

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO Y DISEÑO DE PLANTA DE LA  
FABRICACIÓN DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO UTILIZANDO  
HIDRÓXIDO DE SODIO LÍQUIDO EN REEMPLAZO DE HIDRÓXIDO DE  
SODIO SÓLIDO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**PAMELLA HARUMI KATO HIGUCHI  
NEREYDA LOZA CHARAJA**

**LIMA – PERÚ**

**2011**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO Y DISEÑO DE PLANTA  
DE LA FABRICACIÓN DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE  
SODIO UTILIZANDO HIDRÓXIDO DE SODIO LÍQUIDO EN  
REEMPLAZO DE HIDRÓXIDO DE SODIO SÓLIDO**

## **DEDICATORIA**

**Queremos dedicar esta Tesis a nuestras familias, por su invaluable apoyo y ayuda incondicional.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios por permitirnos culminar esta importante etapa en nuestras vidas.**

**A nuestro Asesor por su dirección y comprensión.**

**A las personas que hicieron posible el desarrollo de las Pruebas Experimentales, por su amabilidad y disponibilidad.**

**A todas aquellas personas que nos ofrecieron el soporte profesional y logístico que nos ayudó a finalizar nuestra Tesis.**

**Finalmente a todos los amigos que nos brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro de nuestros objetivos.**

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE TESIS.....</b>	<b>3</b>
1.1. <b>Objetivos Principales.....</b>	<b>3</b>
1.2. <b>Objetivos Secundarios.....</b>	<b>3</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>5</b>
3.1. <b>Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
3.2. <b>Características del Producto.....</b>	<b>7</b>
3.3. <b>Situación Actual.....</b>	<b>10</b>
3.4. <b>Reactivos de Flotación.....</b>	<b>11</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....</b>	<b>16</b>
4.1. <b>Definición de Xantatos.....</b>	<b>16</b>

<b>4.2. Características de los Xantatos.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.1. Características Físicas.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.2. Características Químicas.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.3. Reacciones Químicas.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Tipos de Xantatos.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4. Usos de Xantatos.....</b>	<b>27</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LOS INSUMOS.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. Alcohol Isopropílico.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. Hidróxido de Sodio.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3. Bisulfuro de Carbono.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4. Solvente.....</b>	<b>30</b>
<b>6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1. Síntesis de Laboratorio.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2. Sistema Experimental de Reacción.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2.1. Equipos usados.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2.2. Materiales de Laboratorio empleados.....</b>	<b>31</b>
<b>6.2.3. Reactivos utilizados.....</b>	<b>31</b>
<b>6.3. Cinética de las Reacciones.....</b>	<b>31</b>
<b>6.4. Pruebas Experimentales.....</b>	<b>34</b>
<b>6.5. Resultados Experimentales.....</b>	<b>35</b>
<b>6.6. Discusión de Resultados.....</b>	<b>37</b>
<b>6.7. Parámetros de Diseño de Reactor.....</b>	<b>39</b>
<b>6.7.1. Variación de la temperatura con respecto a tiempo.....</b>	<b>39</b>
<b>6.7.2. Balance de Masa a Nivel Laboratorio.....</b>	<b>39</b>

6.7.3. Balance de Energía a Nivel laboratorio.....	40
6.7.4. Velocidad de Reacción.....	41
6.7.5. Balance de Masa en el Reactor.....	45
6.7.6. Balance de Energía en el Reactor.....	45
<b>7. DISEÑO DEL PROCESO.....</b>	<b>47</b>
7.1. Proceso Químico.....	47
7.2. Enfoque y Base de Diseño.....	48
7.3. Descripción del Proceso Propuesto.....	49
7.4. Diagramas de Flujo.....	50
7.4.1. Diagrama de Flujo Esquemático.....	50
7.4.2. Diagrama de Flujo de Balance de Materia.....	51
7.4.3. Diagrama de Flujo de Balance de Energía.....	54
7.5. Diseño y Selección de Equipos.....	56
7.5.1. Diseño y Selección de Equipos para la Etapa de Reacción.....	56
7.5.1.1. Reactor.....	56
7.5.1.2. Chaqueta del Reactor.....	59
7.5.1.3. Bomba de Recirculación del Reactor.....	62
7.5.1.4. Condensador.....	63
7.5.2. Selección de Equipos para la Etapa de Separación.....	64
7.5.2.1. Filtro Centrífugo.....	64
7.5.2.2. Decantador.....	64

<b>7.5.3. Selección de Equipos para la Etapa de Secado.....</b>	<b>65</b>
7.5.3.1. Secador.....	65
7.5.3.2. Bomba de Vacío.....	66
7.5.3.3. Equipo de Depuración de Gases.....	66
7.5.3.4. Condensador.....	66
7.5.3.5. Decantador.....	67
7.5.3.6. Tolva.....	68
<b>7.5.4. Selección de Equipos Auxiliares.....</b>	<b>68</b>
7.5.4.1. Torres de Enfriamiento.....	68
7.5.4.2. Ablandadores.....	68
7.5.4.3. Bombas.....	69
7.5.4.4. Requerimiento de Energía Térmica.....	69
7.5.4.5. Tanques de Almacenamiento.....	70
<b>7.5.5. Requerimiento de Servicios Auxiliares.....</b>	<b>71</b>
7.5.5.1. Energía Eléctrica.....	71
7.5.5.2. Agua Potable.....	71
7.5.5.3. Agua de Alimentación de la Caldera.....	71
7.5.5.4. Combustible.....	72
<b>7.6. Distribución de Planta.....</b>	<b>72</b>
7.6.1. Resumen de Equipos.....	72
7.6.2. Distribución de Equipos.....	74
7.6.3. Distribución de Planta.....	74
7.6.4. Diagrama de Operación del Proceso.....	76
7.6.5. Secuencia de Operación de Equipos.....	76
<b>7.7. Instrumentación.....</b>	<b>78</b>

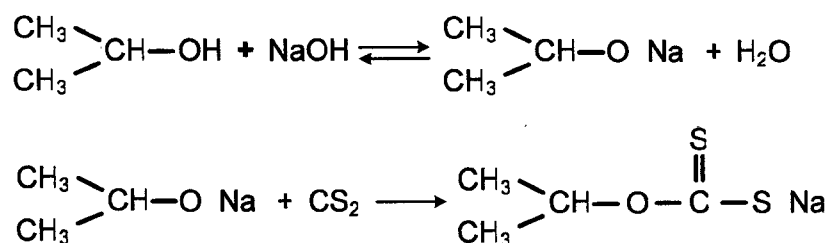


<b>7.8. Control de Calidad.....</b>	<b>84</b>
<b>7.8.1. Control de Insumos.....</b>	<b>84</b>
<b>7.8.2. Control durante el Proceso.....</b>	<b>84</b>
<b>7.8.3. Control de Producto Terminado.....</b>	<b>84</b>
<b>7.9. Localización de Planta.....</b>	<b>84</b>
<b>8. ASPECTO ECONÓMICO DEL PROCESO.....</b>	<b>85</b>
<b>8.1. Costos Directos.....</b>	<b>85</b>
<b>8.2. Costos Indirectos.....</b>	<b>85</b>
<b>8.3. Gastos Generales.....</b>	<b>85</b>
<b>8.4. Capital Necesario.....</b>	<b>86</b>
<b>8.4.1. Capital Fijo.....</b>	<b>86</b>
<b>8.4.2. Capital de Trabajo.....</b>	<b>86</b>
<b>8.5. Costo de Manufactura.....</b>	<b>86</b>
<b>8.6. Justificación Económica.....</b>	<b>87</b>
<b>8.7. Indicadores de Rentabilidad.....</b>	<b>88</b>
<b>8.8. Análisis de Sensibilidad.....</b>	<b>91</b>
<b>9. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y AMBIENTALES.....</b>	<b>95</b>
<b>9.1. Consideraciones de Seguridad.....</b>	<b>95</b>
<b>9.2. Impacto Ambiental.....</b>	<b>97</b>
<b>9.2.1. Emisiones.....</b>	<b>98</b>
<b>9.2.2. Efluentes.....</b>	<b>98</b>
<b>9.2.3. Tratamiento de Efluentes.....</b>	<b>99</b>

<b>9.3. Salud Ocupacional.....</b>	<b>99</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>11. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>

## RESUMEN

El presente estudio tiene como tema fundamental, la evaluación de la factibilidad del uso de Hidróxido de Sodio Líquido como insumo alternativo en la fabricación de Xantatos, cuya reacción es:



Este estudio fue realizado a nivel laboratorio en las instalaciones de una Planta de Xantatos de una empresa nacional, con el objeto de reducir al mínimo el uso de solvente en el proceso; para así reducir los costos de producción.

Mediante el proceso actual se obtienen Xantatos de Sodio utilizando Hidróxido de Sodio en escamas y/o microperlas, cuya procedencia normalmente es extranjera. El uso del insumo en estas presentaciones, conlleva a importantes tiempos de reacción y a cuidados especiales durante su fabricación; además es necesario el uso de solvente como medio de reacción lo que genera costos importantes de producción.

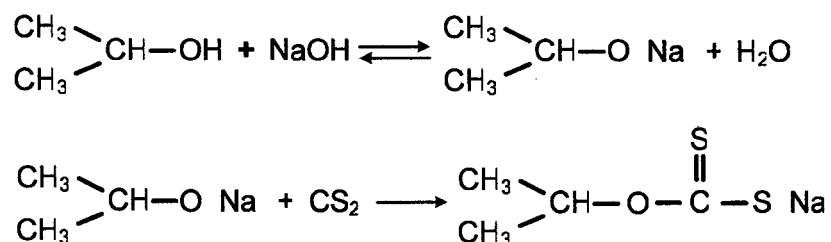
La evaluación de la factibilidad de uso de Hidróxido de Sodio Líquido está ligado a que traería consigo beneficios como la reducción de costos, al aumento de la productividad, a la mayor facilidad de manipulación de este insumo; y además a la reducción de los tiempos de procesamiento.

El estudio involucró la realización de pruebas a escala laboratorio, que permitieron determinar los diferentes parámetros del sistema, debido a que la reacción de formación de Xantatos de Sodio es exotérmica y además es sensible a la temperatura de proceso. En razón a tales características, se incluye el diseño y selección del equipamiento necesario para la aplicación de la alternativa en cuestión.

Finalmente, se efectúa el análisis económico de la propuesta planteada así como el respectivo análisis beneficio-costos que traería consigo la aplicación de la propuesta. Además, para concluir el estudio se plantean los aspectos tanto de seguridad como ambientales, ligados al nuevo proceso.

### ABSTRACT

This study has like fundamental theme, the evaluation of the feasibility of using liquid sodium hydroxide as an alternative feedstock in the manufacture of Xanthates, whose reaction is:



In order to minimize the use of solvent in the process, thereby reducing production costs; this study was made, at laboratory level in the Xanthates Plant of a national Company.

By the actual process, Sodium Xanthates are obtained using Sodium hydroxide flakes and / or microbeads, whose origin is usually foreign .The use of raw material in these presentations, lead to significant reaction time and special care during manufacturing; it is also necessary to use solvent as reaction medium, which generates significant costs of production.

The assessing the feasibility of using liquid sodium hydroxide is linked to that would bring benefits such as reduced costs, increased productivity, greater ease of handling of this raw material, and further reducing the time processing.

The study involves testing at laboratory scale to determine the various parameters of the system since the formation reaction of sodium Xanthate is exothermic and is increasingly sensitive to process temperature. Due to such features are include the design and selection of equipment necessary for the implementation of the proposed alternative.

Finally, we performed the economic analysis of the proposal put forward and the respective benefit-cost analysis that would entail the implementation of

the proposal. Moreover, to conclude the study, are raises issues of both security and environmental situations relating to the new process.

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

	<b>Página</b>
<b>Gráfico 1.</b> Costos de NaOH en MUS\$ para una Producción Anual de 5 835,0 TM.....	4
<b>Gráfico 2.</b> Solubilidad de algunos Xantatos comerciales.....	9
<b>Gráfico 3.</b> Descomposición de soluciones de Xantato Isopropílico de Sodio comercial.....	9
<b>Gráfico 4.</b> Comparación de Pureza y Rendimiento de las reacciones con NaOH sólido y NaOH líquido.....	35
<b>Gráfico 5.</b> Comparación de Pureza y Rendimiento de las reacciones realizadas con la Adición 1 y la Adición 2.....	36
<b>Gráfico 6.</b> Comparación de Pureza de las reacciones con diferentes porcentajes de Solvente.....	36
<b>Gráfico 7.</b> Comparación de Rendimiento de las reacciones con diferentes porcentajes de Solvente.....	37
<b>Gráfico 8.</b> Variación de la Temperatura con respecto al Tiempo en la Etapa de Adición.....	38
<b>Gráfico 9.</b> Variación de la Temperatura con respecto al tiempo de una prueba representativa.....	39
<b>Gráfico 10.</b> Flujo de Calor generado por la Reacción a nivel laboratorio.....	41

<b>Gráfico 11.</b>	De las pendientes de las tangentes, se obtienen los valores de $dC_A/dt$ .....	43
<b>Gráfico 12.</b>	$\log (-dC_A/dt)$ vs $\log C_A$ , la pendiente y la ordenada al origen proporcionan $n$ y $k$ .....	44
<b>Gráfico 13.</b>	Flujo de Calor generado por la Reacción en el Reactor.....	47
<b>Gráfico 14.</b>	Disminución del Costo de Manufactura por ahorro del Solvente.....	87
<b>Gráfico 15.</b>	Valor Presente Neto acumulado de Producción de Xantato Isoprílico de Sodio.....	90
<b>Gráfico 16.</b>	Análisis de Sensibilidad.....	94



**ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Clasificación de los Colectores de Flotación.....	13
<b>Figura 2.</b> Diagrama de Flujo del Proceso.....	48
<b>Figura 3.</b> Diagrama de Flujo Esquemático.....	51
<b>Figura 4.</b> Diagrama de Balance de Materia (1 Batch).....	52
<b>Figura 5.</b> Diagrama de Balance de Materia (24 horas).....	53
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Balance de Energía (1 Batch).....	54
<b>Figura 7.</b> Diagrama de Balance de Energía (24 horas).....	55
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Distribución de Equipos.....	74
<b>Figura 9.</b> Diagrama de Distribución de Planta.....	75
<b>Figura 10.</b> Diagrama de Operación del Proceso.....	76
<b>Figura 11.</b> Diagrama de Secuencia de Operación de Equipos.....	77
<b>Figura 12.</b> Diagrama de Instrumentación.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Características Comerciales del Xantato Isopropílico de Sodio.....	8
<b>Tabla 2.</b> Algunos valores de $pK_a$ para Xantatos.....	8
<b>Tabla 3.</b> Reactivos empleados en la flotación de los principales minerales metálicos.....	15
<b>Tabla 4.</b> Puntos de Fusión de algunos Xantatos Industriales importantes.....	18
<b>Tabla 5.</b> Solubilidad de xantatos alcalinos metálicos, en agua y alcohol.....	18
<b>Tabla 6.</b> Nomenclatura de algunos Ácidos Xánticos.....	24
<b>Tabla 7.</b> Balance de masa a nivel laboratorio.....	40
<b>Tabla 8.</b> Balance de Energía a nivel laboratorio.....	40
<b>Tabla 9.</b> Datos de una Prueba representativa.....	41
<b>Tabla 10.</b> Valores necesarios para la determinación de $n$ y $k$ .....	42
<b>Tabla 11.</b> Balance de masa en el Reactor.....	45
<b>Tabla 12.</b> Balance de Energía en el Reactor.....	46

<b>Tabla 13.</b>	Capacidad de los Tanques de Almacenamiento de Planta.....	70
<b>Tabla 14.</b>	Resumen de Equipos.....	73
<b>Tabla 15.</b>	Elementos y Costos para el Control de Secado.....	80
<b>Tabla 16.</b>	Elementos y Costos para el Control de la Reacción.....	81
<b>Tabla 17.</b>	Elementos y Costos para la Instrumentación general de la Planta.....	81
<b>Tabla 18.</b>	Elementos y Costos para la Supervisión de Interfase.....	82
<b>Tabla 19.</b>	Costos Directos.....	85
<b>Tabla 20.</b>	Costos Indirectos.....	85
<b>Tabla 21.</b>	Gastos Generales.....	85
<b>Tabla 22.</b>	Costo de Manufactura.....	86
<b>Tabla 23.</b>	Datos para la Evaluación de VPN y TIR.....	89
<b>Tabla 24.</b>	Datos para la Evaluación de la relación Beneficio/Costo.....	89
<b>Tabla 25.</b>	Variables para el Análisis de Sensibilidad.....	91
<b>Tabla 26.</b>	Resumen del Análisis de Sensibilidad.....	93

## INTRODUCCIÓN

La investigación aplicada en diferentes campos de los procesos de producción conduce permanentemente a la optimización de los mismos y a la generación de nuevos productos; en éste sentido se puede afirmar que la industria química cuenta con investigaciones a diferentes niveles, que se han venido plasmando en documentos patentados que hoy en día constituyen una importante fuente de información.

