad constante como el nuestro:  $X_A = 1 - C_A/C_{A0}$ , la ecuación de diseño para el reactor de mezcla completa puede entonces escribirse también como sigue:

$$(V/F_{A0}) = (X_A/-r_A) = (C_{A0} - C_A)/(C_{A0}(-r_A))$$

$$\tau = 1/s = (V/Q) = (C_{A0} \cdot X_A)/-r_A = (C_{A0} - C_A)/-r_A$$

Por tanto, el tamaño de reactor necesario se calcula directamente. Para lo cual se establecen las siguientes condiciones de operación:

Concentración Inicial de  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (mol/l)=0,2645

Concentración inicial de la Glucosa(mol/l)=0,0587

Conversión total en el reactor = 0.99

Flujo de alimentación al reactor = 4,8736 mol/s

Caudal de alimentación = 16,2847 l/s

Con los datos anteriores se realizan los cálculos dando como resultados:

$$-r_A = 4,6918 \times 10^{-5}$$

$$t = 14,3357 \text{ minutos}$$

$$V = 14,0072 \text{ m}^3$$

Asumiendo una relación de  $L/D = 2$ , tenemos:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = \frac{\pi \cdot D^3}{2}$$

Entonces:

$$D = 2,0737 \text{ m} \quad \text{y} \quad L = 4,1474 \text{ m}$$

### 16.5.3 Cálculo de los Calores de Reacción:

#### 16.5.3.1 Cálculo del Calor de Reacción en la Obtención del Óxido Cuproso:

$$T_{\text{referencia}} = T_1 = 298,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{reacción}} = T_2 = 373,15 \text{ K}$$

Se sabe que:

$$\Delta H_{r2} = \Delta H_{r1} + \Delta A \cdot (T_2 - T_1) + (\Delta B/2) \cdot (T_2^2 - T_1^2) + (\Delta C/3) \cdot (T_2^3 - T_1^3) \dots (31)$$

Donde:

$$\Delta H_{r1} = \sum n \cdot \hat{\Delta H}_{f298,15K} \dots (32)$$

$\Delta A$	$\Delta B$	$\Delta C$
124,8401	-0,1820	-7,8499E-6

Compuesto	$\hat{\Delta H}_{f298,15K}$ (Kcal/mol)	Nº de moles
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	-203,2101	2
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .H <sub>2</sub> O	-371,7801	0,444
NaOH (s)	-112,1930	4,947
Cu <sub>2</sub> O	-43,0000	1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-330,8200	2
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	-196,9523	0,333
H <sub>2</sub> O (l)	-68,3174	12,777
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-330,4295	0,333
NaOH	-112,1930	0,947

$$\hat{\Delta H}_{r1} = -723896,0258 \text{ cal} = -723,90 \text{ Kcal}$$

Según la ecuación mostrada arriba, se tiene que:

$$\hat{\Delta H}_{r2} = -715,66 \text{ Kcal/ mol de Cu}_2\text{O}$$

Además:

$$\text{Flujo de Producción} = 0,36 \text{ ton/h}$$

$$\text{Flujo de Producción Molar} = 0,71 \text{ mol/s}$$

Entonces:

$$\text{Calor desprendido} = -506,83 \text{ Kcal/s}$$

$$\text{Calor desprendido} = -2121,99 \text{ KJ/s}$$

### 16.5.3.2 Cálculo del Calor de Reacción en la Obtención del Óxido Cúprico:

$$T_{\text{referencia}} = T_1 = 298,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{reacción}} = T_2 = 373,15 \text{ K}$$

$\Delta A$	$\Delta B$	$\Delta C$
59,1868	-0,0932	-1e-6

Compuesto	$\hat{\Delta}H_{f,298.15K}$ (Kcal/mol)	Nº de moles (n)
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	-203,2101	1
NaOH (s)	-112,1930	2
CuO	-38,5000	1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-330,8200	1
H <sub>2</sub> O (l)	-68,3174	6

$$\hat{\Delta}H_{r1} = -351628,3112 \text{ cal/mol} = -351,63 \text{ Kcal/mol} \quad (T = 298,15)$$

Según la ecuación mostrada arriba, se tiene que:

$$\hat{\Delta}H_{r2} = -348,14 \text{ Kcal/mol de CuO}$$

Además:

$$\text{Flujo de Producción} = 0,36 \text{ ton/h}$$

$$\text{Flujo de Producción Molar} = 1,27 \text{ mol/s}$$

Entonces:

$$\text{Calor desprendido} = -443,52 \text{ Kcal/s}$$

$$\text{Calor desprendido} = -1856,94 \text{ KJ/s}$$

### 16.5.4 Cálculo del Calor Necesario en la Reacción:

En esta sección se calcula el calor requerido por los reactantes para llegar a la temperatura de reacción y mantenerla durante la reacción.

#### 16.5.4.1 Requerimiento de Calor en el Reactor para Producir Óxido Cuproso:

Para hallar el calor requerido en el reactor se cuenta con los siguientes datos:

Compuesto	Flujo (mol/s)	PM (g/mol)	X1 (*)	X2 (*)	Cp (J/mol-K)
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	123,8157	249,71	0,0114	0,9886	107,7501
NaOH	97,1659	40,00	0,0361	0,9639	74,5233
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .H <sub>2</sub> O	32,8380	198,17	0,0096	0,9904	96,9768
Cu <sub>2</sub> O (**)	0,7082	143,14	1,0000	0,0000	68,0692
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	259,0503	142,00	0,0055	0,9945	77,7621

(\*) Fracción molar

(\*\*) sólido

Para hallar el calor requerido por las soluciones para llegar desde una temperatura de reacción de 100°C y mantenerse la reacción a 100°C se necesita determinar los calores específicos para las soluciones para ello se utiliza la siguiente relación:

$$C_{PS} = (C_{P1} * X_1 * PM_1 + C_{P2} * X_2 * PM_2) / (X_1 * PM_1 + X_2 * PM_2)$$

Donde el subíndice 1 se refiere al compuesto en solución y el subíndice 2 al agua contenida en la solución.

Peso Molecular del Agua = 18 g/mol

Cpm del agua = 75,64 J/mol-K

Luego el calor requerido por cada solución para llegar de una temperatura inicial de 25°C a 100°C, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = n * Cps * (Tf - Ti) \dots \dots \dots (33)$$

Donde:

n = Flujo molar en mol/s

Cps = Calor específico de la solución (Kcal/mol)

Ti = 298,15 K

Tf = 373,15 K

Utilizando la relación anterior, se obtiene los resultados mostrados en el siguiente cuadro.

Compuesto	Cp (J/mol-K)	Q (KJ/s)	Q (Kcal/s)
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	107,7501	1000,5863	238,9859
NaOH	74,5233	543,0840	129,7134
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .H <sub>2</sub> O	96,9768	238,8395	57,0458
Cu <sub>2</sub> O (**)	68,0692	3,6155	0,8635
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	77,7621	1510,8216	360,8535
Q total		3269,9467	787,4622

Entonces el requerimiento de calor total será:

$$Q_T = \Sigma Q$$

$$Q_T = 787,46 \text{ Kcal/s}$$

La reacción es exotérmica por tanto, contribuye al calentamiento del sistema con el calor de reacción desprendido.

Luego el requerimiento de calor real es:

$$Q = Q_T + \Delta H_r$$

Se sabe que el calor de la reacción es de - 506,83 Kcal/s

Luego, el calor necesario a suministrarse al sistema será:

$$Q = 280,63 \text{ Kcal/s}$$

#### 16.5.4.2 Requerimiento de Calor en el Reactor para Producir Óxido Cúprico:

Para hallar el calor requerido en el reactor se cuenta con los siguientes datos:

Compuesto	Flujo (mol/s)	PM (g/mol)	X1 (*)	X2 (*)	Cp (J/mol-K)
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	111,3672	249,71	0,0114	0,9886	107,7501
NaOH	70,6665	40,00	0,0361	0,9639	74,5233
CuO (*)	1,2740	79,57	1,0000	0,0000	44,2388
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	187,1296	142,00	0,0068	0,9932	78,2591

(\*) Fracción molar

(\*\*) sólido

Para hallar el calor requerido por las soluciones para llegar desde una temperatura de reacción de 100°C y mantenerse la reacción a esa temperatura se necesita determinar los calores específicos para las soluciones, para esto se utiliza la siguiente relación:

$$C_{PS} = (C_{P1} * X_1 * PM_1 + C_{P2} * X_2 * PM_2) / (X_1 * PM_1 + X_2 * PM_2)$$

Donde el subíndice 1 se refiere al compuesto en solución y el subíndice 2 al agua contenida en la solución.

Peso Molecular del Agua = 18 g/mol

Cpm del agua = 75,64 J/mol-K

Luego el calor requerido por cada solución para llegar de una temperatura inicial de 25°C a 100°C, se utiliza la ecuación (33):

$$Q = n * Cps * (T_f - T_i)$$

Donde:

$$\begin{aligned}n &= \text{Flujo molar en mol/s} \\Cps &= \text{Calor específico de la solución (Kcal/mol)} \\Ti &= 298,15 \text{ K} \\Tf &= 373,15 \text{ K}\end{aligned}$$

Utilizando la relación anterior, se obtiene los resultados mostrados en el siguiente cuadro.

Compuesto	Cp (J/mol-K)	Q (KJ/s)	Q (Kcal/s)
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	107,7501	899,9869	214,9582
NaOH	74,5233	394,9724	94,3375
CuO (**)	44,2388	4,2270	1,0096
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	78,2591	1098,3448	262,3351
Q total		2397,5312	572,6405

Entonces el requerimiento de calor total será:

$$\begin{aligned}Q_T &= \Sigma Q \\Q_T &= 551,44 \text{ Kcal/s}\end{aligned}$$

La reacción es exotérmica por tanto, contribuye al calentamiento del sistema con el calor de reacción desprendido.

Luego el requerimiento de calor real es:

$$Q = Q_T + \Delta Hr$$

Se sabe que el calor de la reacción es de - 443,52 Kcal/s

Luego, el calor necesario a suministrarse al sistema será:

$$Q = 129,12 \text{ Kcal/s}$$

### 16.5.5 Cálculo del Area de Transferencia en la Chaqueta del Reactor Agitado:

El diseño térmico se encarga de dimensionar los equipos para efectuar la transferencia de calor que se necesita para llevar a cabo el proceso. La ecuación de diseño básica es:

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T}$$

A : superficie eficaz de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)

Q : cantidad de calor que se debe transferir para que se produzca la reacción (J/s) = 1174,96 KJ/s

$\Delta T$  : diferencia de temperatura del proceso (K) = 75 K

U : Coeficiente global de transferencia de calor (J/m<sup>2</sup>-s-K) = 1140 (para chaquetas con vapor de agua)

Realizando los cálculos respectivos se halla el área de transferencia de calor entre el reactor y la chaqueta de vapor se tiene que:

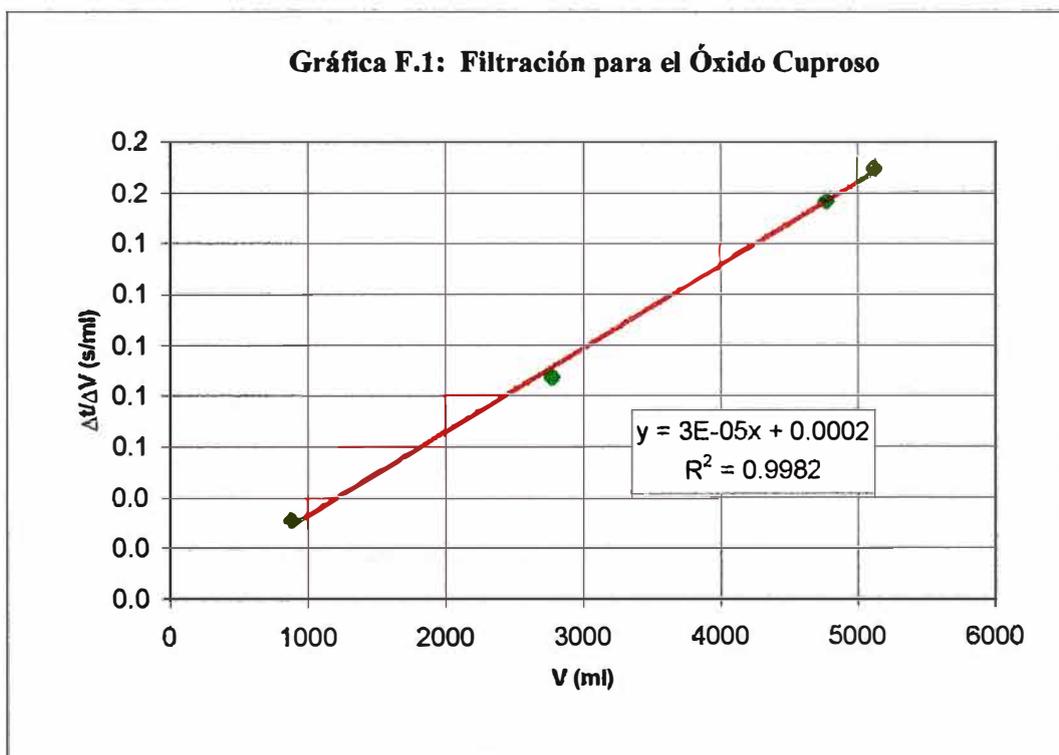
$$A_{\text{transferencia}} = 13,74 \text{ m}^2$$