Los Xantatos, y en particular el Xantato Isopropílico de Sodio, son el centro de la presente investigación; debido a su importancia a nivel productivo por tratarse del Xantato más comercial, tanto en el mercado externo como en el interno, lo que se debe principalmente a sus propiedades colectoras como reactivo de flotación.

El objetivo principal es estudiar la factibilidad del uso de Hidróxido de Sodio, en solución acuosa al 50% en el proceso productivo de Xantato Isopropílico de Sodio lo que permitiría la disminución de los costos de producción. Sépase que en la actualidad el proceso usa tal insumo en estado sólido y éste debe ser importado, además se requiere del uso de solvente como medio de reacción; estas características son las que constituyen costos importantes.

Las pruebas requeridas para la investigación se realizaron siguiendo los métodos actuales de elaboración del producto en la empresa productora y se aplicaron los métodos de control interno de la misma, para poder evaluar la calidad del producto obtenido y compararlo con el conseguido durante el proceso productivo regular.

Otro aspecto que le suma importancia a ésta investigación, es la posibilidad de determinar el comportamiento cinético de la reacción de formación del Xantato Isopropílico de Sodio ya que actualmente no se cuenta con este tipo de información y que de poderse determinar abriría muchas posibilidades a futuras investigaciones. Como antecedente a ésta intención se debe saber que la reacción en mención ha sido poco estudiada a nivel cinético y termodinámico y sumado a ello se conoce de innumerables fuentes que los Xantatos en general son aunque en distinta medida, son susceptibles principalmente a la temperatura dentro de otros factores que serán mencionados y analizados.

En base a los resultados obtenidos en la investigación se reúnen datos que permiten establecer de manera preliminar las condiciones de operación del proceso permitiendo proponer los equipos adecuados para el proceso en mención; sin embargo, se requerirán pruebas futuras a nivel piloto para la confirmación de los resultados obtenidos.

Así mismo se debe precisar que no se cuenta con la autorización correspondiente para proporcionar la información facilitada por la Empresa Nacional, donde se realizaron las Pruebas Experimentales.

## **1. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE TESIS**

### **1.1. Objetivos Principales**

- Evaluación de la factibilidad de la obtención de Xantato Isopropílico de Sodio utilizando Hidróxido de Sodio Líquido.
- Diseño de Planta para el proceso de obtención de Xantato Isopropílico de Sodio a partir de Hidróxido Líquido.

### **1.2. Objetivos Secundarios**

- Realización de pruebas experimentales a nivel laboratorio, sustituyendo Hidróxido de Sodio Sólido por Hidróxido de Sodio Líquido, disminuyendo la cantidad de Solvente Orgánico utilizado en la reacción.
- Evaluación de la influencia del cambio de estado del Hidróxido de Sodio, en la calidad del producto.
- Determinación de la Velocidad de Reacción de la reacción de formación de Xantato Isopropílico de Sodio.
- Diseño y selección del Reactor necesario para la aplicación a nivel industrial, de la alternativa en cuestión.
- Elaboración del análisis económico de la propuesta planteada, así como el respectivo análisis beneficio-costos.

## 2. JUSTIFICACIÓN Y METODOLOGÍA

El presente estudio se justifica, por ser una alternativa técnica al proceso productivo de los Xantatos. Los principales aportes que el estudio brindará son: la Caracterización Cinética de la reacción de formación del Xantato Isopropílico de Sodio y el aumento de la productividad del proceso en mención.

El beneficio directo es la reducción de los costos de manufactura, inicialmente al usar Hidróxido de Sodio líquido en reemplazo del perlado o en hojuelas; el Costo de Insumos se reduce en un 19 % aproximadamente, según se muestra a continuación:

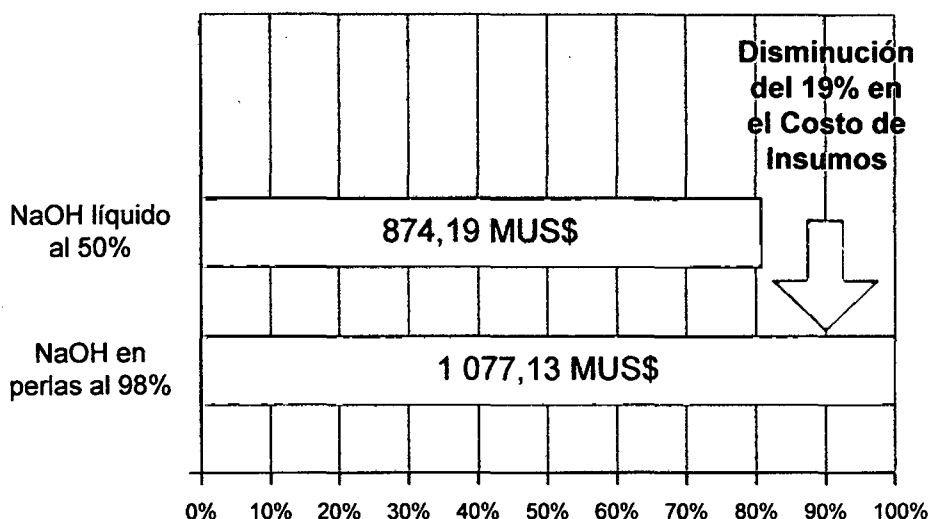


Gráfico 1. Costos de NaOH en MUS\$ para una Producción Anual de 5 835,0 TM.

El Gráfico anterior es de elaboración propia en base a datos de costos de insumos proporcionados por una empresa nacional; además, la base tomada para el cálculo es la cantidad de Hidróxido de Sodio al 50% anual requerido por la planta de producción propuesta, suponiendo que ésta opere a su máxima capacidad, caso en el que se lograría producir un total de 5 835,0 TM de Xantato Isopropílico de Sodio; por otro lado, la cantidad de Hidróxido de Sodio perlado es la equivalente.

El anterior no es el único beneficio; posteriormente, al establecerse la proporción adecuada, se determinará la disminución de los costos de manufactura referentes al solvente ya que la investigación también pretende estudiar la factibilidad de la disminución del volumen de solvente usado en el proceso.

La investigación se realiza a nivel experimental en base a los procedimientos establecidos en el proceso productivo actual; paralelamente se recurre también al respectivo control, similar al control interno practicado convencionalmente al producto, para luego aplicar técnicas comparativas que permitan valorar las características del producto obtenido en la investigación respecto al obtenido actualmente.

### **3. ASPECTOS GENERALES**

#### **3.1. Antecedentes**

La denominación de Xantatos proviene de la palabra griega "XANTOS" que significa amarillo y se refiere más bien al color de la sal de cobre que a las sales metálicas alcalinas. Desde la fecha de su descubrimiento por Zeise en 1822 hasta principios del presente siglo, los Xantatos no tenían aplicación comercial. Poco después del año 1900, la industria del caucho adoptó los Xantatos para usarlos en el curado y vulcanización del caucho, más tarde se encontró para estos compuestos algún empleo en la fabricación de textiles sintéticos y en la rama agrícola como fungicidas.

En 1923, Cornelius H. Keller descubrió lo que ha venido a constituir la aplicación más grande a escala para los Xantatos, su uso como colectores para la flotación de minerales sulfurados, como lo describe una patente americana de 1925<sup>1</sup>.

Las investigaciones entorno al proceso de manufactura de los Xantatos se han orientado a brindar distintas opciones y/o alternativas para proceso productivo; estos estudios se plasman en patentes y

---

<sup>1</sup> Obtenido de un documento interno de una Empresa Nacional.



artículos que datan desde la década de 1930. Se han propuesto distintas alternativas y/o métodos dentro de los que destacan: la obtención de Xantatos a partir de alcoholatos provenientes de alcoholes anhidros; manufactura de Xantatos retirando el agua luego de la formación del alcoholato o usando como medio de reacción compuestos inertes como solventes; obtención de Xantatos usando pellets de plástico como elemento adicional para favorecer la mezcla de la pulpa reactante; obtención de Xantatos empleando reacciones en fase vapor, estudio realizado por un grupo de científicos canadienses.

De información proveniente de estas patentes se sabe que la mayoría de los estudios no han sido llevados a escalas de producción industrial, sin embargo su principal aporte son datos como temperaturas, presiones y aspectos que constituyen elementos que favorecen o no la formación del producto.

Se pone énfasis en la susceptibilidad de los Xantatos a la temperatura ya que esto influye directamente en la calidad del producto final; pero existen distintas referencias al respecto. Atendiendo a estos datos y de acuerdo a las consideraciones tomadas en el proceso que constituye nuestra principal referencia, el Xantato se degrada a partir de los 85 °C y se recomienda mantener la reacción a temperaturas menores de 50°C, otros autores refieren temperaturas por debajo de los 40°C, desde 50°C hasta 120 °C, entre 25°C y 125 e incluso sería mucho más eficiente si se trabajara a temperaturas menores de 35°C.

En cuanto a la naturaleza termodinámica de la reacción, se sabe que se trata de una reacción exotérmica más no se ha encontrado datos sobre la cinética de la reacción. Una de las fuentes más importantes es un artículo elaborado por un docente de la Universidad de Los Andes de Venezuela, del que se toma como dato aceptado el valor del calor de reacción de formación del Xantato, además proporciona datos referentes a la pureza un 96% para Xantatos obtenidos a partir de Hidróxido de Sodio sólido y un 90% para los que se obtienen a partir de Hidróxido de Sodio líquido al 50%.

Alguna bibliografía refiere que los Xantatos deben ser almacenados herméticamente ya que esto mantendría prácticamente invariables

características como la pureza ya que puede degradarse al estar en contacto con oxígeno, además suele ser mínimamente alterado por la variación de la temperatura del ambiente<sup>2</sup>.

Actualmente han desarrollado alternativas tecnológicas para la producción de Xantatos a nivel industrial, que son aplicadas en plantas industriales alrededor del mundo en los que se obtienen Xantatos en diferentes presentaciones; en Kinawa (Australia) se producen Xantatos líquidos que son transportados en cisternas, en China y en Canadá se producen Xantatos en hojuelas y pellets; los métodos desarrollados son tanto continuos como el aplicado en Rusia (Srednieualisk) y por lotes como el producido actualmente en el Perú.

Para fines de ubicar a los Xantatos en el mercado tanto nacional como internacional; se debe mencionar que éstos están situados en la Sección VI que agrupa a los Productos de las Industrias Químicas, dentro del Capítulo 29 (Productos Químicos Orgánicos) y en el subgrupo al que pertenecen los Tiocarbonatos (Xantatos y Xantogenatos), de la clasificación del Código Arancelario<sup>3</sup>.

### **3.2. Características del Producto**

La presente investigación se orienta al estudio del Xantato Isopropílico de Sodio usado en la flotación de minerales, desde esta perspectiva, el producto debe cumplir con determinadas especificaciones, las que varían de acuerdo al requerimiento del mercado. La Tabla 1. muestra los intervalos de valores de las principales características comerciales que debe tener el Xantato para su comercialización como reactivo para flotación. Esta Tabla es de elaboración propia en base a datos proporcionados por una empresa nacional.

---

<sup>2</sup> [48]

<sup>3</sup> [50]

Características del Xantato Isopropílico de Sodio						
Pureza	:	84%	85%	88%	90%	95%
Humedad y Volátiles	:	10%	4%			
Álkali Libre	:	0,50%	0,20%			
Presentación	:	Polvo, pellets, flakes, gránulos, en solución				

**Tabla 1.** Características Comerciales del Xantato Isopropílico de Sodio.

Las características dependen directamente del método empleado en el proceso de manufactura. La pureza se ve afectada por la presencia de agua, debido principalmente a la solubilidad de los Xantatos, ésta depende como en la mayoría de los casos, de la temperatura (Gráfico 2.), también es afectada por la exposición al aire ya que absorbe humedad del ambiente formando dihidratos.

Xantato	$pK_a^a$	$pK_a^b$
metílico	2,07	
etílico	2,20	1,43
propílico	2,22	
1-metiletílico	2,44	
butílico	2,23	1,40
2-metiletílico	2,25	
hexílico		1,51
octílico		1,65

**Tabla 2.** Algunos valores de  $pK_a$  para Xantatos. [2], pág. 360

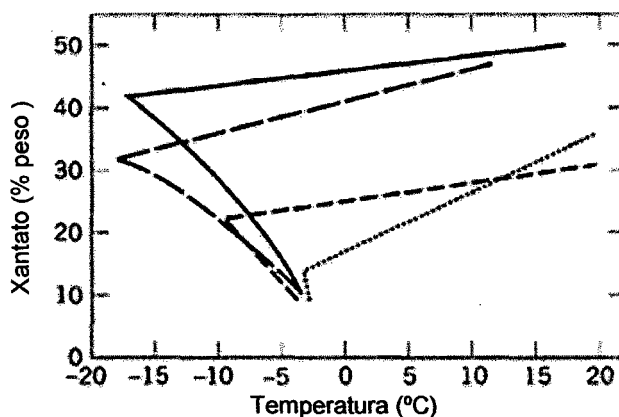


Gráfico 2. Solubilidad de algunos Xantatos comerciales. (—), Xantato Isobutílico de Sodio; (---), Xantato Etilico de Sodio; (· · ·), Xantato Isopropilico de Sodio; (— · —), Xantato Amílico de Potasio. [2], pág. 361

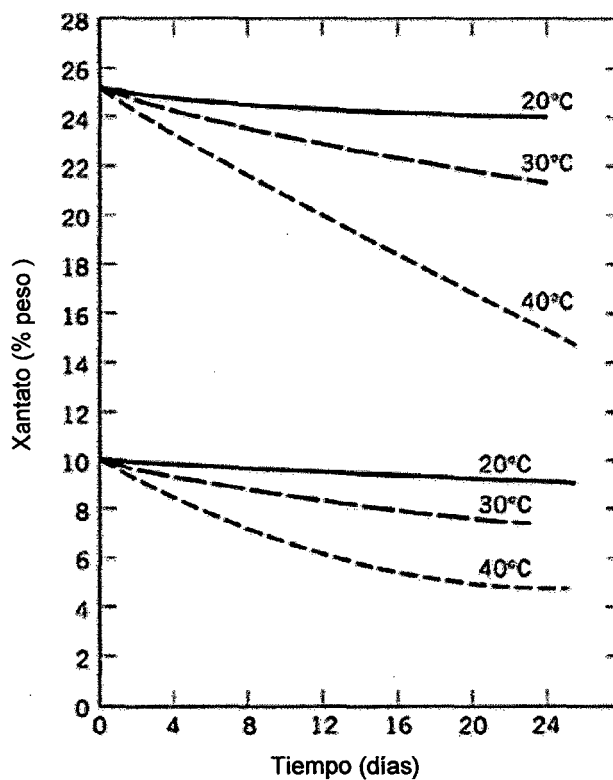


Gráfico 3. Descomposición de soluciones de Xantato Isopropilico de Sodio comercial. [2], pág. 362

Las consecuencias de la descomposición del Xantato no serían necesariamente un indicador de la reducción del poder colector de los Xantatos, y no se ha determinado aún una correlación de la pureza de los

Xantatos y las habilidades de éste en como colector, es más aparentemente algunos productos de la oxidación o descomposición de los Xantatos serían efectivos como agentes de flotación, lo que indicaría que su presencia promueve tal proceso.