Luego tomando como base el área externa del reactor se puede hallar la altura de la chaqueta del reactor:

$$\begin{aligned}A_{\text{transferencia}} &= (\pi/4) * D_{\text{reactor}}^2 + \pi * D_{\text{reactor}} * H_{\text{chaqueta}} \\H_{\text{chaqueta}} &= 1,62 \text{ m}\end{aligned}$$

### 16.6.1 Cálculo del Área de Filtrado Necesaria para el Óxido Cuproso

V (ml)	ΔV (ml)	t (s)	Δt (s)	Δt/ΔV (s/ml)
0,0000		0		
883,5750	883,5750	4,96	27,7	0,0313
2774,4255	1890,8505	124,96	120,00	0,0635
3622,6575	848,2320	424,96	300,00	0,3537
4771,3050	1148,6475	604,96	180,00	0,1567
5124,7350	353,4300	664,96	60,00	0,1698



Se sabe que se cumple la siguiente ecuación:

$$\frac{dt}{dV} = k_1 \cdot V + k_2 \dots\dots\dots (34)$$

$$k_1 = 0,00003 \text{ s/ml}^2$$

$$k_2 = 0,0002 \text{ s/ml}$$

Donde:

$$k_2 = k_1 \cdot V_e \dots\dots\dots (35)$$

Entonces:

$$V_e = 6,67 \text{ ml}$$

Se tienen los siguientes datos de las pruebas de filtración realizadas:

$s$ = fracción másica del sólido en suspensión (kg sólido/kg suspensión)	= 0,0230
$m$ = masa torta húmeda/ masa torta seca	= 1,4546
$\rho$ = densidad del filtrado (g/ml)	= 0,9789
$\rho_s$ = densidad del sólido (g/ml)	= 6
$\rho_a$ = densidad de la torta seca (g/ml)	= 1,7132
$L$ = espesor de la torta (m)	= 1,2267
$g_c$ = gravedad específica (kg-m/s <sup>2</sup> )	= 9,81
$A$ = área experimental de filtro (m <sup>2</sup> )	= 0,0284
$\Delta P$ = pérdida de presión (N/m <sup>2</sup> )	= 22332,60
$\mu$ = viscosidad del filtrado (kg/m-s)	= 0,0011

Con estos datos podemos determinar las siguientes propiedades del filtrado:

$$\omega = s \cdot \rho / (1 - m \cdot s) = 23,3301 \text{ g/L}$$

$$\varepsilon = 1 - (\rho_a / \rho_s) = 0,7145$$

donde:

$$\omega = \text{masa de sólido referida al volumen del filtrado (g/L)}$$

$$\varepsilon = \text{fracción hueca}$$

Se sabe que:

$$\alpha = k_1 \cdot g_c \cdot A^2 \cdot \Delta P / (\omega \cdot \mu) \dots\dots\dots (36)$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior obtenemos que:

$$\alpha = 2,016 \cdot 10^{11} \text{ m/kg}$$

Luego, se sabe que la superficie específica de la torta utilizada es igual a:

$$S_o = \frac{\alpha \cdot \rho_s \cdot \varepsilon^3}{4,17 \cdot (1 - \varepsilon)} \dots\dots\dots (37)$$

Entonces:

$$S_o^2 = 3,71 \cdot 10^{14} \text{ m}^4/\text{m}^6$$

Luego:

$$S_o = 1,93 \cdot 10^7 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Se ha establecido que la producción será:

$$\text{Producción} = 0,36 \text{ ton/h}$$

El volumen de filtrado que deposita el peso establecido para la producción será:

$$V = \text{Producción} / \omega = 15,64 \text{ m}^3$$

Se sabe además que  $V_e$  es proporcional a la superficie de filtración, entonces:

$$V_{eop} = V_{exp} \cdot A / A_{exp} \dots\dots\dots (38)$$

$$V_{eop} = 0,00024 \cdot A$$

Para un tiempo de operación:

$$t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

Se tiene que se cumple la siguiente igualdad:

$$t = k_1 \cdot V^2/2 + k_1 \cdot V \cdot V_e \dots\dots\dots (39)$$

Siendo:

$$k_1 = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot \omega}{\Delta P \cdot g_c \cdot A^2} = 32155,5883/A^2 \text{ s/m}^6$$

Luego se deduce el área:

$$A = 28,64 \text{ m}^2$$

Asumiendo un lado de placa cuadrada de 1,5m se tiene que:

$$N^\circ \text{ de placas} = A/1,5^2$$

$$N^\circ \text{ de placas} = 13$$

Cálculo del Tiempo de Lavado de la Torta

De acuerdo con los datos de laboratorio, el sólido filtrado conserva un peso de 0,65g de sulfato de sodio (Wsal) por 1g de óxido cuproso, además la solubilidad (S) del sulfato de sodio es de 0,488g/ml de agua entonces para un buen lavado se asume tres veces el volumen de agua de solubilidad:

$$V_{\text{agua de lavado}} = 3 \cdot W_{\text{sal}} \cdot \text{Producción de Óxido}/S$$

$$V_{\text{agua de lavado}} = 1,46 \text{ m}^3$$

$$V_{eop} = 0,00024 \cdot A$$

$$V_{eop} = 6,73 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$k_{1op} = (A_{exp}^2/A_{op}^2) \cdot k_{1exp} \dots\dots\dots (40)$$

$$k_{1op} = 29,4 \text{ s/m}^2$$

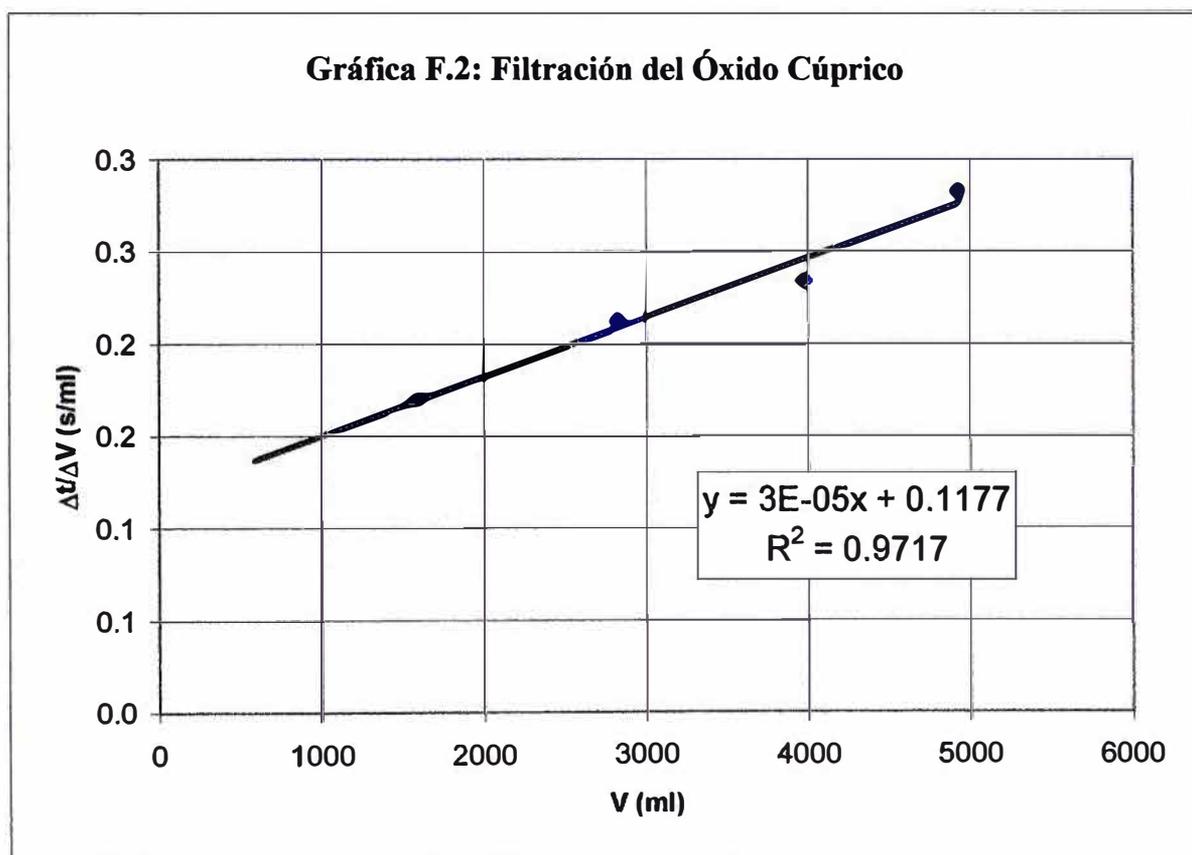
Se sabe que:

$$t_{\text{lavado}} = V_{\text{agua de lavado}} \cdot k_{1op} \cdot (V + V_e) \dots\dots\dots (41)$$

$$t_{\text{lavado}} = 11,2 \text{ min}$$

## 16.6.2 Cálculo del Área de Filtrado Necesaria para el Óxido Cúprico

V (ml)	ΔV (ml)	t (s)	Δt (s)	Δt/ΔV (s/ml)
0,0000		0		
883,5750	883,5750	6,97	6,97	0,0079
1590,4350	706,8600	126,97	120,00	0,1698
2261,9520	671,5170	186,97	60,00	0,0893
2827,4400	565,4880	306,97	120,00	0,2122
3463,6140	636,1740	426,97	120,00	0,1886
3976,0875	512,4735	546,97	120,00	0,2342
4506,2325	530,1450	666,97	120,00	0,2264
4930,3485	424,1160	786,97	120,00	0,2829



Se sabe que se cumple la siguiente ecuación:

$$\frac{dt}{dV} = k_1 \cdot V + k_2$$

$$k_1 = 0,00003 \text{ s/ml}^2$$

$$k_2 = 0,1177 \text{ s/ml}$$

Donde:

$$k_2 = k_1 \cdot V_e$$

Entonces:

$$V_e = 3,9 \text{ ml}$$

Se tienen los siguientes datos de las pruebas de filtración realizadas:

$s$ = fracción másica del sólido en suspensión (kg sólido/kg suspensión)	= 0,0279
$m$ = masa torta húmeda/ masa torta seca	= 1,7895
$\rho$ = densidad del filtrado (g/ml)	= 1,7895
$\rho_s$ = densidad del sólido (g/ml)	= 6,45
$\rho_a$ = densidad de la torta seca (g/ml)	= 2,5238
$L$ = espesor de la torta (m)	= 0,0045
$g_c$ = gravedad específica (kg-m/s <sup>2</sup> )	= 9,81
$A$ = área de filtro (m <sup>2</sup> )	= 0,0284
$\Delta P$ = pérdida de presión (N/m <sup>2</sup> )	= 44865,19
$\mu$ = viscosidad del filtrado (kg/m-s)	= 0,0011

Con estos datos podemos determinar las siguientes propiedades del filtrado:

$$\omega = s \cdot \rho / (1 - m \cdot s) = 31,3807 \text{ g/L}$$

$$\varepsilon = 1 - (\rho_a / \rho_s) = 0,6087$$

donde:

$$\omega = \text{masa de sólido referida al volumen del filtrado (g/L)}$$

$$\varepsilon = \text{fracción hueca}$$

Se sabe que:

$$\alpha = k_1 \cdot g_c \cdot A^2 \cdot \Delta P / (\omega \cdot \mu)$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior obtenemos que:

$$\alpha = 3,10 \cdot 10^{11} \text{ m/kg}$$

Luego, se sabe que la superficie específica de la torta utilizada es igual a:

$$S_o^2 = \frac{\alpha \cdot \rho_s \cdot \varepsilon^3}{4,17 \cdot (1 - \varepsilon)}$$

Entonces:

$$S_o^2 = 2,77 \cdot 10^{14} \text{ m}^4/\text{m}^6$$

Luego:

$$S_o = 1,60 \cdot 10^7 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Se ha establecido que la producción será:

$$\text{Producción} = 0,36 \text{ ton/h}$$

El volumen de filtrado que deposita el peso establecido para la producción será:

$$V = \text{Producción} / \omega = 11,63 \text{ m}^3$$

Se sabe además que  $V_e$  es proporcional a la superficie de filtración, entonces:

$$V_{e \text{ op}} = V_e \exp \cdot A / A_{\text{exp}}$$

$$V_{e \text{ op}} = 0,1384 \cdot A$$

Para un tiempo de operación:

$$t = 1h = 3600 \text{ s}$$

Se tiene que se cumple la siguiente igualdad:

$$t = k_1 \cdot V^2/2 + k_1 \cdot V \cdot V_e$$

Siendo:

$$k_1 = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot \omega}{\Delta P \cdot g_c \cdot A^2} = 40194,4603/A^2 \text{ s/m}^6$$

Luego se deduce el área:

$$A = 27,35 \text{ m}^2$$

Entonces, asumiendo que el lado de un área cuadrada para un filtro de placas y marcos es de 1,5 m se obtiene que el número de placas es:

$$N^\circ \text{ de placas} = 13$$

### Cálculo del Tiempo de Lavado de la Torta

De acuerdo con los datos de laboratorio, el sólido filtrado conserva un peso de 0,73g de sulfato de sodio (Wsal) por 1g de óxido cúprico, además la solubilidad ( $S$ ) del sulfato de sodio es de 0,488 g/ml de agua entonces para un buen lavado se asume tres veces el volumen de agua de solubilidad:

$$V_{\text{agua de lavado}} = 3 \cdot W_{\text{sal}} \cdot \text{Producción de Óxido} / S$$

$$V_{\text{agua de lavado}} = 1,64 \text{ m}^3$$

$$V_{e \text{ op}} = 0,0079 \cdot A$$

$$V_{e \text{ op}} = 3,78 \text{ m}^3$$

$$k_{1 \text{ op}} = (A_{\text{exp}}^2 / A_{\text{op}}^2) \cdot k_{1 \text{ exp}}$$

$$k_{1 \text{ op}} = 32,25 \text{ s/m}^2$$

Se sabe que:

$$t_{\text{lavado}} = V_{\text{agua de lavado}} \cdot k_{1 \text{ op}} \cdot (V + V_{e \text{ op}})$$

$$t_{\text{lavado}} = 13,6 \text{ min}$$

**16.7 ANEXO G**  
**Cálculo de las Dimensiones del Secador**

**16.7.1 Diseño de Secador para el Óxido Cuproso:**

Datos de operación para el sólido a secar:

Flujo de Producción = F = 456,1684 kg/h  
 Humedad Inicial = X<sub>pi</sub> = 0,2  
 Humedad Final = X<sub>pf</sub> = 0,0029  
 T inicial = T<sub>pi</sub> = 25°C  
 T final = T<sub>pf</sub> = 60°C  
 Cp del sólido = C<sub>ps</sub> = 0,1124 Kcal/kg-°C

Datos de operación para el aire como medio desecante:

Flujo Máximo Permitido de Aire (para no levantar polvo) = G = 3420 kg/m<sup>2</sup>-h  
 Humedad del aire a la entrada del secador = Y<sub>ai</sub> = 0,01  
 Temperatura del aire a la entrada = T<sub>ai</sub> = 110°C

Datos de operación para el agua eliminada del sólido:

Por carta psicométrica del sistema aire-agua, se ingresa con la temperatura de bulbo seco igual a 110°C, y la humedad igual a 0,01 entonces:

$$\text{Temperatura de Bulbo Húmedo} = T_{wa} = 40^\circ\text{C}$$

Luego, con todos estos datos calculamos las unidades de transferencia:

$$\text{Not} = Z/\text{Hot} \dots\dots\dots(42)$$

Donde:

Hot = Altura del Elemento de Transmisión (m)  
 Z = Longitud del secador (m)

Se sabe que:

$$\text{Hot} = G \cdot C_{ah} / U_a \dots\dots\dots(43)$$

G = Flujo másico de aire (kg/m<sup>2</sup>-h)  
 C<sub>ah</sub> = Calor específico del gas húmedo (Kcal/kg-°C)  
 U<sub>a</sub> = Coeficiente Integral de Transmisión de calor (Kcal/h-m<sup>2</sup>-°C)

Además:

$$U_a = 57 \cdot G^{0.16} / D$$

D = diámetro del secador (m)

Entonces, combinando las ecuaciones 30, 32 y 33, tenemos que:

$$\text{Not} = 57 \cdot (L/D) / (C_{ah} \cdot G^{0.84}) \dots\dots\dots(44)$$

$$\text{Humedad del Aire Húmedo} = Y_{ah} = 0,049$$

Empleando las relaciones psicométricas hallamos el C<sub>ah</sub>:

$$C_{ah} = 1005 + 1884 \cdot Y_{ah} \dots\dots\dots(45)$$

$$C_{ah} = 0,2621 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

Por tanto el valor Not reemplazando los valores será:

$$\text{Not} = 1,5198 \text{ (este valor se encuentra dentro del rango que hace óptimo el trabajo del secador ya que se encuentra entre 1,5 y 2,5)}$$

Calculando la Temperatura de salida del aire ( $T_{hb}$ ) tenemos la siguiente igualdad:

$$T_{hb} = T_{wa} + ((T_{ai} - T_{wa}) / \exp(\text{Not}))$$
$$T_{hb} = 55,31^\circ\text{C}$$

Para el agua a la temperatura de bulbo húmedo el calor latente es de 580 Kcal/kg y la capacidad calorífica del vapor de agua a esta temperatura es de 0,45 Kcal/kg-°C y la capacidad calorífica del agua líquida es de 1 Kcal/kg-°C.

Se calcula la masa de agua evaporada:

$$m_v = F \cdot (X_{pi} - X_{pf})$$
$$m_v = 89,70 \text{ kg de agua/h}$$

Con estos valores calculamos la necesidad de calor:

$$q_T / F = C_{ps} \cdot (T_{pf} - T_{pi}) + X_{pi} \cdot C_{pL} \cdot (T_{wa} - T_{pf}) + (X_{pi} - X_{pf}) \cdot 1 + X_{pf} \cdot C_{pL} \cdot (T_{pe} - T_{wa}) + (X_{pi} - X_{pf}) \cdot C_{pv} \cdot (T_{hb} - T_{wa}) \dots\dots\dots(46)$$

$$q_T = 5,26 \cdot 10^4 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo una eficiencia calorífica del secador del 80%:

$$q_{T \text{ REAL}} = 6,57 \cdot 10^4 \text{ Kcal/h}$$

Luego hallamos el flujo del aire a la entrada:

$$M_{ge} = q_{T \text{ REAL}} / (C_{ah} \cdot (T_{ae} - T_{hb}))$$
$$M_{ge} = 4,59 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$$

Entonces el flujo de aire seco (mg) es:

$$M_{ge} = m_g \cdot (1 + Y_{ae})$$
$$m_g = 4,54 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$$

Se puede hallar la humedad de salida del aire:

$$Y_{as} = Y_{ae} + m_v / m_g$$
$$Y_{as} = 0,0298$$

Finalmente se calculan las dimensiones del secador:

$$\text{Area Transversal} = M_{ge} / G$$
$$\text{Area Transversal} = 1,3412 \text{ m}^2$$

Donde:

$$D = (4 \cdot A / \pi)^{0.5}$$
$$D = 1,31 \text{ m}$$

De acuerdo a la relación L/D asumida se tiene que:

$$L = 6,5 \cdot D$$
$$L = 8,50 \text{ m}$$

### Requerimiento de Calor del Aire de Entrada:

El calor que requiere el aire fresco para llegar a las condiciones del aire de ingreso al secador es proporcionado por un precalentador de aire ubicado a la entrada del secador. Para esto se saben las condiciones del aire fresco.

### Condiciones del aire fresco:

Se asumirá un ingreso de aire fresco con una humedad relativa del 80% a una temperatura de 25°C, entonces de la carta psicrométrica para el aire-vapor de agua:

$$\text{Humedad del aire fresco} = Y_{af} = 0,016$$

Luego:

$$C_{af} = 0,25 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

Se halla el flujo del aire fresco:

$$\begin{aligned} M_{af} &= m g (1 + Y_{af}) \\ M_{af} &= 4,61 \cdot 10^3 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Entonces el agua retirada del aire fresco será:

$$\begin{aligned} W_a &= M_{af} \cdot (Y_{af} - Y_{ae}) \\ W_a &= 27,68 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

De las relaciones psicrométricas se obtiene que:

$$\begin{aligned} C_{af} &= 1005 + 1884 \cdot Y_{af} \\ C_{af} &= 0,25 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

A estas condiciones, la temperatura del bulbo húmedo es de 22,5°C entonces:

$$\begin{array}{ll} \lambda_{\text{agua}} = 600 \text{ Kcal/kg} & H_{af} = 65\,915,4 \text{ J/kg de aire seco} \\ C_{\text{agua}} = 1 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C} & H_{ai} = 137\,654,4 \text{ J/kg de aire seco} \\ C_{\text{vapor}} = 0,448 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C} & m g = 4\,541,4 \text{ kg/h} \end{array}$$

Luego el calor requerido para eliminar esa cantidad de agua y calentar el aire hasta 110°C será:

$$Q = (H_{ai} - H_{af}) \cdot m g + W_a \cdot l + W_a \cdot (T_{af} - T_h) \cdot C_{\text{agua}} + W_a \cdot (T_{ae} - T_{af}) \cdot C_{\text{vapor}}$$

$$Q = 9,55 \cdot 10^4 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = 4,00 \cdot 10^5 \text{ KJ/h}$$

$$Q = 1,11 \cdot 10^5 \text{ J/s}$$

## 16.7.2 Diseño de Secador para el Óxido Cúprico:

### Datos de operación para el sólido a secar:

Flujo de Producción = F	= 4,56kg/h
Humedad Inicial = X <sub>pi</sub>	= 0,20
Humedad Final = X <sub>pf</sub>	= 5,9*10 <sup>-3</sup>
T inicial = T <sub>pi</sub>	= 25°C
T final = T <sub>pf</sub>	= 60°C
Cp del sólido = C <sub>ps</sub>	= 0,1317 Kcal/kg-°C

### Datos de operación para el aire como medio desecante:

Flujo Máximo Permitido de Aire (para no levantar polvo) = G	= 3420 kg/m <sup>2</sup> -h
Humedad del aire a la entrada del secador = Y <sub>ai</sub>	= 0,01
Temperatura del aire a la entrada = T <sub>ai</sub>	= 110°C

### Datos de operación para el agua eliminada del sólido:

Por carta psicométrica del sistema aire-agua, se ingresa con la temperatura de bulbo seco igual a 110°C, y la humedad igual a 0,01 entonces:

$$\text{Temperatura de Bulbo Húmedo} = T_{wa} = 40^\circ\text{C}$$

Luego, con todos estos datos calculamos las unidades de transferencia:

$$N_{ot} = Z/Hot$$

Donde:

Hot = Altura del Elemento de Transmisión (m)

Z = Longitud del secador (m)

Se sabe que:

$$Hot = G \cdot Cah / Ua$$

G = Flujo másico de aire (kg/m<sup>2</sup>-h)

Cah = Calor específico del gas húmedo (Kcal/kg-°C)

Ua = Coeficiente Integral de Transmisión de calor (Kcl/h-m<sup>2</sup>-°C)

Además:

$$Ua = 57 \cdot G^{0.16} / D$$

D = diámetro del secador (m)

Luego, tenemos que:

$$N_{ot} = 57 \cdot (L/D) / (Cah \cdot G^{0.84})$$

Asumiendo  $L/D = 6,5$  (consideraciones de diseño). Hallamos el valor de Cah, a la temperatura de bulbo húmedo, utilizando la gráfica psicométrica del sistema aire-agua:

$$\text{Humedad del Aire Húmedo} = Y_{ah} = 0,049$$

Empleando las relaciones psicométricas hallamos el Cah:

$$Cah = 1005 + 1884 \cdot Y_{ah}$$

$$Cah = 0,26 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

Por tanto el valor Not reemplazando los valores será:

$$\text{Not} = 1,5198 \quad (\text{este valor se encuentra dentro del rango que hace óptimo el trabajo del secador ya que se encuentra entre 1,5 y 2,5})$$

Calculando la Temperatura de salida del aire ( $T_{hb}$ ) tenemos la siguiente igualdad:

$$T_{hb} = T_{wa} + ((T_{ai} - T_{wa}) / \exp(\text{Not}))$$
$$T_{hb} = 55,31^\circ\text{C}$$

Para el agua a la temperatura de bulbo húmedo el calor latente es de 580 Kcal/kg y la capacidad calorífica del vapor de agua a esta temperatura es de 0,45 Kcal/kg-°C y la capacidad calorífica del agua líquida es de 1 Kcal/kg-°C.