### **3.3. Situación Actual**

Del total de la producción interna de Xantatos y específicamente del Xantato Isopropílico de Sodio por ser el más comercial; un 80% aproximadamente representa al consumo interno para fines del año 2007 y ya para el año 2008 y habiéndose incrementado los volúmenes de producción; el consumo interno fue aproximadamente del 60%. Lo que nos indica que los volúmenes de exportación habrían aumentado. A pesar de tal incremento, la creciente competencia en el mercado interno se ve marcada por el ingreso a éste de Xantatos importados a bajos precios; por esta razón además de la continua orientación hacia una mejora en la productividad del proceso productivo, se han generado proyectos de investigación en pro de la disminución de los costos de producción.

En el caso particular, del proceso productivo que se toma como base, el uso de solvente como medio de reacción es considerado como la principal causa del considerable costo de manufactura. Por otro lado, la materia prima con mayor costo en lo que se refiere a tiempo empleado y dificultad de manipulación, es el Hidróxido de Sodio, que viene siendo en microperlas y que además debe ser importada.

Así mismo, enfocando el mercado interno, para el Perú la minería constituye una actividad económica que va en continuo crecimiento, siendo los polimetálicos una de las variedades mineralógicas más abundantes. Los Xantatos son los colectores mas usados en el proceso de flotación; por lo que, nuestro país constituye un mercado importante. En el ámbito del comercio exterior, actualmente, el Perú tiene Convenios Internacionales y tratados de Comercio que favorecen la exportación e importación de este producto con países como: Colombia, Ecuador, Venezuela, Bolivia, Brasil, Chile, EE.UU., Canadá, Singapur y China.

### **3.4. Reactivos de Flotación**

La definición tradicional de flotación dice que es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección. En otras palabras, se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas.

Según esta definición, la flotación contempla la presencia de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está representada por las materias a separar, la fase líquida es el agua y la fase gas es el aire. Los sólidos finos y liberados y el agua, antes de la aplicación del proceso, se preparan en forma de pulpa con porcentaje de sólidos variables pero normalmente no superior a 40% de sólidos. Una vez ingresada la pulpa al proceso, se inyecta el aire para poder formar las burbujas, que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas.

Para lograr una buena concentración se requiere que las especies que constituyen la mena estén separadas o liberadas. Esto se logra en las etapas previas de chancado y molienda. Al aumentar el tamaño de la partícula, crecen las posibilidades de mala adherencia a la burbuja; en tanto que las partículas muy finas no tienen el suficiente impulso para producir un encuentro efectivo partícula burbuja.

Por su parte, la estabilidad de la burbuja dependerá del espumante agregado.

#### **Reactivos usados en la Flotación**

Los reactivos de flotación corresponden a sustancias orgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo físico-químico del proceso. Pueden clasificarse en:

- **Colectores**

Son sustancias orgánicas que se adsorben en la superficie del mineral, confiriéndole características de repelencia al agua.

La mayoría de colectores, son moléculas complejas; estructuralmente asimétricas, que tienen dos partes: una polar y otra no polar. La parte no polar de la molécula es un radical hidrocarburo, el cual difícilmente reacciona con los dipolos del agua y por lo tanto tiene propiedades fuertes para repeler el agua. En contraste a la parte no polar de la molécula, la parte polar puede reaccionar con el agua.

En la adsorción de estos colectores sobre la superficie del mineral, la parte no polar se orienta hacia la fase agua y la parte polar hacia la fase mineral. Esta orientación es lo que hace a la superficie mineral repelente al agua.

Los colectores se clasifican de acuerdo a su habilidad para disociarse en una solución acuosa y también, teniendo en cuenta el tipo de ión que produce el efecto de repulsión el agua. La estructura del ión repelente al agua, considerado ión activo, siempre involucra un radical hidrocarburo, cuya presencia asegura la repelencia del mineral al agua. Sin embargo, los hidrocarburos no son capaces de adherirse por sí solos, directamente a una superficie mineral. Por consiguiente la estructura del ion repelente, comprende también a un segundo grupo de átomos, para formar un enlace entre el hidrocarburo y la superficie mineral. Este grupo enlazante, es el llamado grupo solidofílico. El efecto de repelencia al agua, está directamente asociado con la longitud del grupo hidrocbonato, mientras que el grupo solidofílico controla, tanto la concentración, así como la selectividad de la adherencia del ión a la superficie mineral.

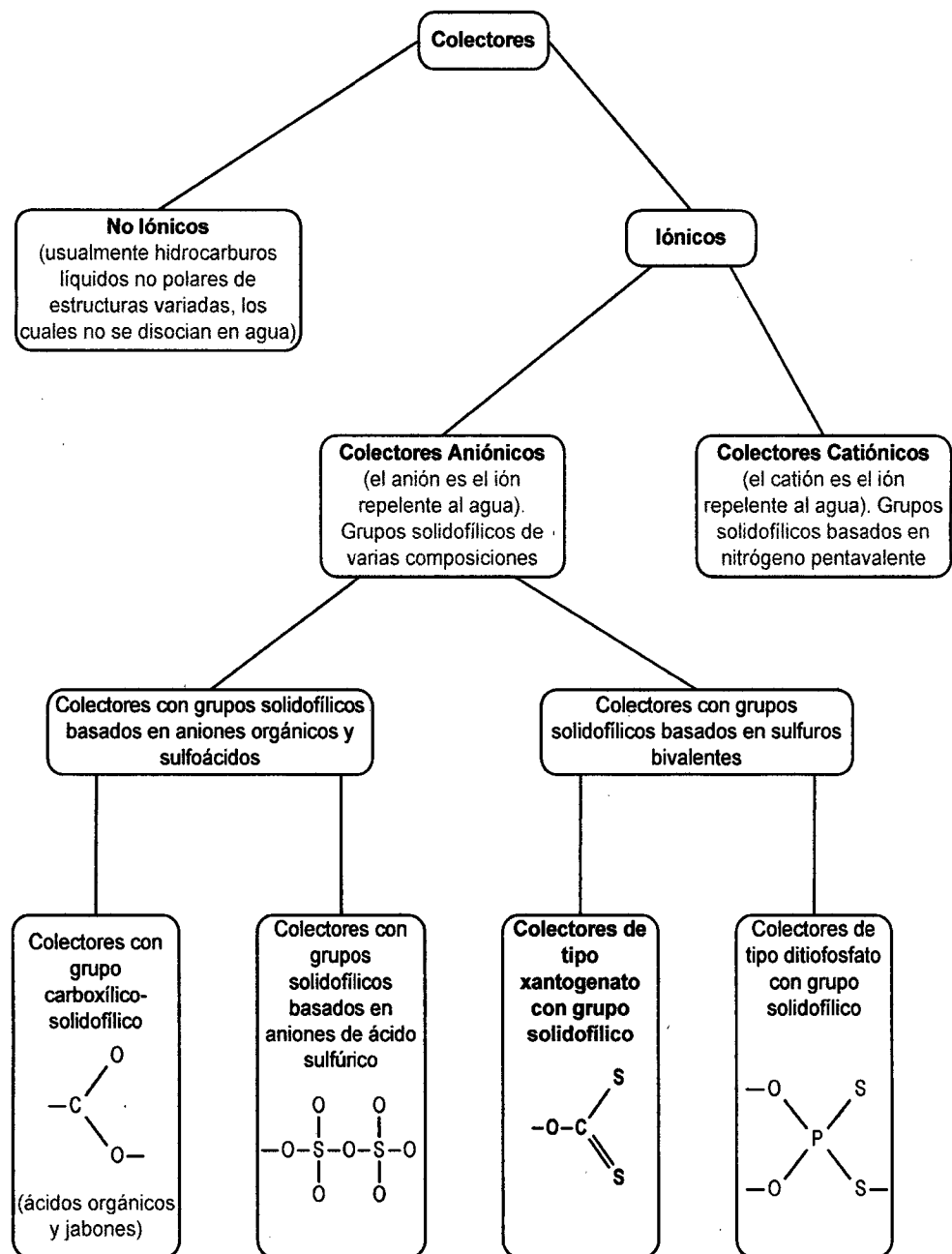


Figura 1. Clasificación de los Colectores de Flotación<sup>4</sup>.

Un considerable número de colectores aniónicos en uso, son destacables por su selectividad y su fuerte adherencia (usualmente por adsorción química) al mineral. Los xantogenatos son colectores aniónicos típicos.

<sup>4</sup> Obtenido de un documento interno de una Empresa Nacional.



- **Espumantes**

Son agentes tensoactivos que se adicionan con el objeto de:

- Estabilizar la espuma
- Disminuir la tensión superficial del agua
- Mejorar la cinética de interacción burbuja - partícula
- Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia)

- **Modificadores o Reguladores**

Los reactivos modificadores, por otro lado, se usan para intensificar o reducir la acción de los colectores sobre la superficie del mineral.

Se clasifican en:

- **Depresores:** inhiben o evitan la adsorción de un colector por un mineral y por lo tanto previene su flotación.
- **Activadores:** ayudan o mejoran la adsorción de un colector.
- **Modificadores de pH:** cambian la concentración del ión hidrógeno de la pulpa, lo cual tiene como propósito incrementar o decrecer la adsorción del colector, como se desee.

MINERAL	REACTIVOS		
	Espumante	Colectores	Modificadores
Plomo Oxidado Cerusita, Anglesita	Aceite de pino o Ácido Cresílico	Xantato de Amilo	Sulfuro de Sodio Silicato de Sodio
Plomo Sulfurado			
I) Galena sola	Ácido Cresílico o aceite de pino y creosota	Xantato o Aeroflat	Cal o Carbonato de Soda
II) Galena con blenda	Lo mismo	Lo mismo	Cianuro de Sodio con o sin Sulfato de Zinc
Zinc Sulfurado			
Blenda Marmatita	Aceite de pino o Acido Cresílico	Xantato de Etilo y/ o Aeroflat	Sulfato de Cobre, Cal (cuando hay Pirita)
Cobre Sulfurado Calcopirita Calcosina Bornita, Covelina etc	Aceite de pino	Xantato de Etilo y/ o Aeroflat	Cal Cianuro (cuando hay mucho Pirita)
Molibdenita	Aceite de pino	Xantato	Cianuro o Cal (cuando hay Pirita)
Cobre + Plomo + Zinc	Se flota primero un "Bulk" Cobre-Plomo, deprimiendo el Zinc con Cianuro. Luego se deprime el Plomo con Bicromato de Sodio		

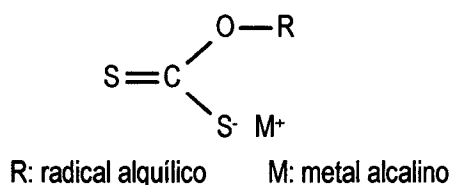
Tabla 3. Reactivos empleados en la flotación de los principales minerales metálicos<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Obtenido de un documento interno de una Empresa Nacional.

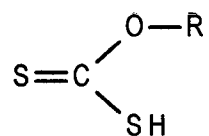
#### 4. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

##### 4.1. Definición de Xantatos

Los Xantatos son compuestos orgánicos, específicamente sales de los ácidos xánticos, y corresponden a la fórmula estructural siguiente:



Los ácidos xánticos, o ácidos xantogénicos, son compuestos con enlace de oxígeno, del ácido ditiocarbónico.



Los Xantatos conforman el principal grupo de colectores sulfhídricos. Son fabricados a partir de 3 elementos: bisulfuro de carbono, un álcali (hidróxido de sodio y potasio) y un alcohol (metanol, etanol, etc.).

Bajo condiciones favorables, son promotores excelentes para todos los minerales sulfurosos. En ausencia de agentes modificadores, su acción es esencialmente no selectiva,

Se les utiliza, incluso, en la flotación de minerales no férricos no sulfurosos (Cu, Pb, Sb), que pueden convertirse superficialmente en sulfuros, mediante agentes sulfurantes, como el Sulfuro de Sodio y Sulfuro ácido de Sodio.

También resultan adecuados para la flotación de metales nobles y no férricos (Pt, Au, Ag, Cu) naturales y obtenidos metalúrgicamente.

## **4.2. Características de los Xantatos**

### **4.2.1. Características Físicas**

- **Color**

Cuando son puros su color es casi blanco. El producto comercial, por exposición al aire, oscila desde blanquísimo, pasando por amarillos profundos hasta anaranjados, ésta característica no influye en su poder colector.

- **Olor**

Cuando son puros carecen de olor; el producto comercial normalmente presenta un olor característico, debido a una ínfima cantidad de mercaptanos.

- **Solubilidad**

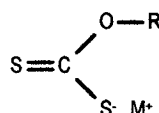
Los Xantatos de metales alcalinos son solubles en agua, alcoholes y cetonas de bajo peso molecular. Las soluciones acuosas son estables a temperatura ambiente.

No son muy solubles en disolventes no polares como el éter y la ligroína.