Se calcula la masa de agua evaporada:

$$m_v = F \cdot (X_{pi} - X_{pf})$$
$$m_v = 88,55 \text{ kg de agua/h}$$

Con estos valores calculamos la necesidad de calor:

$$q_T / F = C_{ps} \cdot (T_{pf} - T_{pi}) + X_{pi} \cdot C_{pl} \cdot (T_{wa} - T_{pf}) + (X_{pi} - X_{pf}) \cdot \lambda + X_{pf} \cdot C_{pl} \cdot (T_{pe} - T_{wa}) + (X_{pi} - X_{pf}) \cdot C_{pv} \cdot (T_{hb} - T_{wa})$$
$$q_T = 5,22 \cdot 10^4 \text{ Kcal/h}$$

Asumiendo una eficiencia calorífica del secador del 80%:

$$q_{T \text{ REAL}} = 6,53 \cdot 10^4 \text{ Kcal/h}$$

Luego hallamos el flujo del aire a la entrada:

$$M_{ge} = q_{T \text{ REAL}} / (C_{ah} \cdot (T_{ae} - T_{hb}))$$
$$M_{ge} = 4,55 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$$

Entonces el flujo de aire seco ( $m_g$ ) es:

$$M_{ge} = m_g \cdot (1 + Y_{ae})$$
$$m_g = 4,51 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$$

Se puede hallar la humedad de salida del aire:

$$Y_{as} = Y_{ae} + m_v / m_g$$
$$Y_{as} = 0,0296$$

Finalmente se calculan las dimensiones del secador:

$$\text{Area Transversal} = M_{ge} / G$$
$$\text{Area Transversal} = 1,33 \text{ m}^2$$

Donde:

$$D = (4 \cdot A / \pi)^{0,5}$$
$$D = 1,30 \text{ m}$$

De acuerdo a la relación L/D asumida se tiene que:

$$L = 6,5 \cdot D$$
$$L = 8,46 \text{ m}$$

### Requerimiento de Calor del Aire de Entrada :

El calor que requiere el aire fresco para llegar a las condiciones del aire de ingreso al secador es proporcionado por un precalentador de aire ubicado a la entrada del secador. Para esto se saben las condiciones del aire fresco.

#### Condiciones del aire fresco:

Se asumirá un ingreso de aire fresco con una humedad relativa del 80% a una temperatura de 25°C, entonces de la carta psicrométrica para el aire-vapor de agua:

$$\text{Humedad del aire fresco} = Y_{af} = 0,016$$

Luego:

$$C_{af} = 0,2472 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

Se halla el flujo del aire fresco:

$$M_{af} = m_g (1 + Y_{af})$$

$$M_{af} = 4,58 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$$

Entonces el agua retirada del aire fresco será:

$$W_a = M_{af} \cdot (Y_{af} - Y_{ae})$$

$$W_a = 27,48 \text{ kg/h}$$

De las relaciones psicrométricas se obtiene que:

$$C_{af} = 1005 + 1884 \cdot Y_{af}$$

$$C_{af} = 0,25 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

A estas condiciones, la temperatura del bulbo húmedo es de 22,5°C entonces:

$$\lambda_{\text{agua}} = 600 \text{ Kcal/kg}$$

$$C_{\text{agua}} = 1 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{vapor}} = 0,448 \text{ Kcal/kg-}^\circ\text{C}$$

$$H_{af} = 65\,915,4 \text{ J/kg de aire seco}$$

$$H_{ai} = 137\,654,4 \text{ J/kg de aire seco}$$

$$m_g = 4\,508,2 \text{ kg/h}$$

Luego el calor requerido para eliminar esa cantidad de agua y calentar el aire hasta 110°C es:

$$Q = (H_{ai} - H_{af}) \cdot m_g + W_a \cdot \lambda + W_a \cdot (T_{af} - T_h) \cdot C_{\text{agua}} + W_a \cdot (T_{ae} - T_{af}) \cdot C_{\text{vapor}}$$

$$Q = 9,48 \cdot 10^4 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = 3,97 \cdot 10^5 \text{ KJ/h}$$

$$Q = 1,10 \cdot 10^5 \text{ J/s}$$

**16.8 ANEXO H**  
**Diseño del Molino**

**16.8.1 Diseño del Molino para Reducción de Tamaño del Óxido Cuproso:**

Datos de la alimentación del Óxido Cuproso al Molino

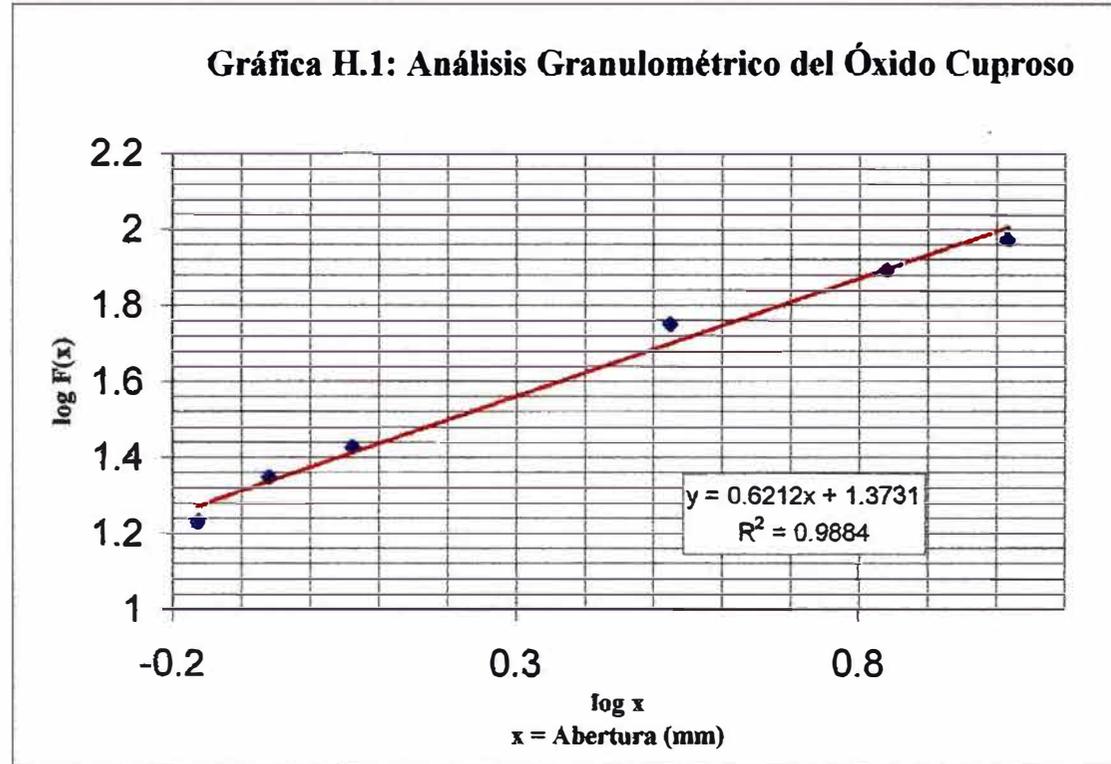
W total = 557,90 g

<b>Nº de Malla</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>
1	11,6600	0,0
2	9,1700	31,0
4	4,6990	91,0
5	3,9620	33,0
6	3,3620	21,0
8	3,3270	67,0
10	1,6510	47,0
12	1,3970	38,7
18	0,9120	77,8
20	0,8330	24,8
30	0,5420	29,0
170	0,0900	73,7
270	0,0530	17,7
Ciega	0,0000	2,8
	<b>Peso Recuperado</b>	<b>554,50</b>

Análisis Granulométrico del Óxido Cuproso Seco

Nº de Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido (%)	Peso Acumulado Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (%)	Peso Acumulado Retenido Corregido (%)	Peso Acumulado Passing (%)
1 - 2	10,4150	31,0	5,5566	121,0	5,5566	5,5906	94,4094
2 - 4	6,9345	122,0	21,8677	122,0	21,8677	22,0018	77,9982
4 - 5	4,3305	124,0	22,2262	155,0	27,7858	27,9531	72,0469
5 - 6	3,6620	54,0	9,6792	176,0	31,5469	31,7403	68,2597
6 - 8	3,3445	88,0	15,7734	243,0	43,5562	43,8233	56,1767
8 - 10	2,4890	114,0	20,4338	290,0	51,9806	52,2994	47,7006
10 - 12	1,5240	85,7	15,3612	328,7	58,9174	59,2786	40,7214
12 - 18	1,1545	116,5	20,8819	406,5	72,8625	73,3093	26,6907
18 - 20	0,8725	102,6	18,3904	431,3	77,3078	77,7818	22,2182
20 - 30	0,6875	53,8	9,6433	460,3	82,5058	83,0117	16,9883
30 - 170	0,3160	102,7	18,4083	534,0	95,7161	96,3030	3,6970
170 - 270	0,0715	91,4	16,3829	551,7	98,8887	99,4950	0,5050
270 - Ciega	0,0265	20,5	3,6745	554,5	99,3906	100,0000	0,0000

**Gráfica H.1: Análisis Granulométrico del Óxido Cuproso**



De la gráfica se obtiene la ecuación de la recta:

$$\log F(x) = \alpha \cdot \log(x) + \log(100/x_0^\alpha) \dots\dots\dots(47)$$

Se deduce que:

$$\alpha = 0,6212$$

$$x_0 = 10,21 \text{ mm}$$

Donde  $D_{80}$  es el valor de  $x$  para el cual el valor de  $F(x)$  es 80, deduciendo este valor utilizando la ecuación:

$$D_{80} = 7,13 \text{ mm}$$

**Cálculo de la Potencia del Molino:** Se tiene la siguiente relación:

$$\frac{P}{T} = 0,3162 * \frac{4}{3} * Wi * \left( \frac{1}{\sqrt{Dp}} - \frac{1}{\sqrt{Df}} \right) \dots \dots \dots (48)$$

Donde:

- P = Potencia en Kw
- T = Producción en ton corta/h
- Dp = Diámetro de partícula del producto en mm
- Df = Diámetro de partícula de la alimentación en mm
- Wi = Work Index en Kw-h/ton

En nuestro caso, tenemos que:

- T = 2,0114 ton corta/h (asumiendo un reciclo en relación de 4 a 1 con la alimentación)
- Dp = 0,048 mm
- Df = 7,13 mm
- Wi = 13 Kw-h/ton

Reemplazando estos datos en la ecuación superior se despeja el valor de la potencia:

$$P = 46,19 \text{ Kw}$$

$$P = 61,92 \text{ HP}$$

**Cálculo de la Longitud del Molino:**

Se asume la relación entre la longitud y el diámetro del molino:

$$\frac{L}{D} = 2$$

Para hallar la longitud del molino se cuenta con la siguiente ecuación:

$$P = K * D^{2,5} * (\%Vp)^{0,461} * (\%Cs)^{1,505} * L \dots \dots \dots (49)$$

Donde:

- P = Potencia del molino en HP
- K = Constante para la descarga por diafragma seco = 5,456 \* 1e-5
- %Vp = Porcentaje medio de molienda = 45%
- %Cs = Porcentaje de Velocidad Crítica = 73%
- L y D = Diámetro y longitud del molino en pies

Entonces el diámetro del molino será:

$$D = 5,14 \text{ pies}$$

Luego la longitud del molino será:

$$D = L / 2$$

$$L = 10,28 \text{ pies}$$

**Cálculo de Carga de Bolas:**

Se tiene que:

$$C_w = \frac{0,821 * D^2 * L * V_p * \rho_a * (1-e)}{2000} \dots\dots\dots (50)$$

Donde:

- C<sub>w</sub> = Carga de Bolas en toneladas cortas
- D y L = Diámetro y longitud del molino en pies
- V<sub>p</sub> = Fracción en Volumen Ocupado por las Bolas = 0,4
- ρ<sub>a</sub> = Densidad del Acero en lb/pie cúbico = 488,97 lb/pie cúbico
- ε = Fracción hueca de las bolas = 0,4

Luego:

$$C_w = 13,09 \text{ ton cortas}$$

**Cálculo del Diámetro de la Bola de Reemplazo:**

Se tiene que:

$$B = \frac{\left(\frac{d_{80F}}{K}\right)^{1/2} \left(\frac{W_i * \rho}{C_s * \sqrt{D}}\right)^{1/3}}{\dots\dots\dots} (51)$$

Donde:

- B = Diámetro de la bola de reemplazo en pulg
- K = Constante (depende de cómo se realice la descarga del material)
- d<sub>80F</sub> = Tamaño de partícula D80 de la alimentación en micras
- W<sub>i</sub> = Work Index de la alimentación en Kw-h/ton
- ρ = Densidad de la alimentación en g/ml
- C<sub>s</sub> = Porcentaje de velocidad crítica
- D = Diámetro del molino en pies

Se asumen los siguientes valores:

$$K = 350 \text{ (para molienda en seco)}$$

$$C_s = 75\%$$

Entonces, reemplazando estos valores en la ecuación se tiene que:

$$B = 3,87 \text{ pulg}$$

**Cálculo de la Velocidad Crítica del Molino:**

$$N_c = \frac{76,63}{\sqrt{D}} \dots\dots\dots (52)$$

Donde:

- N<sub>c</sub> = Velocidad Crítica, RPM
- D = Diámetro del molino en pies

Entonces la velocidad crítica será:

$$N_c = 34 \text{ RPM}$$

### 16.8.2 Diseño del Molino para Reducción de Tamaño del Óxido Cúprico:

Datos de la alimentación del Óxido Cuproso al Molino

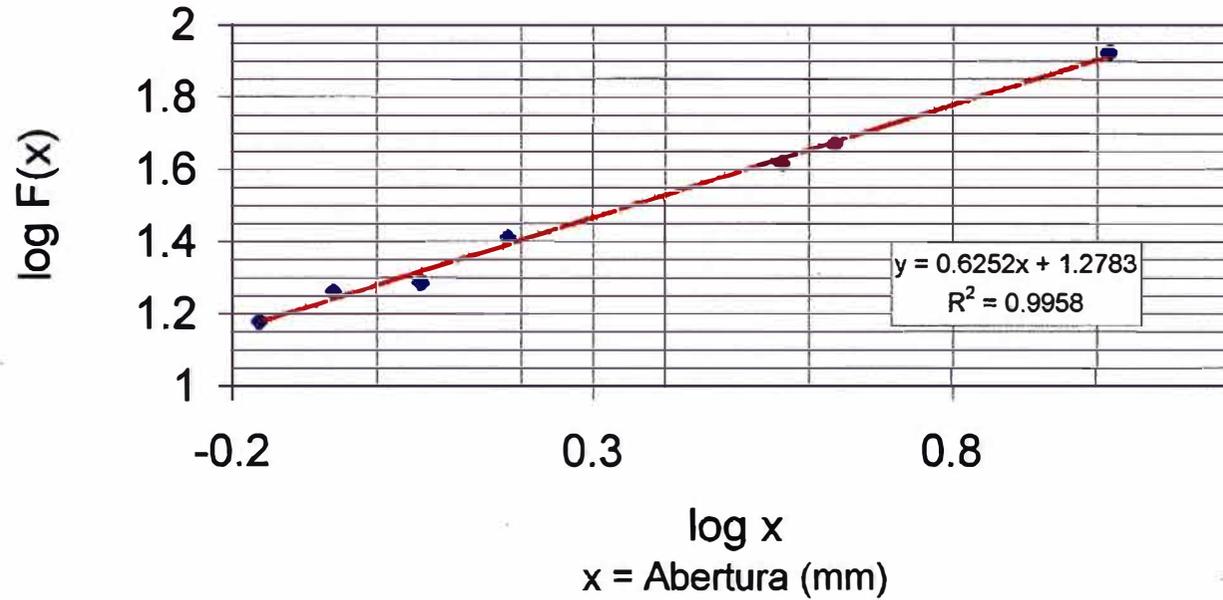
W total = 771,20 g

<b>Nº de Malla</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>
1	11,6600	27,0
2	9,1700	94,0
4	4,6990	228,0
6	3,3620	42,0
8	3,3270	68,0
10	1,6510	32,0
12	1,3970	21,7
18	0,9120	47,8
20	0,8330	9,3
30	0,5420	24,4
170	0,0900	88,9
Ciega	0,0000	6,8
	Peso Recuperado	771,40

Análisis Granulométrico del Óxido Cúprico Seco

Nº de Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido (%)	Peso Acumulado Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (%)	Peso Acumulado Retenido Corregido (%)	Peso Acumulado Passing (%)
1 - 2	10,4150	121,0	15,6898	121,0	15,6898	15,6858	84,3142
2 - 4	6,9345	322,0	41,7531	349,0	45,2541	45,2424	54,7576
4 - 5	4,3305	289,0	37,4741	410,0	53,1639	53,1501	46,8499
5 - 6	3,6620	103,0	13,3558	452,0	58,6100	58,5948	41,4052
6 - 8	3,3445	110,0	14,2635	520,0	67,4274	67,4099	32,5901
8 - 10	2,4890	100,0	12,9668	552,0	71,5768	71,5582	28,4418
10 - 12	1,5240	53,7	6,9632	573,7	74,6906	74,3713	25,6287
12 - 18	1,1545	69,5	9,0119	621,5	80,5678	80,5678	19,4322
18 - 20	0,8725	57,1	7,4040	630,8	81,7734	81,7734	18,2266
20 - 30	0,6875	33,7	4,3698	655,2	84,9585	84,9365	15,0635
170 - 270	0,0715	109,4	14,1857	764,6	99,1442	99,1185	0,8815
270 - Ciega	0,0265	27,3	3,5399	771,4	100,02593	100,0000	0,0000

**Gráfica H.2: Análisis Granulométrico del Óxido Cúprico**



De la gráfica se obtiene la ecuación de la recta:

$$\log F(x) = \alpha \cdot \log(x) + \log(100/x_0^\alpha)$$

Se deduce que:

$$\alpha = 0,6252$$
$$x_0 = 14,3 \text{ mm}$$

Donde  $d_{80}$  es el valor de  $x$  para el cual el valor de  $F(x)$  es 80, deduciendo este valor utilizando la ecuación:

$$D_{80} = 9,98 \text{ mm}$$

**Cálculo de la Potencia del Molino :** Se tiene la siguiente relación:

$$\frac{P}{T} = 0,3162 * \frac{4}{3} * Wi * \left( \frac{1}{\sqrt{Dp}} - \frac{1}{\sqrt{Df}} \right)$$

Donde:

P = Potencia en Kw

T = Producción en ton corta/h

Dp = Diámetro de partícula del producto en mm (d80,p)

Df = Diámetro de partícula de la alimentación en mm (d80,F)

Wi = Work Index en Kw-h/ton

En nuestro caso, tenemos que:

T = 2,0113 ton corta/h (asumiendo un reciclo en relación de 4 a 1 con la alimentación)

Dp = 0,048 mm

Df = 6,8902 mm

Wi = 13 Kw-h/ton

Reemplazando estos datos en la ecuación superior se despeja el valor de la potencia:

$$P = 46,12 \text{ Kw}$$

$$P = 61,84 \text{ HP}$$

**Cálculo de la Longitud del Molino :**

Se asume la relación entre la longitud y el diámetro del molino:

$$\frac{L}{D} = 2$$

Para hallar la longitud del molino se cuenta con la siguiente ecuación:

$$P = K * D^{2,5} * (\%Vp)^{0,461} * (\%Cs)^{1,505} * L$$

Donde:

P = Potencia del molino en HP

K = Constante para la descarga por diafragma seco =  $5,456 * 1e-5$

%Vp = Porcentaje medio de molienda = 45%

%Cs = Porcentaje de Velocidad Crítica = 73%

L y D = Diámetro y longitud del molino en pies

Entonces el diámetro del molino será:

$$D = 5,14 \text{ pies}$$

Luego la longitud del molino será:

$$D = L / 2$$

$$L = 10,28 \text{ pies}$$

### Cálculo de Carga de Bolas :

Se tiene que:

$$C_w = \frac{0,821 * D^2 * L * V_p * \rho_a * (1 - \epsilon)}{2000}$$

Donde:

$C_w$  = Carga de Bolas en toneladas cortas

$D$  y  $L$  = Diámetro y longitud del molino en pies

$V_p$  = Fracción en Volumen Ocupado por las Bolas = 0,45

$\rho_a$  = Densidad del Acero en lb/pie cúbico = 488,97 lb/pie cúbico

$\epsilon$  = Fracción hueca de las bolas = 0,39

Luego:

$$C_w = 14,95 \text{ ton cortas}$$

### Cálculo del Diámetro de la Bola de Reemplazo :

Se tiene que:

$$B = \left( \frac{d_{80F}}{K} \right)^{1/2} \left( \frac{W_i * \rho}{C_s * \sqrt{D}} \right)^{1/3}$$

Donde:

$B$  = Diámetro de la bola de reemplazo en pulg

$K$  = Constante (depende de cómo se realice la descarga del material)

$d_{80F}$  = Tamaño de partícula D80 de la alimentación en micras

$W_i$  = Work Index de la alimentación en Kw-h/ton

$\rho$  = Densidad de la alimentación en g/ml

$C_s$  = Porcentaje de velocidad crítica

$D$  = Diámetro del molino en pies

Se asumen los siguientes valores:

$$K = 350 \text{ (para molienda en seco)}$$

$$C_s = 75\%$$

Entonces, reemplazando estos valores en la ecuación se tiene que:

$$B = 3,81 \text{ pulg}$$

### Cálculo de la Velocidad Crítica del Molino :

Se tiene que:

$$N_c = \frac{76,63}{\sqrt{D}}$$

Donde:  $N_c$  = Velocidad Crítica, RPM

$D$  = Diámetro del molino en pies

Entonces la velocidad crítica será:

$$N_c = 33,81 \text{ RPM}$$

## 16.9 ANEXO I

### 16.9.1 Diseño del Tamiz:

Para el tamaño y tipo de material con que trabajará el tamiz se tiene que para ambos óxidos (óxido cuproso y cúprico):

U = 0,4 TCPH	A = 0,2179	B = 0,53
C = 0,80	D = 1,00	E = 1,00
G = 0,3767	H = 1,15	J = 1,15

El único factor diferente para cada óxido es el factor F:

$$F_{\text{Cu}_2\text{O}} = 0,2572 \qquad F_{\text{CuO}} = 0,2765$$

Con estos datos y la fórmula respectiva se calcula el área de la malla para el tamiz que trabajará con óxido cuproso, mediante la ecuación (17):

$$A = 33,98 \text{ pie}^2$$

$$A = 3,16 \text{ m}^2$$

De la misma manera se calcula el área de tamiz para el óxido cúprico:

$$A = 31,61 \text{ pie}^2$$

$$A = 2,94 \text{ m}^2$$

Luego el tamiz a utilizar será el de mayor área, asumiendo que la forma del tamiz es rectangular, con una relación de lados de 1 a 3, se tiene que:

$$L_{\text{menor}} = (A/3)^{0,5}$$

$$L_{\text{menor}} = 0,99 \text{ m}$$

$$L_{\text{mayor}} = 2,97 \text{ m}$$

Se calcula la potencia del tamiz con la siguiente relación:

$$P = 1600 * m_s / D_p$$

donde:

P = Potencia del tamiz en Kw.

$m_s$  = flujo másico en kg/h

$D_p$  = malla de la partícula.

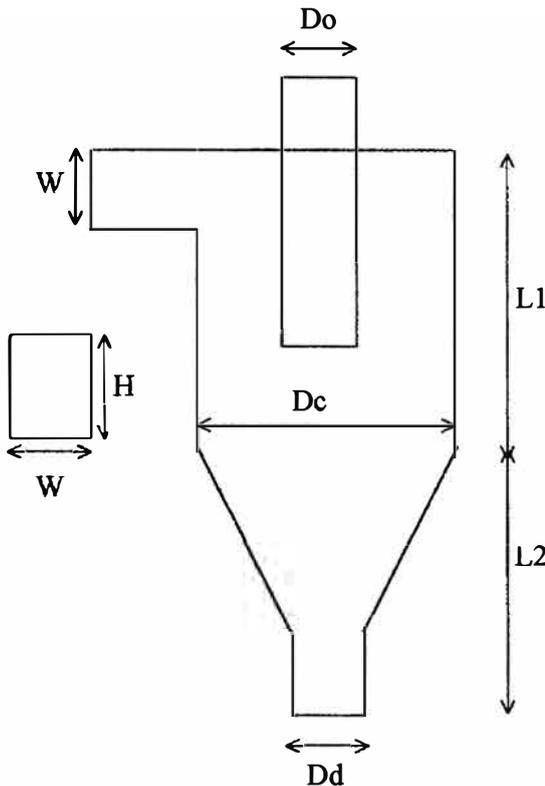
Entonces:

$$P = 10,72 \text{ Kw}$$

16.10 ANEXO J

Diseño de Ciclones para la Salida de Aire del Secador:

16.10.1 Ciclón para Recuperar Partículas de Óxido Cuproso:



Para lograr una mayor eficiencia de un ciclón se recomienda que sus dimensiones cumplan con las siguientes proporciones:

$$\begin{aligned} L1 &= 2 * Dc \\ L2 &= 2 * Dc \\ W &= Dc/4 \\ Dd &= Dc/4 \\ Do &= Dc/2 \\ H &= Dc/2 \end{aligned}$$

El patrón de flujo de un aparato ciclónico es complejo. Se puede predecir su performance con ecuaciones semiempíricas.