M	R	CAS N° Registro	Punto de Fusión, °C
K	CH <sub>3</sub>	[2667-20-1]	182-186
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	[140-89-6]	225-226
	n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	[2720-67-4]	233-239
	iso-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	[140-92-1]	278-282
	n-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	[871-58-9]	255-256
	iso-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	[13001-46-2]	260-270
Na	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	[140-90-9]	69-69,5
	iso-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	[140-93-2]	124
	n-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	[141-33-3]	71,5-75
	(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	[2540-36-5]	85-85,5
	(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>		99-99,5
	(CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>		106-107,2

Tabla 4. Puntos de Fusión de algunos

Xantatos Industriales importantes,  $S=C$

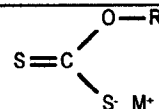


[2], pág. 360

M	R	Solubilidad, g/100 g solución			
		H <sub>2</sub> O (0 °C)	H <sub>2</sub> O (35 °C)	R-OH (0 °C)	R-OH (35 °C)
K	n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	43,0	58,0	1,9	8,9
	iso-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	16,6	37,2		2,0
	n-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	32,4	47,9		36,5
	iso-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	10,7	47,7	1,6	6,2
	(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	28,4	53,3	2,0	6,5
Na	n-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	17,6	43,3	10,2	22,5
	iso-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	12,1	37,9		19,0
	n-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	20,0	76,2		39,2
	iso-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	11,2	33,4	1,2	20,5
	(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	24,7	43,5	10,9	15,5

Tabla 5. Solubilidad de Xantatos

Alcalinos Metálicos en agua y alcohol,  $S=C$



[2], pág. 361

#### 4.2.2. Características Químicas

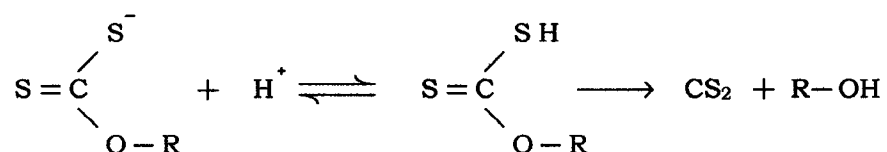
Los Xantatos se ofrecen en forma de perletas a fin de reducir el polvo durante su manejo y también para mejorar la estabilidad. Estas perletas han llegado a ser almacenadas por periodos de hasta 5 años, en un lugar fresco y seco, sin que el material pierda ninguna de sus propiedades colectoras. Sin embargo, no se recomienda almacenarlos por lapsos mayores de 1 año.

Los Xantatos en forma de polvo o en pequeños cristales, no suelen ser explosivos, pero arden con la misma intensidad que el azufre. Se descomponen fácilmente con el tiempo, en especial cuando están disueltos en agua. No son selectivos de un modo especial, ya que promueven la flotación de todos los sulfuros indiferentemente, no obstante, en proporciones reducidas, hacen flotar primero los sulfuros más susceptibles, pero si se usa en exceso, flotarán también los elementos indeseables, por ello, en la flotación diferencial o selectiva, los Xantatos se usan selectivamente pudiendo trabajar en circuitos alcalinos o ácidos, siendo mejor su rendimiento a pH mayor de 7.

Los Xantatos tienen poca o ninguna acción colectoras sobre los óxidos, silicatos o sales alcalinotérreas, lo cual permite una separación selectiva de sulfuros de las gangas minerales.

#### 4.2.3. Reacciones Químicas<sup>6</sup>

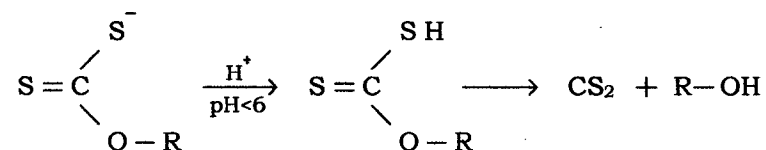
En presencia de sustancias polares los ácidos xánticos se descomponen fácilmente en bisulfuro de carbono y el alcohol correspondiente lo que acelera la descomposición autocatalítica.



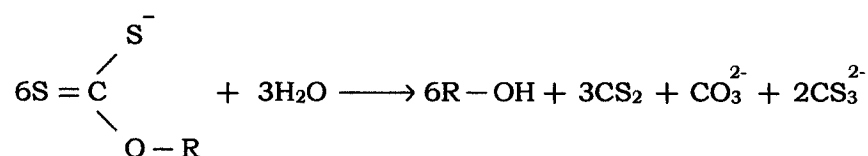
---

<sup>6</sup> [2], pág. 362-365

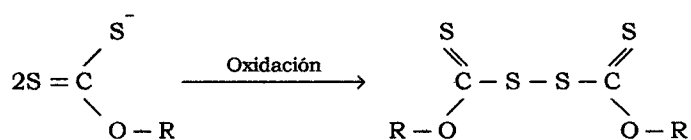
Además esta reacción es el segundo paso en la descomposición de Xantatos en soluciones acuosas ácidas:



En soluciones neutras y alcalinas, los Xantatos se hidrolizan de acuerdo con la siguiente reacción. El tritocarbonato formado además puede descomponerse en bisulfuro de carbono y sulfuro de hidrógeno.

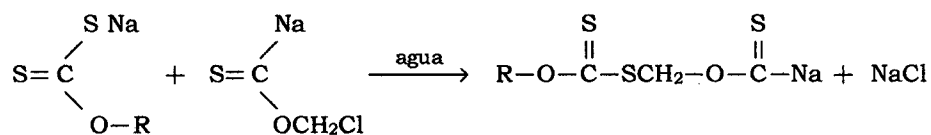


Los Xantatos son susceptibles a la oxidación, dando como resultado la formación de dixantatos.



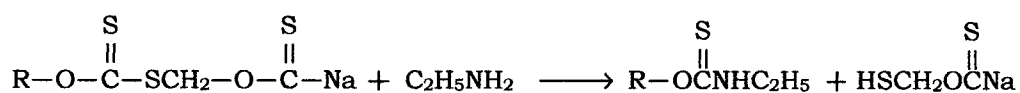
La oxidación puede llevarse a cabo con varios oxidantes como el oxígeno, cloro, bromo yodo, peróxido de hidrógeno, etc.

Los Xantatos de metales alcalinos reaccionan fácilmente con varios agentes alquilantes para formar S-ésteres.

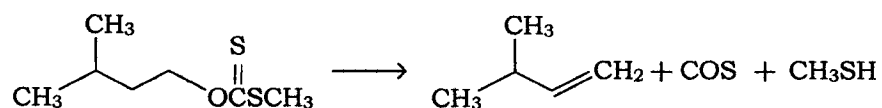


Las reacciones son exotérmicas y pueden requerir enfriamiento.

Los ésteres dialquílicos reaccionan fácilmente con amoníaco o alquilaminas para obtener los correspondientes tionocarbamatos y tioles. En general el calentamiento no es necesario. En la siguiente reacción, el tionocarbamato es el único material insoluble en agua y se separa en un aceite:



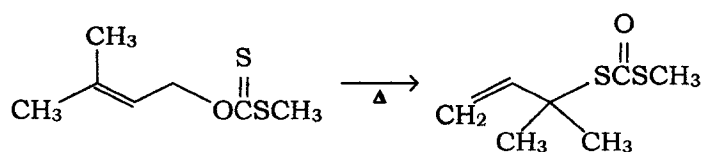
La reacción Chugaev o la descomposición térmica de los ésteres S-sustituídos de los Xantatos, genera olefinas sin modificarse. Por ejemplo:



Los ésteres derivados de los alcoholes primarios son los más estables, mientras que los derivados de alcoholes terciarios son menos estables.

La temperatura de descomposición es menor en solventes polares, por ejemplo el dimetil sulfóxido (DMSO), cuya descomposición ocurre a 20° C para ésteres derivados de alcoholes terciarios.

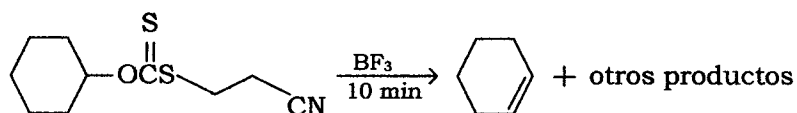
Los dobles enlaces en los grupos de los ésteres S- metil, pueden facilitar la isomerización al ditio éster. Por ejemplo:



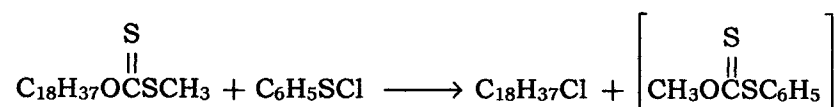
Un número de catalizadores de Pd (II), Pt (II), Rh (I) e Ir (I), promueve modificaciones en los ditiocarbonatos O-álílico- S-metil a 25°C.



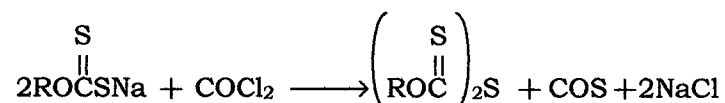
En procedimientos con temperaturas relativamente bajas, se forman fácilmente olefinas desde cierta clase de ésteres de Xantatos.



Las reacciones de los ésteres de Xantatos con algunos electrolitos débiles resultan con buenos rendimientos:

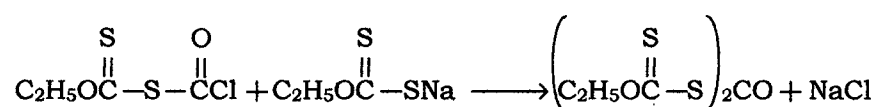
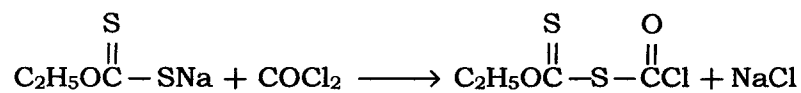


La reacción de fosgeno con una solución acuosa de xantato preferiblemente entre 15-20°C proporciona sulfuro anhídrico con buenos rendimientos:

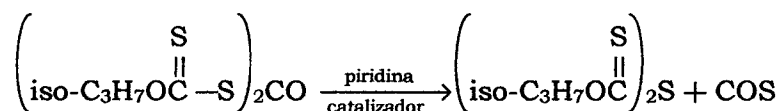


El sulfuro anhídrico formado es fácilmente separable.

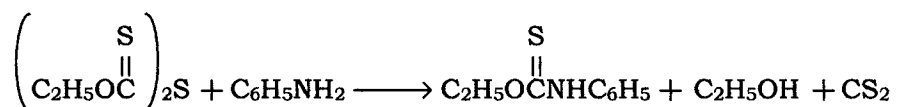
La reacción de los Xantatos con fosgeno procede según los siguientes pasos:



En la preparación de derivados isopropílicos estables, se ha encontrado la siguiente reacción:

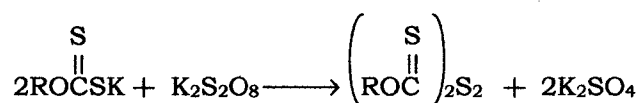
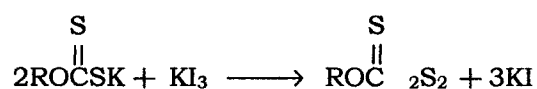


Los sulfuros anhídricos son usados en la preparación de tionocarbamatos, mediante el calentamiento de una arilamina en solución alcohólica:

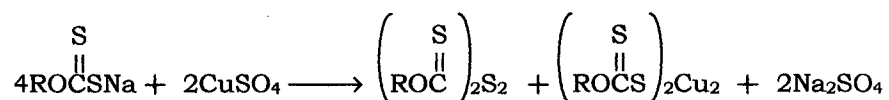


Este método hace que ya no se necesite la preparación del intermediario aril isotiocianato.

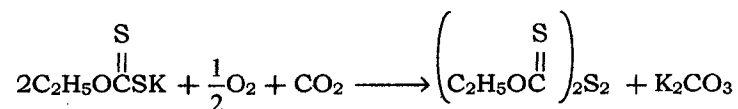
Muchos agentes oxidantes, incluyendo el Nitrato de Sodio, convierten los Xantatos de metales alcalinos al correspondiente dixantogenato.



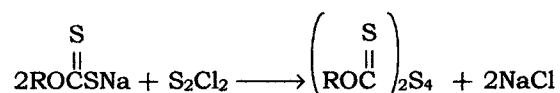
La reacción generalmente es llevada a cabo sin agua, y el dixantogenato resultante se separa como sólido o aceite. Las sales de cobre son también afectadas por la oxidación:



Se puede observar la reacción de otro xantato de metal alcalino que contiene dixantogenato, a continuación:



La siguiente reacción muestra la formación de un xantato sulfurado a temperatura ambiente:



### 4.3. Tipos de Xantatos

Existen numerosos tipos de Xantatos, en la siguiente Tabla se muestran algunos de ellos.

R	CAS N° Registro	Nombre común
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{CH}_3\text{OCSH} \end{array}$	[2042-42-4]	Ácido metilxántico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{OCSNa} \end{array}$	[140-90-9]	Xantato Etilico de Sodio
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{OCSCH}_3 \end{array}$	[623-54-1]	Xantato Etil Metílico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ (\text{C}_2\text{H}_5\text{OC})_2\text{S} \end{array}$	[2095-52-4]	Monosulfuro Xantogenato Dietílico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ (\text{C}_2\text{H}_5\text{OC})_2\text{S}_2 \end{array}$	[502-55-6]	Dixantogenato Dietílico
$\begin{array}{c} \text{S} \quad \text{O} \\    \quad    \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{OCSCOC}_2\text{H}_5 \end{array}$	[3278-35-1]	Formiato Xantogenato Dietílico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{OCNHCH}_3 \end{array}$	[817-73-2]	Metiltiono-Carbamato Etilico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{CH}_3\text{OCCI} \end{array}$	[2812-72-8]	Clorotiono-Formiato Metílico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{CH}_3\text{OCNHC}_6\text{H}_5 \end{array}$	[13509-41-6]	Feniltiono-Carbanilato Metílico
$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{OCSONH}_4 \end{array}$	[73085-96-8]	Perxantato Etilico de Amonio

Tabla 6. Nomenclatura de algunos Ácidos Xánticos. [2], pág. 359.

A continuación se mencionarán las características principales de los Xantatos más usados en la flotación de minerales<sup>7</sup>:

#### **4.3.1. Xantato Isopropílico de Sodio**

Este xantato ha llegado a ser el más ampliamente usado de todos los Xantatos debido a su bajo costo y elevado poder colector. Generalmente es un poco más lento que los Xantatos de etilo y a menudo puede sustituirse con una definida reducción en la cantidad y costo del colector requerido. Se han obtenido aplicaciones muy exitosas en la flotación de prácticamente todos los minerales sulfurados.

Se emplea en gran escala en la flotación de cobre, plomo y zinc; minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro, en los que los principales minerales sulfurados son calcopirita, calcocita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, pirita y pirrotita.

Otras de sus aplicaciones incluyen la concentración de cobre nativo, plata, oro y los sulfuros de hierro conteniendo cobalto y níquel, así como la recuperación de pirita de hierro para manufacturar ácido.

#### **4.3.2. Xantato Amílico de Potasio**

Este xantato es muy potente, por lo que se emplea generalmente en aquellas operaciones de flotación que requieren el más alto grado de poder colector.

Es un colector muy apropiado para la flotación de sulfuros manchados y oxidados de cobre, minerales de plomo (con NaS). Asimismo, se le emplea en el tratamiento de la arsenopirita, pirrotita, sulfuros de cobalto y níquel, y sulfuros de hierro conteniendo oro. También se usa como promotor secundario en la flotación agotativa que sigue a una flotación "bulk", donde se utiliza un promotor más selectivo.

---

<sup>7</sup> Obtenido de un documento interno de una Empresa Nacional.

Cuando se le emplea en las dosis adecuadas, el Xantato Amílico puede ser más selectivo para ciertas separaciones minerales.

Así por ejemplo para la flotación de minerales de cobre-hierro en una pulpa alcalina de cal ha resultado en una selectividad superior de cobre-hierro, así como una mejor recuperación de cobre.