Leith y Licht (1980) desarrollaron una teoría útil en el diseño práctico de ciclones:

$$m = 1 - (1 - 0,67 * Dc^{0,14}) * (T/283)^{0,3} \dots (53)$$

donde:

$$\begin{aligned} Dc &= \text{Diámetro del ciclón en m} \\ T &= \text{Temperatura en K} \end{aligned}$$

Fig. J.1: Separador ciclónico

La eficiencia del colector de acuerdo al modelo de Leith y Licht está dada por:

$$\eta = 1 - \exp(-Y * Dp * M) \dots (54)$$

donde:

$$M = 1/(m + 1) \dots (55)$$

Además:

$$\Psi = 2 * (K * Q * rp * Cc * (m + 1) / (18 * m * Dc^3))^{(M/2)} \dots (56)$$

donde:

$$\begin{aligned} K &= \text{factor empírico que depende del tamaño del ciclón} \\ Cc &= \text{Factor de corrección de Cunningham} = 0,9540 \end{aligned}$$

K se asocia a Dc mediante la siguiente relación:

$$\log K = 1,8089834 - 4,248351 * \log Dc \dots (57)$$

donde:

$$Dc = \text{Diámetro del ciclón en pulgadas.}$$

Se cuenta con los siguientes datos para el diseño del ciclón para el óxido cuproso:

- Q = caudal volumétrico ( $m^3/s$ ) = 1,0512
- $\mu$  = viscosidad del gas a la entrada ( $kg/m\cdot s$ ) =  $1,8 \cdot 10^{-5}$
- $\rho_p$  = densidad de la partícula ( $kg/m^3$ ) = 600
- $\rho_g$  = densidad del gas ( $kg/m^3$ ) = 1,19
- $\eta$  = eficiencia de separación del ciclón = 0,99
- Dp = diámetro de la partícula ( $\mu m$ ) = 48
- T = 298,15 K

Combinando las ecuaciones anteriores para hallar el diámetro del ciclón se tiene que:

$$D_c = ((1 - ((1 - \eta)/(T/283)^{0,3})) / 0,67)^{7,14} \dots\dots\dots (58)$$

$$m = (1 - M)/M \dots\dots\dots (59)$$

$$M = -\ln(1 - \eta)/(\Psi \cdot D_p) \dots\dots\dots (60)$$

Se convergen las ecuaciones (48), (49), (50), (51) y (52) para hallar el valor de Dc, luego se tiene que:

$$D_c = 0,765 \text{ m}$$

### **16.10.2 Ciclón para Recuperar Partículas de Óxido Cúprico:**

Se cuenta con los siguientes datos para el diseño del ciclón para el óxido cúprico:

- Q = caudal volumétrico ( $m^3/s$ ) = 2210,8258
- $\rho_p$  = densidad de la partícula ( $kg/m^3$ ) = 645
- Dp ( $\mu m$ ) = diámetro de partícula = 48

El valor de Dp es igual al del caso anterior, ya que se tienen los mismos valores de tamaño de partícula y eficiencia del ciclón.

Siguiendo el mismo procedimiento para hallar el diámetro del ciclón para el óxido cúprico, se convergen las ecuaciones (48), (49), (50), (51) y (52) a las mismas condiciones de eficiencia y temperatura:

$$D_c = 0,771 \text{ m}$$

## 16.11 ANEXO K

### Cálculo de Requerimiento de Vapor y Potencia del Caldero

#### 16.11.1 Requerimiento de Vapor y Potencia del Caldero en la Obtención de Óxido Cuproso:

Se halla el requerimiento de vapor saturado producido por un caldero como medio de calentamiento. Asumiendo una presión de 20 psi, la temperatura de entrada y de salida del vapor se tienen entonces los siguientes datos:

$$\begin{aligned}P \text{ vapor} &= 20 \text{ psi} \\h &= \text{entalpía del vapor} = 647,5 \text{ Kcal/kg} \\h_l &= \text{entalpía del líquido} = 109,84 \text{ Kcal/kg} \\T_i &= 428,65 \text{ K} \\T_f &= 373,15 \text{ K}\end{aligned}$$

La producción del caldero se relaciona con el calor producido por esta con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}Q &= m_{\text{vapor}} \cdot (h - h_l) \dots\dots\dots (61) \\m_{\text{vapor}} &= Q / (h - h_l)\end{aligned}$$

Donde Q es el calor total requerido, en el caso de la producción de óxido cuproso este calor será igual al calor requerido por el reactor y al calor requerido por el secador. Entonces:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Donde:

$$\begin{aligned}Q_1 &= \text{calor requerido por el reactor} = 10,1028 \cdot 10^5 \text{ Kcal/h} \\Q_2 &= \text{calor requerido por el aire que ingresa al secador} = 1,1470 \cdot 10^5 \text{ Kcal/h}\end{aligned}$$

Luego:

$$Q = 1,1058 \cdot 10^6 \text{ Kcal/h}$$

Con este valor se calcula el caudal de vapor requerido:

$$\begin{aligned}m_{\text{vapor}} &= 0,5713 \text{ kg/s} \\m_{\text{vapor}} &= 2056,3716 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

La portencia en HP de caldera establecida por la ASME, basada en una máquina de vapor establece que la capacidad de una caldera se expresa de la siguiente forma:

$$\text{HP caldero} = Q / 8509,644 \dots\dots\dots (62)$$

donde:

$$Q = \text{requerimiento de calor en Kcal/h}$$

Entonces:

$$\text{HP caldero} = 129,9443$$

### **16.11.2 Requerimiento de Vapor y Potencia del Caldero en la Obtención de Óxido Cúprico:**

Luego se halla el requerimiento de vapor saturado producido por un caldero como medio de calentamiento, asumiendo una presión de 20 psi, la temperatura de entrada y de salida del vapor se tienen entonces los siguientes datos:

$$P \text{ vapor} = 20 \text{ psi}$$

$$h = \text{entalpía del vapor} = 647,5 \text{ Kcal/kg}$$

$$h_l = \text{entalpía del líquido} = 109,84 \text{ Kcal/kg}$$

$$T_i = 428,65 \text{ K}$$

$$T_f = 373,15 \text{ K}$$

La producción del caldero se relaciona con el calor producido por esta con la siguiente ecuación:

$$Q = m_{\text{vapor}} \cdot (h - h_l)$$

$$m_{\text{vapor}} = Q / (h - h_l)$$

Donde Q es el calor total requerido, al igual que en el caso de la producción de óxido cuproso este calor será igual al calor requerido por el reactor más el requerido por el secador. Entonces:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Donde:

$$Q_1 = \text{calor requerido por el reactor} = 4,6482 \cdot 10^5 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_2 = \text{calor requerido por el aire que ingresa al secador} = 1,1386 \cdot 10^5 \text{ Kcal/h}$$

Luego:

$$Q = 5,5964 \cdot 10^5 \text{ Kcal/h}$$

Con este valor se calcula el caudal de vapor requerido:

$$m_{\text{vapor}} = 0,2891 \text{ kg/s}$$

$$m_{\text{vapor}} = 1040,8771 \text{ kg/h}$$

La portencia en HP de caldera establecida por la ASME, basada en una máquina de vapor establece que la capacidad de una caldera se expresa de la siguiente forma:

$$\text{HP caldero} = Q / 8509,644$$

donde:

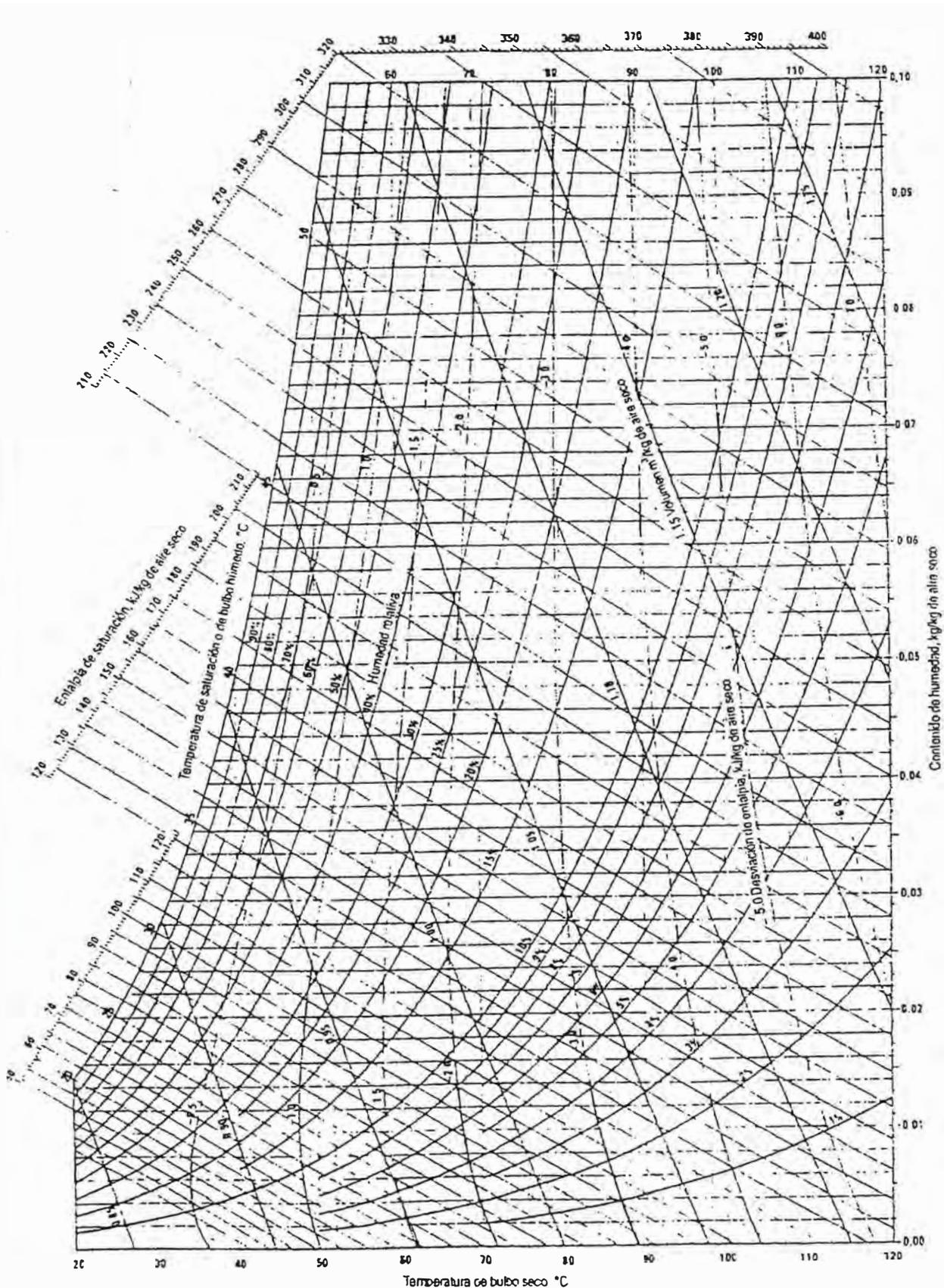
$$Q = \text{requerimiento de calor en Kcal/h}$$

Entonces:

$$\text{HP caldero} = 65,765 \text{ l}$$

# 16.12 ANEXO L

## CARTA PSICROMÉTRICA DEL SISTEMA AIRE Y VAPOR DE AGUA



**16.13 ANEXO M**  
**Fotografías de las Pruebas de Laboratorio Realizadas**

**16.13.1 Obtención de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico:**



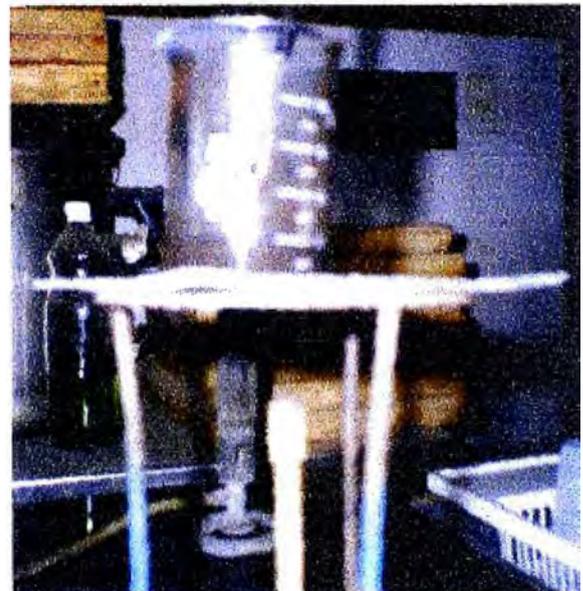
**Foto M.1.-** Solución de Sulfato de Cobre Pentahidratado.



**Foto M.2.-** Formación del precipitado de Hidróxido Cúprico (señalado con la flecha) formado al agregar la solución de Soda Cáustica.



**Foto M.3.-** Formación de óxido cúprico (indicado con la flecha), por calentamiento hasta ebullición.



**Foto M.4.-** Formación completa del Óxido Cúprico.

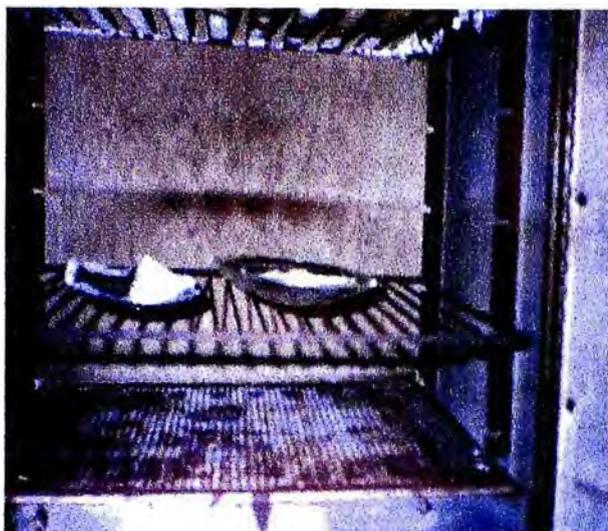


Foto M.5.- Secado de los precipitados de Óxidos de Cobre en la estufa.



Foto M.6.- Producto final de Óxido Cúprico

### 16.13.2 Obtención de Óxido Cuproso por Utilizando Clorhidrato de Hidroxilamina como Reductor:

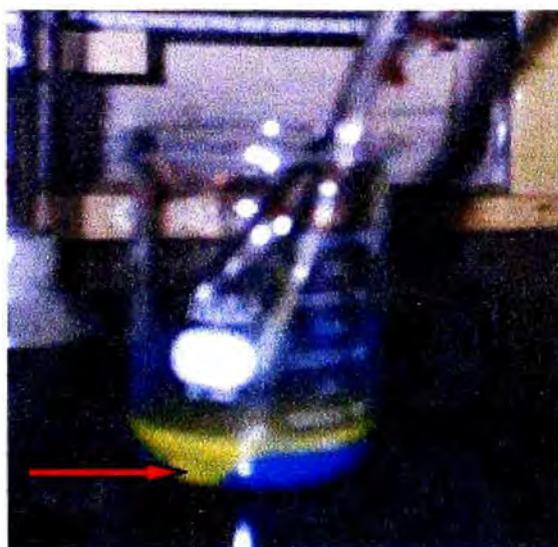


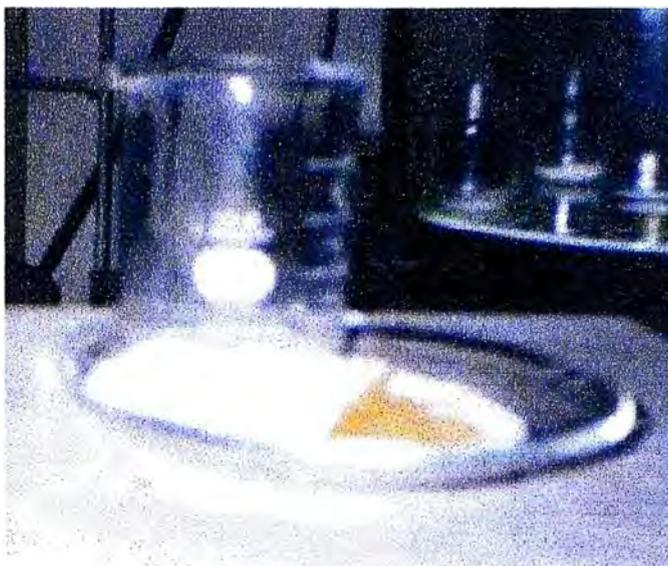
Foto M.7.- Formación de precipitado de hidróxido cuproso (señalado con la flecha), con un ligero desprendimiento de gas al agregar la solución de soda cáustica después de la solución de hidroxilamina.



Foto M.8.- Precipitado de hidróxido cuproso completamente formado.



**Foto M.9.-** Al calentar la solución con el precipitado, este cambia a un color naranja, mientras el desprendimiento de gas continúa.



**Foto M.10.-** Una vez terminada la reacción y habiendo filtrado el producto, se obtiene un precipitado naranja de óxido cuproso y una solución transparente de sulfato y cloruro de sodio.

### 16.13.3 Obtención de Óxido Cuproso por Utilizando Glucosa Monohidratada como

#### Reductor:



**Foto M.11.-** Obtención de hidróxido cúprico al agregar hidróxido de sodio a la mezcla de soluciones de sulfato de cobre pentahidratado y glucosa monohidratada, se puede observar que no se produce reducción.



**Foto M.12.-** Al calentar el hidróxido cúprico obtenido en presencia de la solución de glucosa monohidratada se puede observar que empieza a reducir el ión cúprico a cuproso por acción de la temperatura y se empieza a formar el precipitado de óxido cuproso que señalan las flechas.



Foto M.13.- Finalizada la reacción se obtiene un precipitado naranja de óxido cuproso en solución de sulfato de sodio y glucosa.



Foto M.14.- Al filtrar y secar se obtiene un producto de un color naranja intenso.

#### **16.13.4 Obtención de Óxido Cuproso por Reacción a Bajas Temperaturas:**



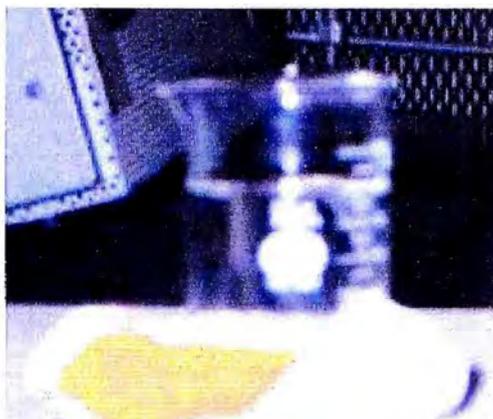
Foto M.15.- Primeramente se enfría la solución de sulfato de cobre pentahidratado antes de agregar el resto de reactantes que intervienen en la formación del óxido cuproso.



Foto M.16.- Al agregar las soluciones de hidróxido de sodio y de hidroxilamina se obtiene un precipitado verde (mezcla de hidróxido cúprico y cuproso) con un lento desprendimiento de gas (producto de la reacción).



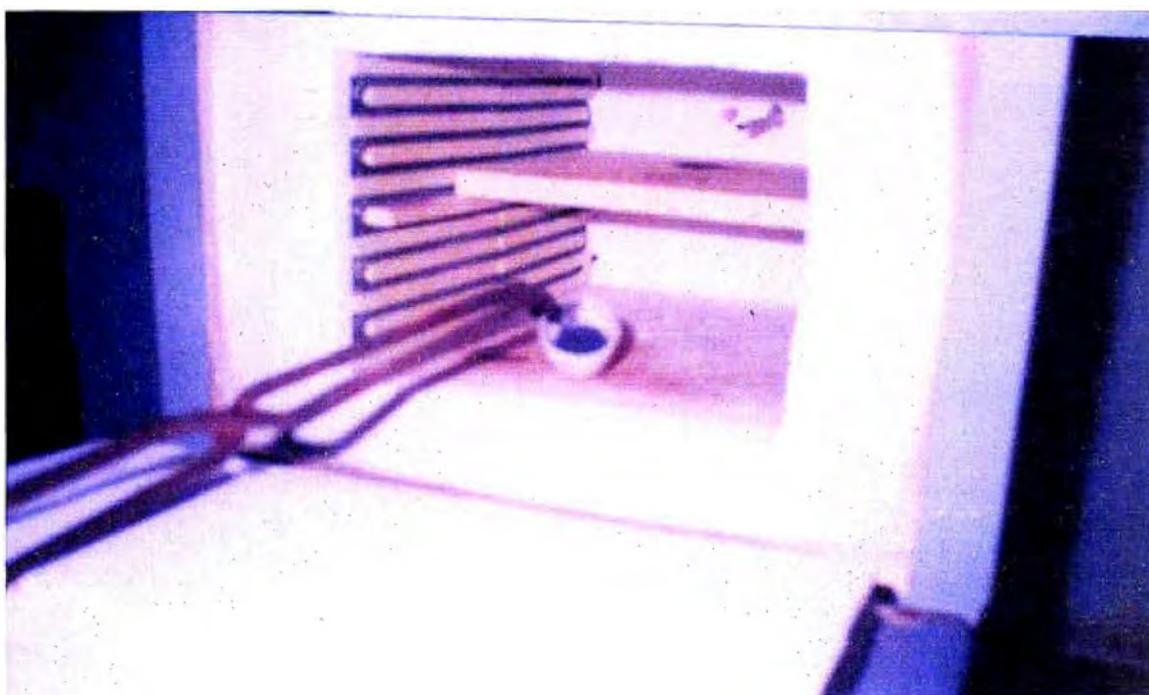
**Foto M.17.-** Luego de dos horas de reacción se obtiene el óxido cuproso de color naranja en solución de sulfato y cloruro de sodio.



**Foto M.18.-** Una vez realizada la filtración se tiene el precipitado de óxido cuproso y la solución transparente de sales de sodio.

### **16.13.5 Obtención de Óxido Cúprico por Calcinación de Sulfato de Cobre**

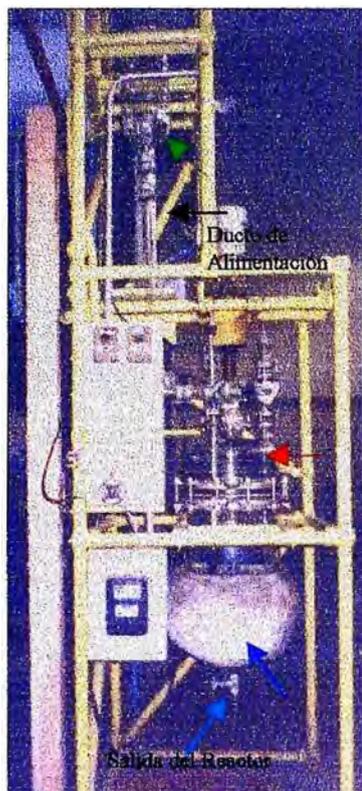
#### **Pentahidratado:**



**Foto M.19.-** Se pesa el sulfato de cobre pentahidratado en el crisol y se coloca en la mufla eléctrica a una temperatura de 800°C. Después de una hora y media de calcinación podemos observar el óxido cúprico obtenido, que es un sólido gris negruzco granulado.

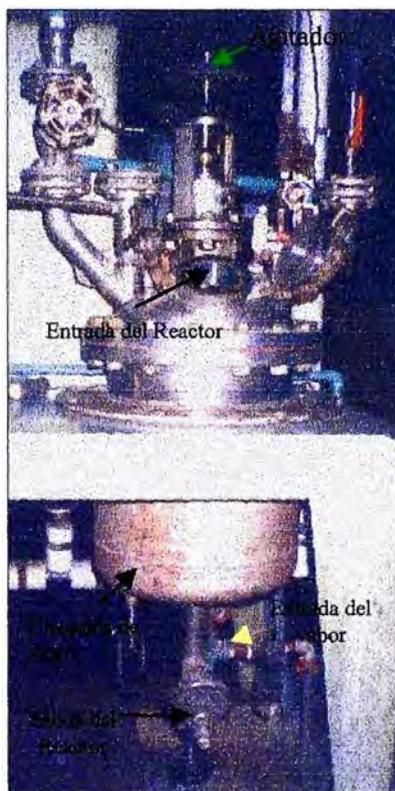
## 16.14 ANEXO N

### Fotografías de los Equipos Utilizados en las Pruebas a Nivel de Planta Piloto



**Foto N.1.-**  
Reactor de Vidrio Calentado con Resistencias Eléctricas

Este reactor consta de un tanque de vidrio (flecha roja), un juego de tres resistencias eléctricas (flecha azul), una tolva de vidrio con 5 L de capacidad (flecha verde). Este equipo fue utilizado para realizar algunas de las pruebas de obtención de óxido cúprico.



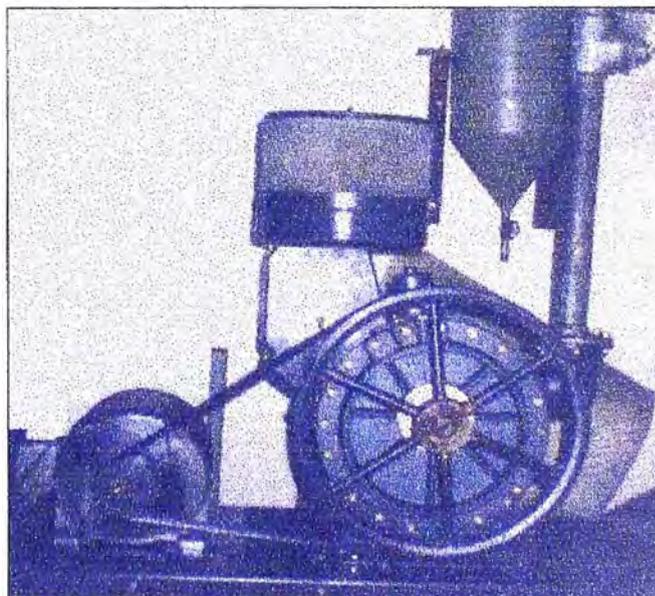
**Foto N.2.-** Reactor Enchafetado de Acero Inoxidable

Este equipo se utilizó para realizar las pruebas de obtención tanto del óxido cúprico como del óxido cuproso. Este consta de una chaqueta externa para el calentamiento con vapor de agua; internamente consta de un agitador, dos bufles, un conducto para la termocupla y un ducto para inyección de directa de vapor.