#### **4.3.3. Xantato Etilico de Potasio y de Sodio**

Estos dos Xantatos son esencialmente similares en su acción como colectores en flotación, observándose cierta preferencia por el primero. Ambos se preparan a partir del alcohol etílico y siendo ellos de cadena carbonada más corta, se les aplica especialmente cuando se busca la máxima selectividad.

Últimamente están siendo reemplazados ampliamente por el Xantato Isopropílico de Sodio, aunque todavía se les utiliza principalmente en flotación de minerales de plomo-zinc o cobre-plomo-zinc que contiene calcopirita, calcocita, enargita, tetraedrita, galena, esfalerita, marmatita, marcasita y pirita.

#### **4.3.4. Xantato Butílico Secundario de Sodio**

Este xantato es utilizado ampliamente en la flotación conjuntativa de todos los minerales sulfurosos y, bajo condiciones adecuadas, para la flotación selectiva de menas de cobre y zinc, después de la activación con sulfato de cobre.

También es usado en la flotación de arsenopirita y sulfuros de cobalto y níquel.

#### **4.3.5. Xantato Isobutílico de Sodio**

Este xantato es un promotor muy enérgico y no-selectivo para todos los minerales sulfurosos.

Es muy apropiado para la flotación de pirita en circuitos naturales, o sea los circuitos en los que el pH no ha sido ajustado con cal ni con ácido.

En años recientes viene siendo reemplazado por el Xantato Isopropílico de Sodio.

#### **4.4. Usos de Xantatos<sup>8</sup>**

##### **4.2.1. Agentes de Flotación**

El principal uso de los Xantatos de metales alcalinos es como colectores en la flotación de minerales sulfurosos y los elementos metálicos tales como cobre, plata y oro, así como un buen número de metales oxidados de cobre y plomo.

Desde su introducción en la flotación en 1925, han sido publicadas muchas patentes y artículos que demuestran su gran aplicación en este sector.

La flotación generalmente se lleva a cabo en una pulpa alcalina, aunque en algunos casos suelen usarse pulpas ligeramente ácidas. Los Xantatos tienden a descomponerse en soluciones con un pH muy inferior a 6.0.

Los Xantatos son sustancialmente no espumantes, por lo que pueden emplearse en la cantidad necesaria sin el peligro de producir espumación excesiva. Por esto, usándolos en combinación con agentes espumantes no colectores, se logra un control altamente flexible de la acción colectora y espumante, lo cual permite un manejo ventajoso de los cambios de mineral durante la flotación.

Puesto que son fácil y completamente solubles en agua, los Xantatos pueden alimentarse en cualquier concentración deseada. Generalmente se usan soluciones al 5 y 10%.

##### **4.2.2. Xantatos de Celulosa**

Son los Xantatos más importantes. Son usados como el material inicial en la manufactura del celofán y fibras viscosas.

---

<sup>8</sup> [2], pág. 367.

#### **4.2.3. Polimerización**

Los derivados de los Xantatos son utilizados en los procesos de polimerización como reguladores y fotoiniciadores en la síntesis de copolímeros.

#### **4.2.4. Aditivos para Aceites Lubricantes**

Varios Xantatos dialquílicos son usados para activar los aditivos para aceites lubricantes. Por otra parte los complejos xánticos de molibdeno y vanadio son solicitados como aditivos lubricantes.

#### **4.2.5. Industria Fotográfica**

Algunos derivados de los Xantatos son usados en la preparación de material electrofotográfico como promotor del color y acoples fotográficos.

#### **4.2.6. Pesticidas y Químicos Agropecuarios**

Ciertos Xantatos y sus derivados son recomendados como fungicidas, insecticidas y herbicidas.

#### **4.2.7. Industria Farmacéutica**

Algunos Xantatos pueden tener efectos farmacéuticos como antihipertensivos, antivirales, analgésicos, además de actividad antibiótica. Asimismo son utilizables como intermediarios en la preparación de medicamentos.

#### **4.2.8. Fabricación de gomas**

Los Xantatos son usados como antioxidantes y aceleradores en la vulcanización de las gomas.

#### **4.2.9. Química Ambiental**

Trazas de metales pesados en lodos pueden ser removidas vía precipitación con Xantatos.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LOS INSUMOS

### 5.2. Alcohol Isopropílico<sup>9</sup>

También llamado isopropanol ó 2-propanol, es un alcohol alifático secundario, altamente volátil, que tiene diversos usos: como solvente, producto de limpieza, desinfectante y en productos cosméticos así como materia prima en diferentes síntesis a nivel industrial. Tanto a nivel industrial como en el hogar puede combinarse o usarse como sustituto del etanol, metanol o etilenglicol.

### 5.3. Hidróxido de Sodio<sup>10</sup>

El hidróxido de sodio anhidro así como en solución acuosa son sustancias altamente corrosivas. En forma general se produce por electrólisis de soluciones de cloruro de sodio o por la reacción de carbonato de sodio con hidróxido de calcio.

Normalmente, las aplicaciones de hidróxido de sodio requieren de soluciones diluidas. Se usan en la manufactura de jabones, detergentes, papel, explosivos, productos del petróleo y en la industria química en general.

### 5.4. Bisulfuro de Carbono<sup>11</sup>

Es un sulfuro orgánico altamente volátil. Antiguamente se fabricaba utilizando una mezcla de carbón, azufre y madera, los procesos modernos usan gas natural y azufre.

Es un disolvente ideal para gomas, aceites, ceras, azufre y fósforo, pero se usa cada vez menos por su elevada toxicidad e inflamabilidad. A nivel industrial se usa en la vulcanización del caucho y la fabricación de Xantatos y de viscosas.

---

<sup>9</sup> [35]

<sup>10</sup> [2]

<sup>11</sup> [2]



### 5.5. Solvente<sup>12</sup>

El solvente utilizado como medio de reacción, es el conocido comercialmente como Solvente N°1. Es un solvente alifático, derivado del petróleo, se obtiene mediante operaciones de refinación y destilación, que le otorgan gran estabilidad química y volatilidad controlada. Esta considerado como un solvente de rango de destilación mediano.

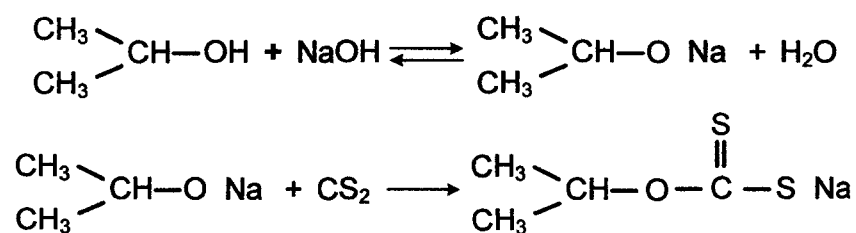
Empleado en la industria del caucho por su selectividad, también es ampliamente utilizado en la fabricación del thinner y pinturas por alto poder solvente y se usa como limpiador quitamanchas.

## 6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

### Síntesis de Laboratorio

#### Reacciones

La formación de Xantato Isopropílico de sodio, se lleva a cabo mediante las siguientes reacciones:



### Sistema Experimental de Reacción

#### Equipos usados

- Reactor de Vidrio Enchaquetado
- Agitador IKA
- Sensor de Temperatura

---

<sup>12</sup> [53]

- Registrador
- Indicador
- Equipo de Análisis de Humedad
- Bomba de vacío
- Cronómetro

#### **Materiales de Laboratorio empleados**

- Embudo Büchner
- Kitasato
- Matraz o Fiola de Casia
- Pera de Decantación
- Erlenmeyers
- Vasos de precipitado
- Buretas
- Pipetas
- Probetas
- Morteros
- Cristalizadores
- Embudos

#### **Reactivos utilizados**

- Ácido Clorhídrico 0,5 N
- Hidróxido de Potasio 0,5 N
- Cloruro de Bario al 15%
- Acetona Industrial
- Hidróxido de Sodio 0,1 N
- Indicador Ácido-Base Fenolftaleína
- Indicador Ácido-Base Rojo de Metilo

#### **Cinética de las Reacciones**

La reacción de formación de Xantato Isopropílico de Sodio es una reacción homogénea y exotérmica en la que el Hidróxido de Sodio es el

reactivo limitante. En los procesos industriales conocidos la reacción ocurre en dos etapas:

- I. Formación de Alcoholato
- II. Formación del Xantato a partir del alcoholato

Estas etapas según estudios "pueden ser ejecutadas en forma consecutiva ó simultánea" No se han encontrado referencias sobre la cinética de estas reacciones por lo que se desconoce el orden de la reacción y la velocidad de reacción. Sin embargo, se obtuvo un documento<sup>13</sup>, en el que se hace referencia a las energías de formación e incluso habla de la Energía de activación y de la temperatura de descomposición del xantato:

*"La reacción (II) es de segundo orden con una energía de activación de 16,3 Kcal/mol. El calor de reacción de (I) es de 2,0 Kcal/mol y el de (II) es de 12,5 Kcal/mol. Con hidróxido de sodio sólido se obtiene un producto 96% de xantato. Con hidróxido de sodio 50% en solución acuosa un producto de no menos 90% de xantato.*

*La velocidad del proceso queda limitada por la eliminación del calor generado en (II) debido a que el producto se descompone en forma apreciable a temperaturas superiores a 55°C."*

Considerando estos datos se estimará la velocidad de reacción que representa el proceso, para lo cual convencionalmente se recopilan datos que relaciona el tiempo de reacción con la cantidad de productos formados o la cantidad de reactivo limitante que se consume, esto a nivel experimental y posteriormente se busca una ecuación que los relacione adecuadamente utilizando los métodos de aproximación existentes, para llegar así a la relación que describirá la evolución de proceso químico; tal relación será finalmente la que brinde parámetros específicos y básicos para el diseño del o los equipos industriales.

Para reactores por lotes de Volumen constante; lo que refiere el volumen de la mezcla reaccionante constante y por ende un "sistema

---

<sup>13</sup> Pertenece a una Empresa Nacional.

reaccionante constante”, la medida de la velocidad de reacción del componente “i” se expresa como sigue:

$$r_i = \frac{1}{V} * \frac{dN_i}{dt} = -\frac{dC_i}{dt} \quad (1)$$

Donde:

$r_i$ : velocidad de desaparición de la especie “i” por unidad de volumen

V: volumen del reactor

$N_i$ : moles del reactante “i”

T: temperatura

$C_i$ : concentración del reactante “i”

Los métodos convencionalmente usados para el análisis y determinación experimental de la velocidad de reacción son: el método diferencial y el método integral; sin embargo, si se trata de reacciones reversibles en general, la determinación de la ecuación cinética se efectúa mejor por el Método Diferencial.

#### Método Diferencial:

Emplea directamente la ecuación diferencial a ensayar, incluyendo todos los términos de la ecuación (1), el procedimiento es el que sigue:

- a. Se grafican los datos experimentales de  $C_i$  vs tiempo y se ajustan a una curva.
- b. Determinar la pendiente de la curva para varios valores de concentración. Estas pendientes son las velocidades de reacción para cada concentración tomada.
- c. Finalmente se prueba ajustar los logaritmos de los datos obtenido a una ecuación de velocidad de reacción de orden “n”, de la forma:  
 $-r_i = k * C_i^n$  u otra forma en particular, en la que k es una constante.

### **Pruebas Experimentales**

Se realizaron 67 Pruebas Experimentales. Se realizaron 48 Pruebas Experimentales certificadas y 32 Pruebas adicionales para acreditar la repetitibilidad.

Las primeras, fueron para la familiarización con el Sistema Experimental y para determinar el tipo de Adición de Insumos.

Se consideraron los siguientes tipos de Adición:

#### Adición 1:

- Solvente
- Alcohol Isopropílico
- Hidróxido de Sodio
- Bisulfuro de Carbono

#### Adición 2:

- Solvente
- Alcohol Isopropílico
- Bisulfuro de Carbono
- Hidróxido de Sodio

Las siguientes Pruebas fueron realizadas siguiendo la Adición 1.

Para realizar el control de calidad del producto terminado, se consideró como parámetros a la Pureza y al Rendimiento. La primera, siguiendo el Método de Hirschkind (ácido – base) y la segunda mediante la relación entre la cantidad de producto experimental y la cantidad de producto teórico.

Las Pruebas Experimentales se agruparon en 7 Series de Pruebas:

#### Volumen Constante

- Serie de Pruebas N° 1: “Prueba Preliminar”
- Serie de Pruebas N° 2: “Determinación del tipo de adición”
- Serie de Pruebas N° 3: “Soda sólida vs Soda líquida”
- Serie de Pruebas N° 4: “Determinación de la cantidad de Solvente”

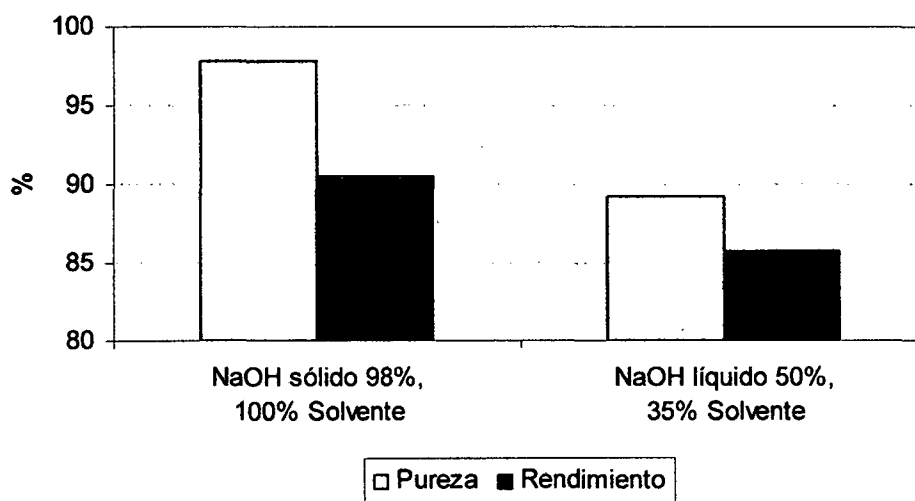
### Masa de Insumos Constante

- Serie de Pruebas N° 5: "Determinación de la cantidad de Solvente"
- Serie de Pruebas N° 6: "Evaluación de la Temperatura"
- Serie de Pruebas N° 7: "Determinación de la Velocidad de Reacción"

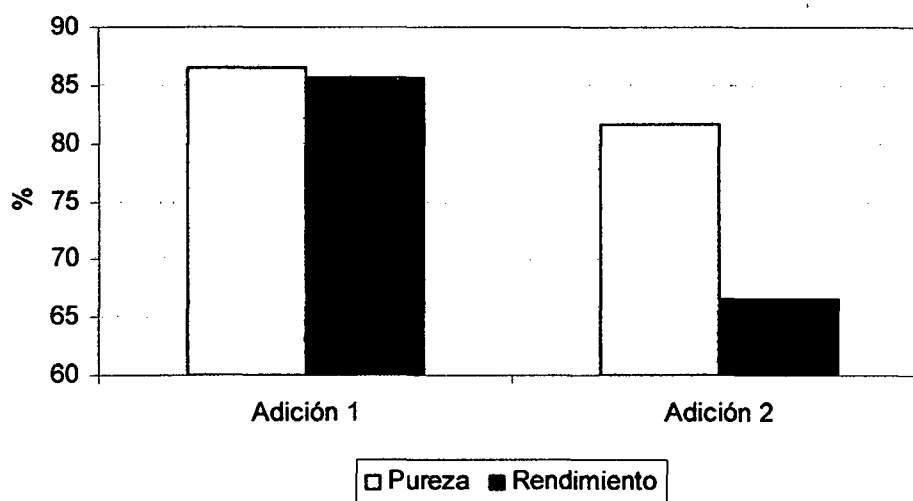
Las condiciones de operación, objetivos, observaciones y conclusiones de las Pruebas realizadas, se muestran en el Anexo D.