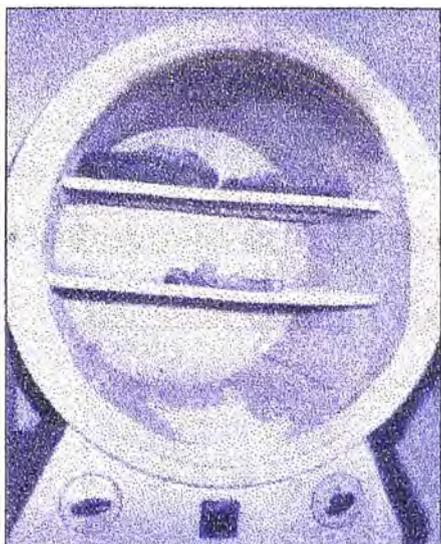
**Foto N.3.-** Equipo de Filtración al Vacío

Este equipo consta de un depósito tubular para el líquido filtrado (flecha roja), un kitasato de porcelana (flecha azul), un sistema de medición de volumen filtrado (flecha verde) y de presión (flecha celeste), este último por diferencia de altura de mercurio.

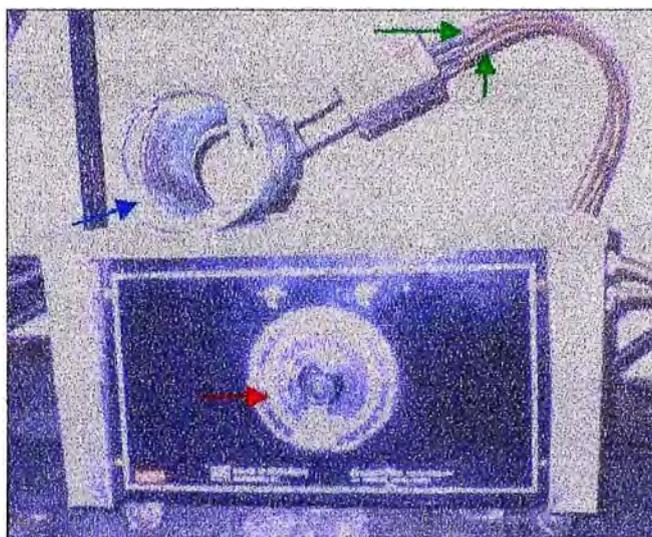


**Foto N.4.-** Bomba de Vacío

Esta bomba esta conectada al equipo de filtración al vacío, proporcionando a este un vacío de 23 pulg. de mercurio. Esta bomba tiene una potencia de 3 HP.



**Foto N.5.- Estufa Eléctrica**  
Esta estufa se utilizó para secar los productos obtenidos (el óxido cuproso una vez que se logró estabilizarlo con ácido acético).



**Foto N.6.- Equipo de Enfriamiento mediante Freón 12**

El presente equipo se utilizó en las pruebas de producción de óxido cuproso por precipitación a bajas temperaturas, para lograr obtener una temperatura de 5°C en la reacción. Este consta de un graduador de temperatura (flecha roja), un serpentín de enfriamiento (flecha azul) por el que circula el Freón 12 y ductos para la recirculación del refrigerante (flechas verdes).



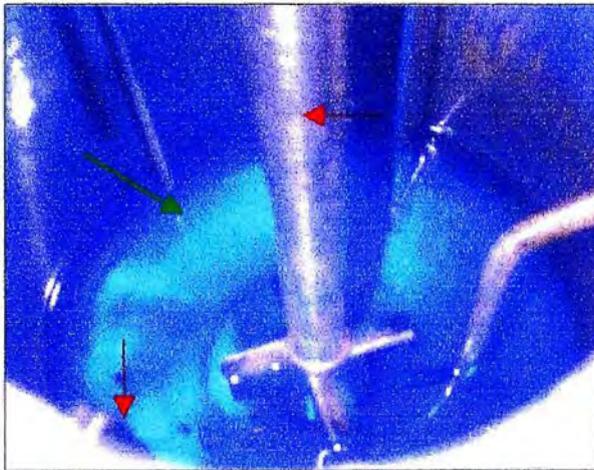
**Foto N.7.- Caldera APIN**

Esta caldera tubular genera vapor de agua a una presión de 80 psi, mediante la combustión de petróleo Diesel 2; la superficie total de 150 pie<sup>2</sup>, su capacidad continua es de 1035 lb/h y una presión de diseño de 150 psi

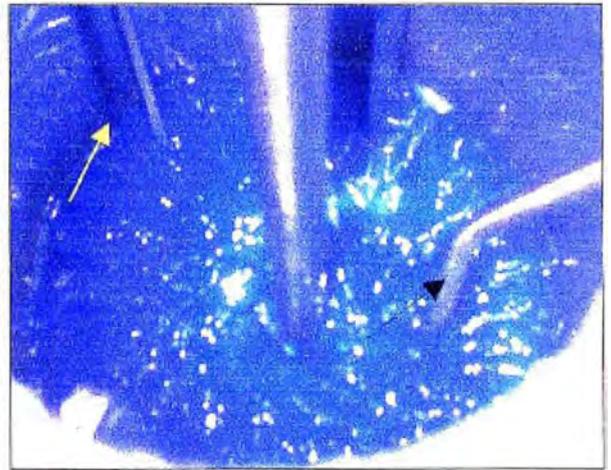
## 16.15 ANEXO Ñ

### Fotografías de las Pruebas Realizadas a Nivel de Planta Piloto

#### 16.15.1 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cúprico por Precipitación de Hidróxido Cúprico y Calentamiento:



**Foto N.1.-** Carga de solución de sulfato de cobre (5L) en el reactor enchaquetado de acero inoxidable. En esta foto se señalan los dos bujes (flechas rojas) que tiene el reactor y el agitador (flecha verde).



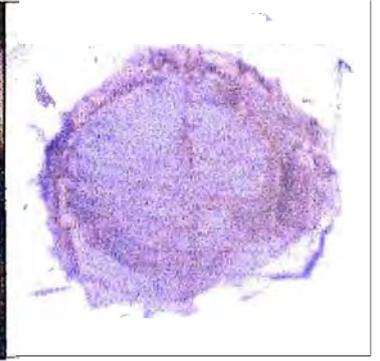
**Foto N.2.-** Formación del hidróxido cúprico (precipitado azul), luego de agregar el hidróxido de sodio (3,125L). En esta foto se señala el conducto de la termocupla (flecha amarilla) y el conducto de inyección de vapor directo (flecha negra), este último no se utilizó en las pruebas.



**Foto N.3.-** Después de producirse la reacción a 100°C se forma el óxido cúprico.



**Foto N.4.-** Una vez terminada la reacción se realiza la descarga del producto fuera del reactor.



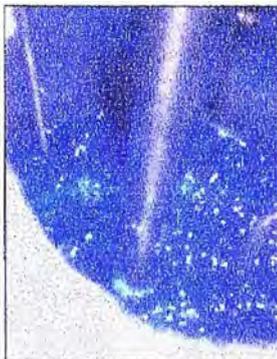
**Foto N.5.-** Después de filtrar el producto, se lleva a secar a la estufa.

## 16.15.2 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cuproso Utilizando

### Clorhidrato de Hidroxilamina como Agente Reductor:



**Foto N.6.-** Solución de sulfato de cobre (5L) agregada al reactor encaquetado, agitándose para homogenizar la concentración.



**Foto N.7.-** Al agregar la solución de hidróxido de sodio (5,3125L) se forma el precipitado azul de hidróxido cúprico.



**Foto N.8.-** Finalmente se agrega la solución de hidroxilamina (2,110L), produciéndose la formación del hidróxido cuproso (precipitado amarillo).



**Foto N.9.-** Se obtiene el óxido cuproso (precipitado de color naranja) como producto de la reacción a 100°C.

**Foto N.10.-** Terminada la reacción se procede a descargar el producto del reactor.

**Foto N.11.-** Finalmente, se filtra el producto, se enjuaga con ácido acético y agua, y se lleva a secar a la estufa.

### 16.15.3 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cuproso Utilizando Glucosa

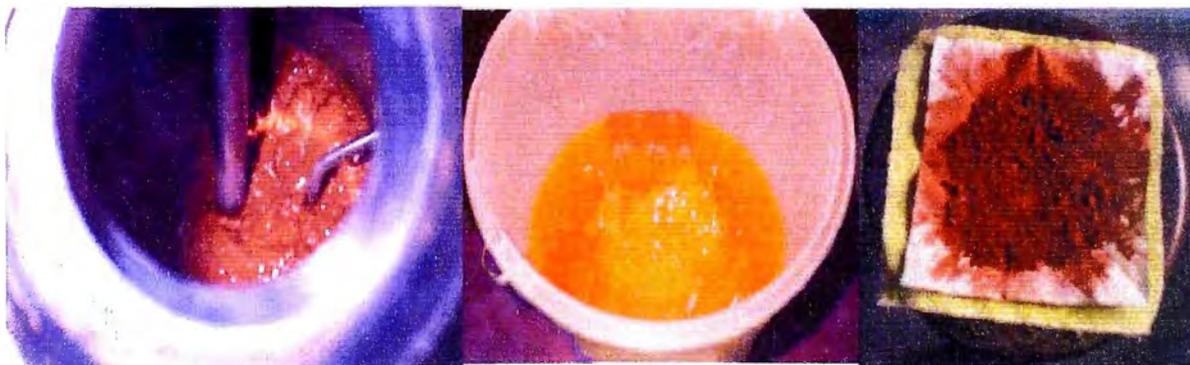
#### Monohidratada como Agente Reductor:



**Foto N.12.-** Se agregan a los 5L de solución de sulfato de cobre pentahidratado 1,3215L de solución de glucosa monohidratada.



**Foto N.13.-** Al agregar los 3,7143L de solución de hidróxido de sodio se produce la formación del precipitado de hidróxido cúprico. Se puede apreciar que sin proporcionar calor al sistema no se produce la reducción.



**Foto N.14.-** Al calentar la solución que contiene el hidróxido cúprico se produce la reducción del ion cúprico a cuproso por la acción reductora de la glucosa.

**Foto N.15.-** Se puede observar que el producto final es un precipitado de color naranja intenso y la solución tiene un ligero color naranja debido a la presencia de la glucosa.

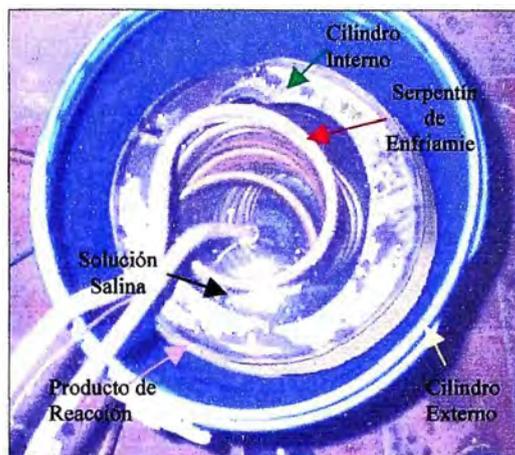
**Foto N.16.-** El producto final presenta estabilidad frente a la oxidación.

## 16.15.4 Desarrollo de las Pruebas de Producción de Óxido Cuproso por Precipitación a

### Bajas Temperaturas:



**Foto N.17.-** La fotografía muestra el sistema armado para la realización de las pruebas de producción de óxido cuproso a baja temperatura, siendo el equipo de refrigeración (Anexo N) el principal de este sistema.



**Foto N.18.-** El equipo mencionado en la primera fotografía consta también de un cilindro interno conteniendo una solución salina (medio de transferencia de calor con los reactantes) y el serpentín de enfriamiento, de un cilindro externo conteniendo los reactantes y el cilindro interno.



**Foto N.19.-** Debido a que el espacio para la reacción por este método es reducido y no se puede apreciar bien el producto de la reacción en la segunda fotografía mostrada, en la presente fotografía se puede observar una muestra del producto inicial de la reacción a baja temperatura.

**Foto N.20.-** En la fotografía superior se puede observar una muestra del producto final por el método de precipitación a baja temperatura (precipitado de óxido cuproso y solución de sulfato y cloruro de sodio).

**Foto N.21.-** El producto final es poco estable, al secar se oxida rápidamente.