### **Resultados Experimentales**

Los resultados obtenidos se muestran en los siguientes gráficos:

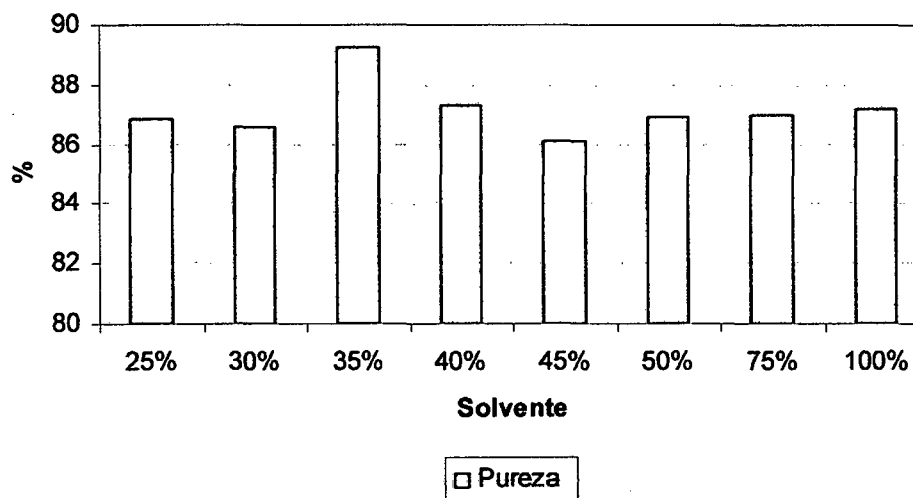


**Gráfico 4.** Comparación de Pureza y Rendimiento de las reacciones con NaOH sólido y NaOH líquido.

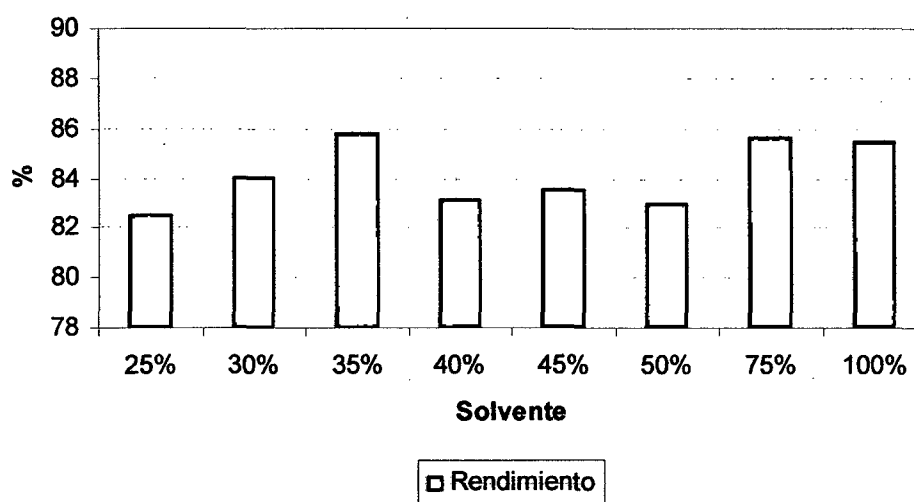


**Gráfico 5.** Comparación de Pureza y Rendimiento de las reacciones realizadas con la Adición 1 y la Adición 2.

Se realizaron un total de 6 pruebas por cada porcentaje de solvente usado, para comprobar la repetitividad. Las siguientes gráficas muestran los resultados.



**Gráfico 6.** Comparación de Pureza de las reacciones con diferentes porcentajes de Solvente.



**Gráfico 7.** Comparación de Rendimiento de las reacciones con diferentes porcentajes de Solvente.

Las Tablas con los valores de los Resultados Experimentales se muestran en el Anexo D.

### **Discusión de Resultados**

Todas las pruebas cumplieron determinados objetivos a partir de los cuales se pudieron establecer condiciones de operación importantes tanto para el adecuado manejo de la reacción como para el diseño de planta; así se estableció:

- El tipo de adición debe ser la Adición 1; ya que con este tipo de adición se logró un rendimiento esperado además de un mucho menor tiempo de reacción.
- La reacción no es isotérmica, se observó en todas las pruebas el aumento de la temperatura en el tiempo. Las Pruebas Experimentales realizadas muestran que al realizar la adición del Hidróxido de Sodio líquido a la mezcla de Solvente y Alcohol Isopropílico, todos a temperatura ambiente; la temperatura aumenta de 3 a 4° C, mientras que al adicionar el Bisulfuro de Carbono la temperatura alcanza valores mayores a los 45° C; lo que nos hace suponer que el calor generado por la reacción del Xantato es mucho mayor que el de la disolución del Hidróxido de Sodio en la mezcla inicial. A continuación



se muestra un gráfico en el que se puede observar estos cambios de temperatura:

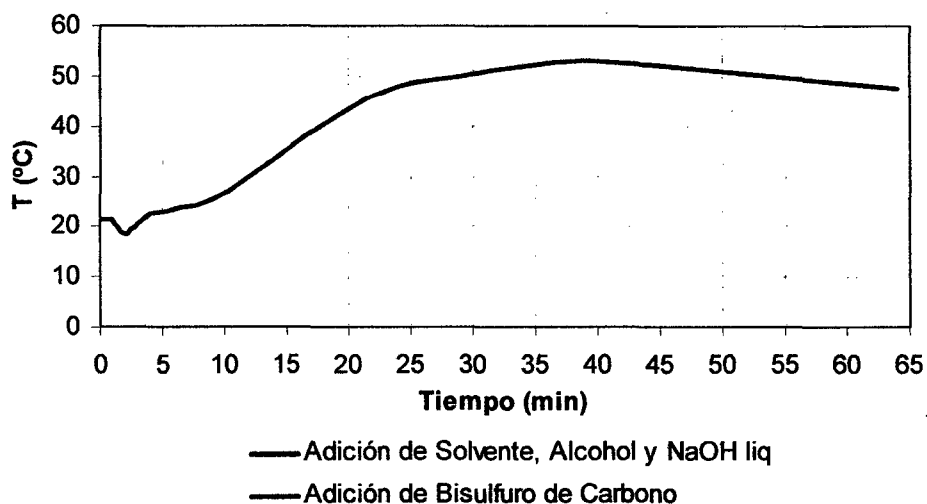


Gráfico 8. Variación de la Temperatura con respecto al Tiempo en la Etapa de Adición.

- La temperatura dependiendo de las condiciones ambientales puede llegar hasta un tope de 55°C a nivel laboratorio. Debemos tomar en consideración que los Xantatos en general iniciarían su proceso de descomposición justamente a partir de esta temperatura.
- Con la finalidad de evaluar la energía de activación, se realizaron las pruebas en las que se tenía que mantener el reactor a una temperatura constante, este proceso resultó altamente dificultoso, sin embargo se lograron hacer las pruebas a tres diferentes temperaturas. Estas pruebas además nos permitieron descartar la posibilidad de diseñar un proceso isotérmico, ya que industrialmente se trabajan con cantidades mayores de insumos lo que incrementaría el calor generado durante la reacción y con ello el riesgo de la operación y el costo que implica el control de variables como la temperatura a nivel industrial.
- Se comprueba la factibilidad de obtener Xantato Isopropílico de Sodio a partir de Hidróxido de Sodio Líquido y adicionalmente se verifica que en las diferentes pruebas se obtiene un producto con más del 80% de pureza.

- La producción de Xantatos requiere normalmente una cantidad de solvente determinado; respecto a este punto, se evaluó la posibilidad de utilizar menor cantidad de solvente, esta propuesta es respaldada por patentes que hablan de tal posibilidad. El resultado final nos indica que si es factible utilizar incluso menos del 65 % de la cantidad de solvente esto si se utiliza de Hidróxido de Sodio líquido.

### Parámetros de Diseño de Reactor

Los parámetros necesarios para el diseño del reactor fueron obtenidos a partir de los datos recopilados en la fase experimental y han sido agrupados de manera conveniente para el análisis respectivo.

### Variación de la temperatura con respecto a tiempo

Los datos graficados a continuación, fueron tomados de una Prueba representativa.

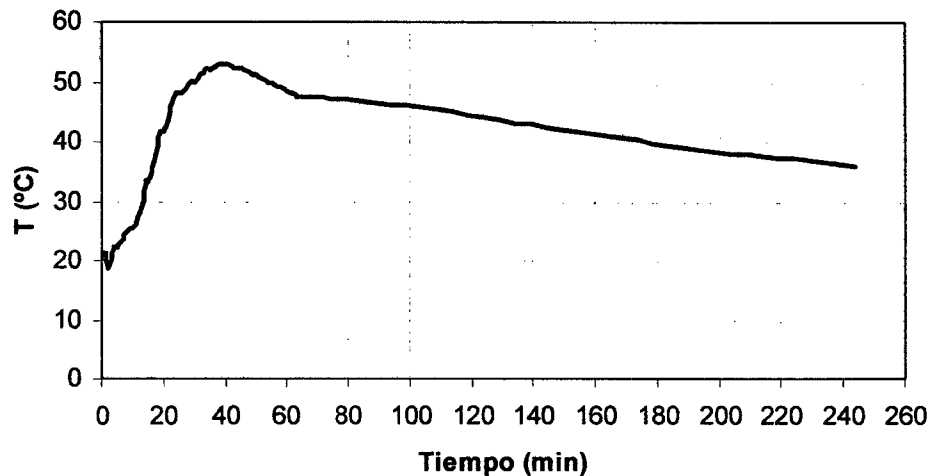


Gráfico 9. Variación de la Temperatura con respecto al tiempo de una prueba representativa

### Balance de Masa a Nivel Laboratorio

Sustancia	Ingreso		Consumo		Salida	
	mol	g	mol	g	mol	g
NaOH	8,2161	328,62	6,9666	278,64	0,0608	2,72
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	8,7132	523,62	6,9666	418,66	0,1136	4,55
CS <sub>2</sub>	8,6269	656,87	6,9666	530,45	0,4052	30,85
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOCS <sub>2</sub> Na	0,0000	0,00			6,9666	1 102,30
H <sub>2</sub> O	18,2415	328,62			25,2081	454,12
Otros líquido	0,0000	0,00				12,93
Otros sólido	0,0000	0,00				186,94
Solvente		578,84				356,26

Tabla 7. Balance de masa a nivel laboratorio.

Tiempo de reacción	= 4h 4'
Temperatura de reacción	= Incrementa con el tiempo
T máxima	= 53 °C
P sistema	= 1 atm
Rendimiento Experimental	= 85,50 %

### Balance de Energía a Nivel laboratorio

t (h)	X	T (°C)	Qg (kJ/s)
2,30	0,30	42,18	0,153
2,63	0,40	50,94	0,133
2,78	0,45	55,82	0,124
2,92	0,50	61,11	0,114
3,20	0,60	73,09	0,093
3,47	0,70	87,39	0,072
3,74	0,80	104,76	0,050
3,99	0,90	126,33	0,027

Tabla 8. Balance de Energía a nivel laboratorio.

Valores del calor generado en el reactor a partir del Balance de Energía en estado No estacionario.

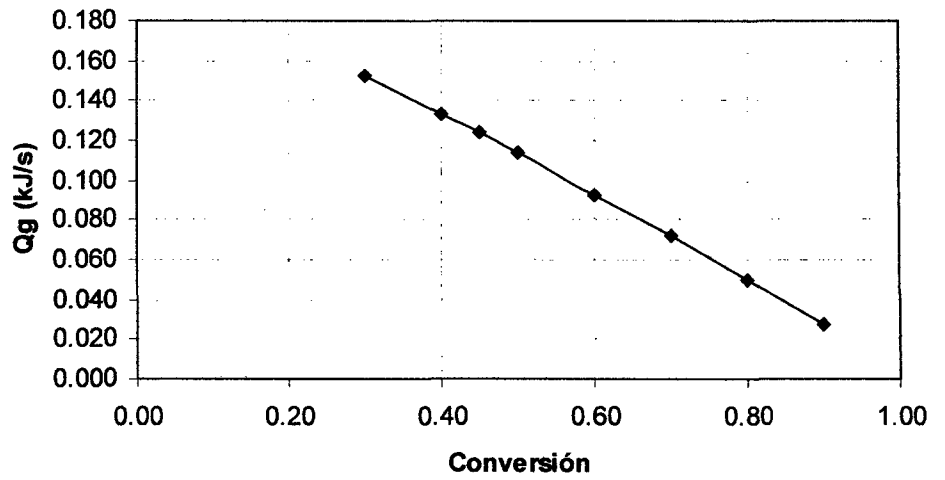


Gráfico 10. Flujo de Calor generado por la Reacción a nivel laboratorio.

### Velocidad de Reacción

La velocidad de reacción será determinada por el "Método diferencial de análisis de datos"

t (min)	$C_{NaOH}$ (mol/L)
0	5,0764
94	2,0497
124	0,9970
154	0,4951
184	0,0818
214	0,0579
244	0,0420

Tabla 9. Datos de una Prueba representativa.

t (min)	C <sub>A</sub> (mol/L)	Pendiente, a partir del Gráfico 11 (dC <sub>A</sub> /dt)	Log(-(dC <sub>A</sub> /dt))	Log (C <sub>A</sub> )
0	5,0764	-0,1230	-0,9101	0,7056
94	2,0497	-0,0259	-1,5868	0,3117
124	0,9970	-0,0182	-1,7390	-0,0013
154	0,4951	-0,0127	-1,8959	-0,3053
184	0,0818	-0,0061	-2,2158	-1,0875
214	0,0579	-0,0015	-2,8192	-1,2372
244	0,0420	-0,0007	-3,1569	-1,3766

Tabla 10. Valores necesarios para la determinación de n y k.

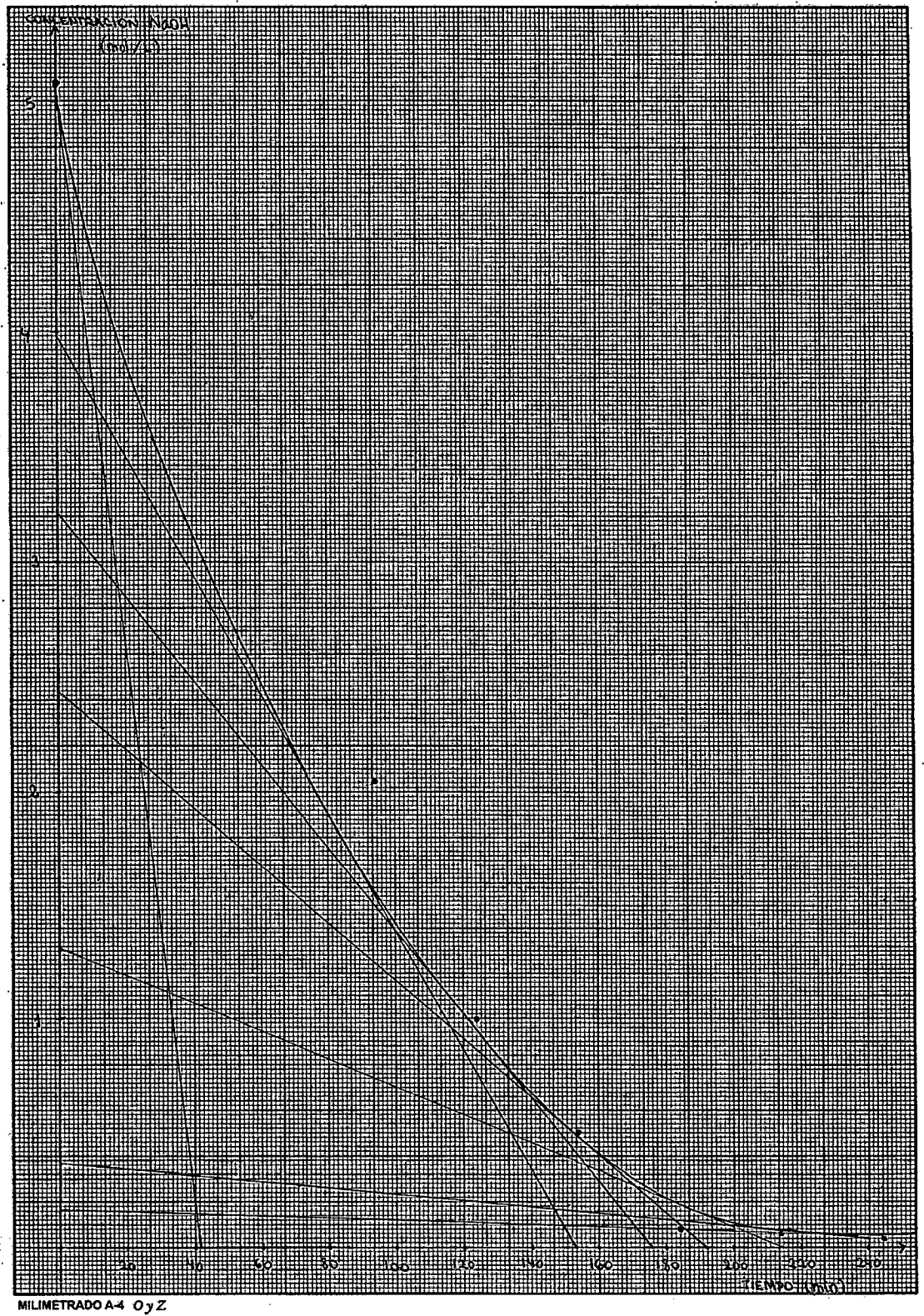


Gráfico 11. De las pendientes de las tangentes, se obtienen los valores de  $dC_A/dt$ .

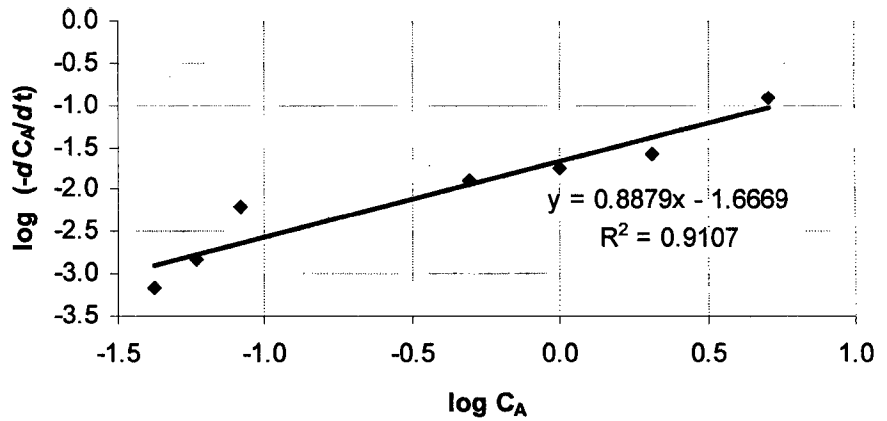


Gráfico 12. La pendiente y la ordenada al origen proporcionan n y k.

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n$$

$$k = 0.022$$

$$n = 0.89$$

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \left( 0.022 \frac{\text{mol}^{0.11}}{\text{L}^{0.11} \times \text{min}} \right) C_A^{0.89}, \frac{\text{mol}}{\text{L} \times \text{min}}$$

$$k = 0.022 \frac{\text{mol}^{0.11}}{\text{L}^{0.11} \times \text{min}}$$

Este Método ha sido escogido por tratarse de un Método adecuado para el cálculo aproximado de velocidades de reacción para reacciones reversibles, según sugiere la bibliografía<sup>14</sup>, además de que se contaba con los datos necesarios para la aplicación del Método mencionado. Alternativamente se tienen otros Métodos de Cálculo, pero que requieren del uso de Software como Matlab, Polymath, etc.

<sup>14</sup> [8]

### 6.7.5. Balance de Masa en el Reactor

Sustancia	Ingreso		Consumo		Salida	
	kmol	kg	kmol	kg	kmol	kg
NaOH	14,7838	591,31	12,6401	505,57	0,1224	4,90
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	15,6782	942,18	12,6401	759,61	0,1071	6,44
CS <sub>2</sub>	15,5385	1 183,13	12,6401	962,45	0,5731	43,64
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOCS <sub>2</sub> Na	0,0000	0,00			12,6401	2 000,00
H <sub>2</sub> O	32,8231	591,31			45,4632	819,02
Otros líquido	0,0000	0,00				12,97
Otros sólido	0,0000	0,00				339,18
Solvente		818,71				794,15

Tabla 11. Balance de masa en el Reactor.

### 6.7.6. Balance de Energía en el Reactor

Considerando Estado Estacionario:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q + (-\Delta H_{rx})(-r_A * V)}{(\sum N_i C_{p,i})}$$

Donde, el calor generado por la Reacción está dado por:

$$Q_g = (-\Delta H_{rx})(-r_A * V)$$

$$Q_g = -(-76.92) * (-0.022 * \left(\frac{N_{A0}}{V}\right)^{0.89} * (1-X)^{0.89} * V)$$

Suponiendo una operación adiabática:

$$T = 531.27 + \frac{60.61 * X}{0.60458 - 0.35 * X}$$



T: temperatura

V: volumen del reactor

C<sub>p</sub>: capacidad calorífica

-r<sub>A</sub>: velocidad de desaparición de la especie "A" por unidad de volumen

$\Delta H_{rx}$ : calor de reacción

t (h)	X	T (°C)	Qg (kJ/s)
2,298	0,30	37,81	4 487,79
2,466	0,35	40,26	4 201,46
2,625	0,40	42,81	3 912,46
2,777	0,45	45,48	3 620,91
2,923	0,50	48,26	3 326,43
3,066	0,55	51,27	3 028,69
3,205	0,60	54,22	2 727,27
3,341	0,65	57,41	2 421,67
3,475	0,70	60,77	2 111,22
3,606	0,75	64,28	1 794,99
3,737	0,80	67,99	1 471,67
3,865	0,85	71,88	1 139,24
3,993	0,90	75,99	794,14
4,195	0,98	83,06	189,59

Tabla 12. Balance de Energía en el Reactor

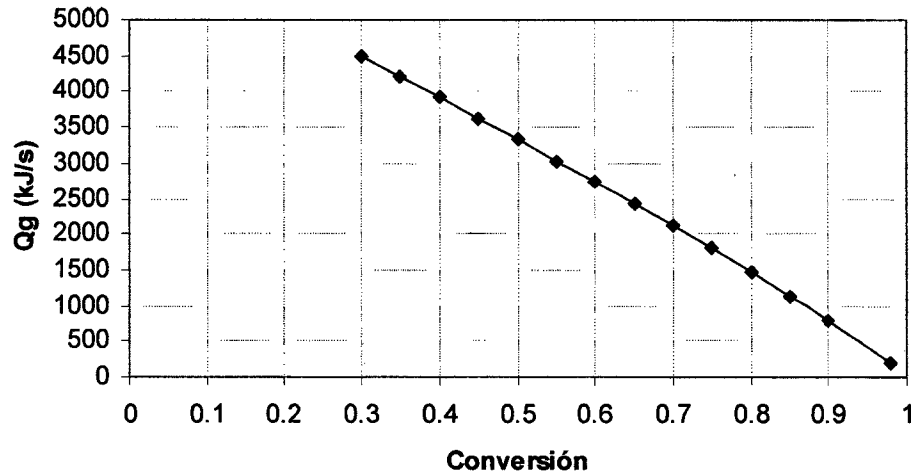


Gráfico 13. Flujo de Calor generado por la Reacción.

## 7. DISEÑO DEL PROCESO

### 7.1. Proceso Químico

El proceso de obtención de Xantato Isopropílico de Sodio tiene como etapa principal la reacción de formación de este compuesto, que se caracteriza por su sensibilidad a las condiciones de operación, además de requerir reactantes de difícil manejo en la operación tanto por sus propiedades físicas como químicas, y el uso de cantidades importantes de solvente como medio de reacción.

El objetivo de la presente propuesta es el diseño de una planta de Xantato Isopropílico de Sodio utilizando Hidróxido de Sodio Líquido (solución acuosa al 50%) junto a menores cantidades de solvente.

Para la obtención de los parámetros necesarios se realizaron experiencias a nivel laboratorio que permitieron el análisis requerido.

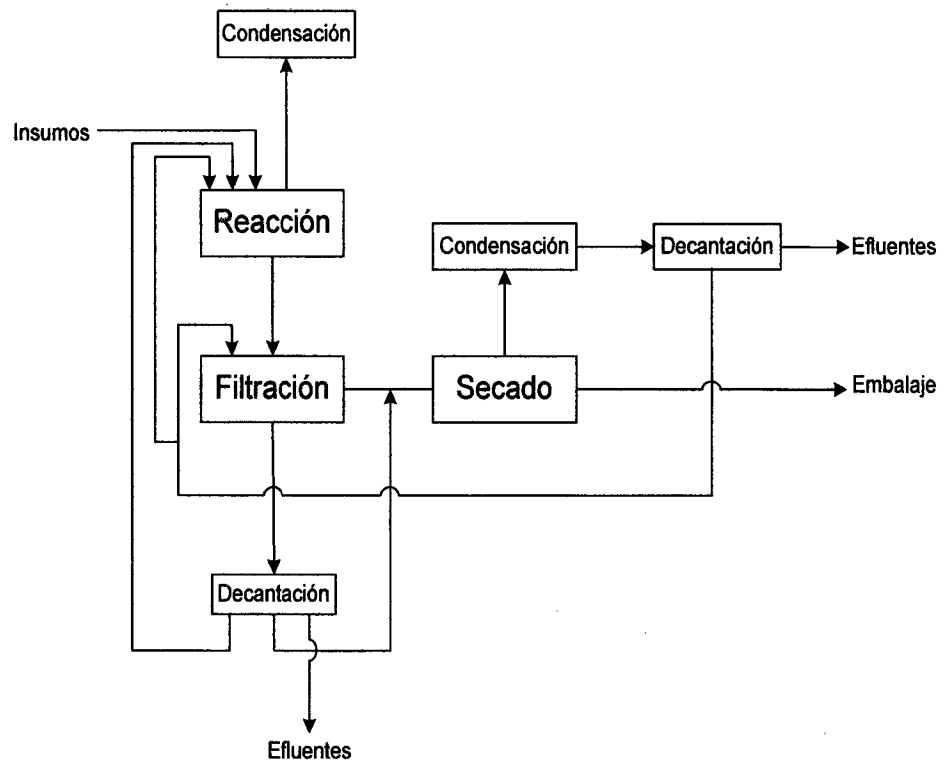


Figura 2. Diagrama de Flujo del Proceso

## 7.2. Enfoque y Base de Diseño

Se propone un proceso por lotes debido fundamentalmente a:

- El tiempo de reacción; ya que se ha comprobado experimentalmente que la formación del producto requiere de un periodo de reacción mínimo de 4 horas.
- Que se trata de una reacción exotérmica y violenta en la que a medida que avanza la reacción aumenta la temperatura y la necesidad de controlar esta variable está directamente vinculada con la calidad del producto final y en consecuencia la mínima generación de productos secundarios no deseados en este proceso.
- Que los factores mencionados, por ser parámetros determinantes en procesos con reacción química, serán también considerados dentro del análisis de factibilidad técnica y económica del proceso propuesto.
- Que la planta tendrá una capacidad de producción de 5835 TM/año, estimación que debe considerar las inspecciones de mantenimiento

que generalmente programa toda planta industrial; en consecuencia se establece como base de diseño (referente a la capacidad de producción y a los días de operatividad de la planta), lo siguiente:

Factor de Servicio	:	0,90 (35 días de mantenimiento de Planta)
Días Operativos	:	330 días/año
Producción Nominal	:	17,68 TM/DC
Producción Real	:	16 TM/DO

### **7.3. Descripción del Proceso Propuesto**

#### **Etapa de Reacción**

El equipo principal es el reactor, se diseñará un reactor intermitente provisto de una chaqueta para enfriamiento, ya que se trata de una reacción exotérmica cuyo producto es sensible a la temperatura. El equipo estará equipado además de una bomba de recirculación para asegurar la agitación en todo el recipiente; adicionalmente a ello, ya que los insumos utilizados son altamente volátiles a la temperatura de operación, se instalará un condensador de reflujo.

En cuanto a la alimentación de las materias primas, se realizará desde tanques de almacenamiento diario con el sistema de bombeo correspondiente.

La temperatura de operación debe estar en un rango de 45 a 50 °C, condición que favorece la formación del producto; la operación se realizará a presión atmosférica estando el reactor provisto de una tapa con el respectivo sistema de venteo.

#### **Etapa de Separación**

Los objetivos son la recuperación máxima de solvente y la separación del xantato formado y de productos secundarios acumulados en gran porcentaje en la fase líquida de la pulpa.

El equipo principal es un Filtro Centrífugo que permite la separación de las fases. La fase sólida pasará a la etapa de secado; la fase líquida,

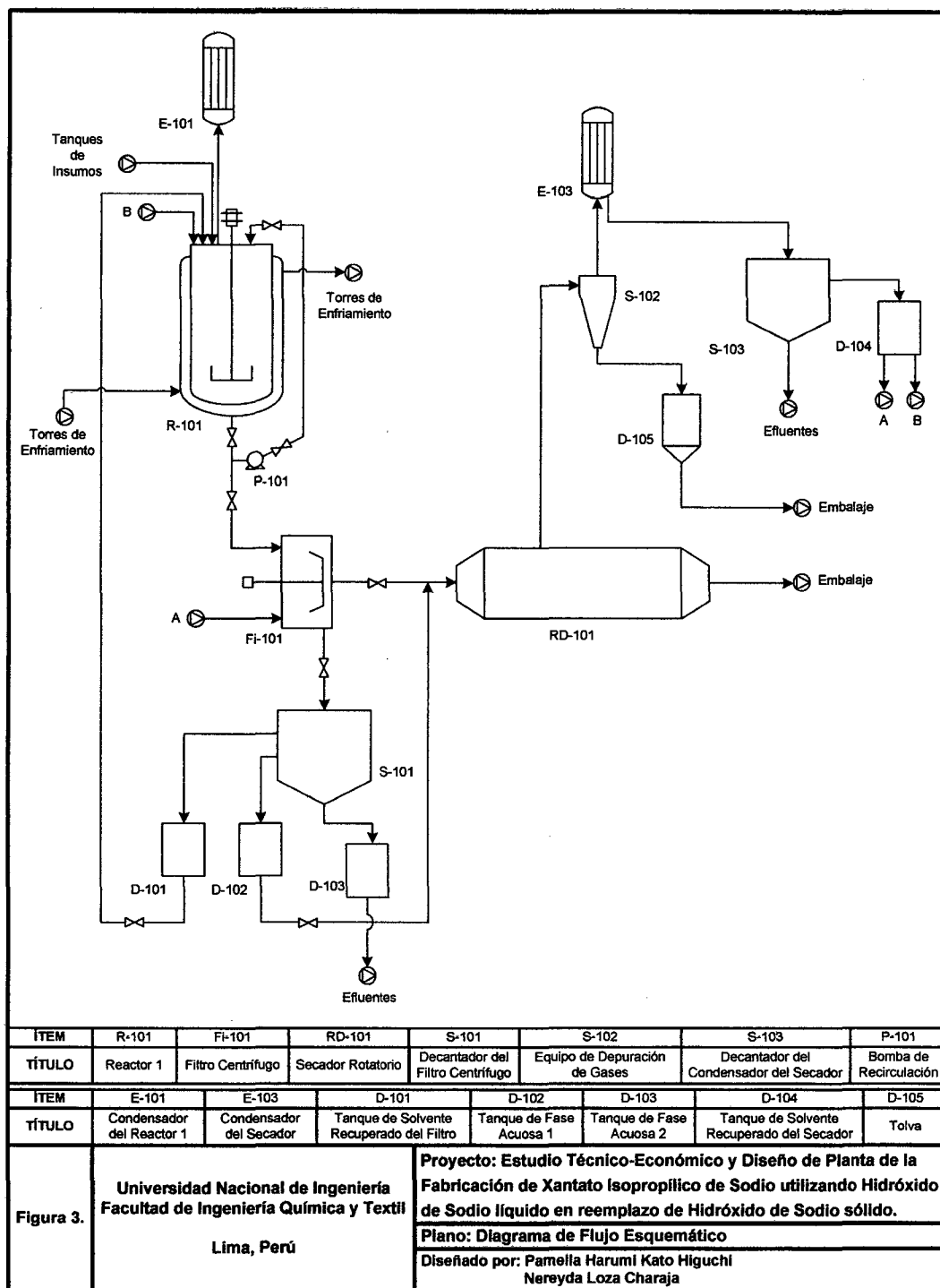
que a la vez se subdivide en tres fases: 01 fase orgánica (solvente) y 02 fases acuosas, pasará a un equipo de decantación de donde se extraerá inicialmente la fase inferior (Fase Acuosa 2), hacia un colector de desechos industriales (para su posterior disposición); la siguiente fase (Fase Acuosa 1) es rica en Xantato Isopropílico de Sodio (Xantato disuelto en agua), por lo que pasará a la etapa de secado y la última fase, que es la fase orgánica constituye el solvente recuperado que será bombeado a un tanque de almacenamiento para ser reutilizado posteriormente.

#### Etapa de Secado

La pulpa de Xantato Isopropílico de Sodio (Xantato filtrado y Xantato líquido) ingresará a un Secador con el objetivo de eliminar el contenido tanto de solvente como de agua que aún contiene. Esta etapa está compuesta además del secador como equipo principal, por un condensador cuya finalidad primordial es recuperar el solvente, que será recibido en un tanque contiguo.

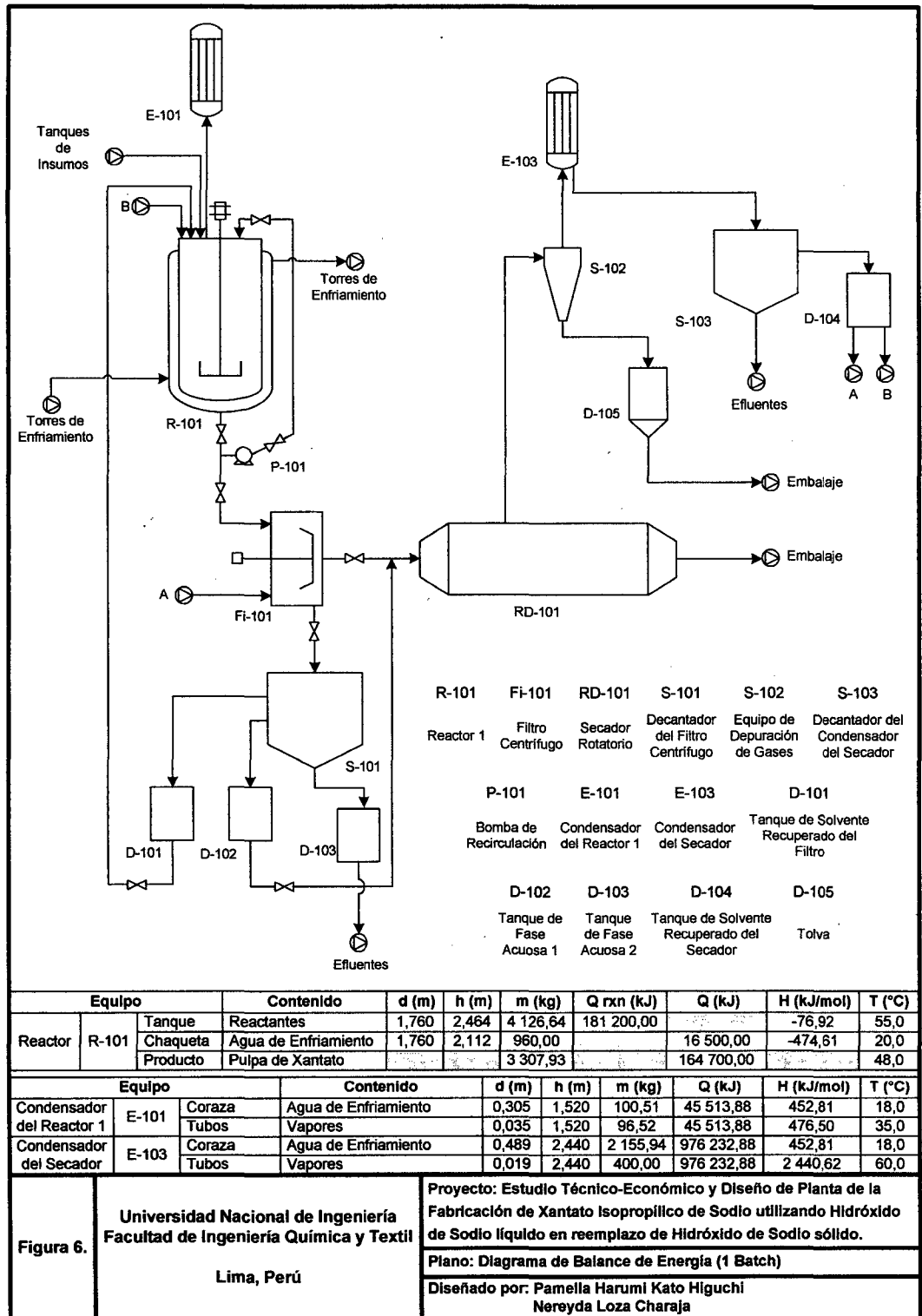
### **7.4. Diagramas de Flujo**

#### **7.4.1. Diagrama de Flujo Esquemático**



### 7.4.2. Diagrama de Flujo de Balance de Materia

### 7.4.3. Diagrama de Flujo de Balance de Energía



## 7.5. Diseño y Selección de Equipos

### 7.5.1. Diseño y Selección de Equipos para la Etapa de Reacción

El objetivo de esta sección es determinar el tamaño del Reactor, los requerimientos de Energía Térmica y Mecánica para asegurar el volumen de producción planeado y la conversión alcanzada en las pruebas de laboratorio.

#### 7.5.1.1. Reactor (R-101 y R-102)

Se busca conseguir una producción de 16 TM de Xantato Isopropílico de Sodio por día operativo; la cinética de reacción muestra que la operación se debe realizar por lo menos, durante 4 horas, para alcanzar la producción y la conversión esperadas. Se plantea el uso de dos reactores que trabajarán de forma intermitente.

Cada equipo propuesto estará conformado por un reactor semicontinuo provisto de una chaqueta de enfriamiento, además estará equipado de una bomba de recirculación para asegurar la agitación en todo el recipiente; y debido a que los insumos utilizados son altamente volátiles a la temperatura de operación, se instalará un condensador de reflujo.

#### Volumen de cada Reactor

Para una producción de	:	16 000 kg/DO
# de Lotes	:	8 Lotes/día
Producción por Batch	:	2 000 Kg
Volumen del Reactor	:	4,764 m <sup>3</sup>
Relación Prod/Vol del Sist.	:	0.336 Kg prod/L

Se considera conveniente calcular el volumen del reactor a partir de la producción por lote, 2 000 Kg de producto, ya que por estequiometria se pueden hallar los



moles necesarios de cada insumo, luego se calcula la masa y dado que se conocen las densidades de todos estos, se obtiene así el volumen total de reactantes que ingresarán al reactor; lo que indicará la capacidad mínima que debe tener éste para contenerlos. Además se debe considerar un factor de seguridad que asegure la operación principalmente de probables derrames, debidos al proceso de agitación.

Se considera un factor de seguridad de 20% como máximo, lo que permitirá operar sin dificultad ni límite de restricción en el reactor.

Volumen final del Reactor necesario : 5,955 m<sup>3</sup>

#### Especificaciones del Reactor

Capacidad del Reactor	:	5,955 m <sup>3</sup>
Altura del Reactor	:	2,46 m
Diámetro del Reactor	:	1,76 m
D <sub>a</sub> /D <sub>T</sub>	:	0,33
Tiempo máximo de descarga	:	300 s

Donde:

D<sub>a</sub>: diámetro del impulsor

D<sub>T</sub>: diámetro del reactor

Se escogerá un agitador de turbina de hojas inclinadas, con las aspas a 45°, debido a que reúne las características que se requieren en la agitación. Además el reactor contará con 4 deflectores<sup>15</sup>.

Requerimiento de Energía Mecánica:

---

<sup>15</sup> [13] pág. 259-264

Potencia de Agitación<sup>16</sup>

$$N_p = \psi (Re, Fr, S_1, S_2, \dots, S_n)$$

Donde:

N<sub>p</sub>: número de potencia

Ψ: función

Re: número de Reynolds

Fr: número de Froude

S: Factor de forma; S<sub>1</sub>=D<sub>a</sub>/D<sub>T</sub>; S<sub>2</sub>=E/D<sub>T</sub>

En tanques con placas deflectoras, para números de Reynolds superiores a aproximadamente 10 000, el número de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad ya no influye. En este intervalo, el flujo es totalmente turbulento y la ecuación anterior se transforma en:

$$N_p = K_T$$

De la cual

$$P = K_T n^3 D_a^5 \rho$$

Donde:

P: potencia

K<sub>T</sub>: constante

N: velocidad de giro

ρ: densidad

N <sub>rps</sub>	:	5,33
ρ de mezcla	:	1 048,9 Kg/m <sup>3</sup>
μ de mezcla	:	0,18 Kg/ms
φ del impulsor	:	0,59 m
N <sub>Re</sub>	:	10 818,43 adimensional
K <sub>T</sub>	:	1,27 adimensional
Potencia Requerida	:	14 447,54 W
Potencia Real	:	19 263,39 W
Potencia del Motor	:	25 684,54 W

---

<sup>16</sup> [13] pág. 278-279

### 7.5.1.2. Chaqueta del Reactor

Para el enfriamiento de la masa contenida en el reactor se utiliza agua de las Torres de Enfriamiento, que ingresa a una temperatura de 18 °C. Las dimensiones de la chaqueta son:

Altura	:	2,112 m
D <sub>interno</sub>	:	1,76 m
Ancho	:	0,08 m
D <sub>externo</sub>	:	1,84 m

Con las siguientes condiciones de operación:

m <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	:	24 kg/s
Q <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	:	0,025 m <sup>3</sup> /s
T <sub>i</sub>	:	18 °C
T <sub>f</sub>	:	24 °C

Coefficiente Total de transferencia de calor (U<sub>D</sub>)

$$U_D = 433,33 \frac{J}{s m^2 °C}$$

Se asume un coeficiente de ensuciamiento (R<sub>D</sub>) igual a:

$$R_D = 0,0006 \frac{s m^2 °C}{J}$$

Para el cálculo de la el Coeficiente Total de Transmisión de Calor de Diseño en la chaqueta se usaron las siguientes correlaciones:

- Lado de la Chaqueta:

Cálculo del coeficiente de convección externo (h<sub>o</sub>)

Para flujo turbulento en tubos con  $10 < L/D_e < 400$

$$Nu = 0.036 * N_{Re}^{0.8} * N_{Pr}^{1/3} * \left(\frac{L}{D_e}\right)^{-0.054} \quad 17$$

Donde:

$N_{Re}$ : número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D_e \times G_s}{\mu}$$

$N_{Pr}$ : número de Prandtl

$$N_{Pr} = \frac{C_p \times \mu}{K}$$

L : altura del reactor

$D_e$ : diámetro equivalente del anillo ó ancho de la chaqueta.

Además:

$$D_e = D_T - D_i = \Delta D$$

Donde:

$D_T$ : diámetro total del reactor (incluida la chaqueta)

$D_i$ : diámetro interno del reactor.

Se asume un ancho de chaqueta de 8 cm. Se debe considerar también que el líquido que fluye en la chaqueta es agua, por lo que para los cálculos en esta sección se deben usar las propiedades del agua a 20 ° C

$N_{Nu}$ : número de Nussel

$$N_{Nu} = \frac{D_e \times h_o}{K}$$

De donde:

$$h_o = 741,67 \frac{J}{s m^2 \text{ } ^\circ C}$$

- Lado del Reactor:

Cálculo del coeficiente de convección interno ( $h_i$ )

Para los cálculos en esta etapa se usaron las propiedades de la pulpa de xantato a 54 °C.

Correlación de Chilton, Donald y Jebens (Anexo F)

$$j = \frac{h_i * D_i}{\kappa} * N_{Pr}^{1/3} * \left(\frac{\mu}{\mu_o}\right)^{-0.14} \quad 18$$

Donde:

$N_{Re}$ : número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{L^2 * N * \rho}{\mu}$$

L: Longitud de la paleta del agitador.

N: número de revoluciones por hora del agitador.

$\rho$ : densidad de la pulpa de xantato

$\mu$ : viscosidad de la pulpa de xantato

$N_{Pr}$ : número de Prandtl

$$N_{Pr} = \frac{Cp * \mu}{\kappa}$$

$D_i$ : diámetro interno de la chaqueta.

$\kappa$ : conductividad térmica

$\mu$ : viscosidad de la pulpa de xantato

$\mu_o$ : viscosidad experimental de la pulpa de xantato en la pared del reactor. Para la relación de viscosidades se asume que ambas son semejantes, por lo que la relación es 1.

j: factor de Colburn

---

<sup>18</sup> [1] pág. 4-42

A partir del número de Reynolds se tiene el valor el Factor de Colburn en "j" en la gráfica mostrada en el anexo F.

Luego de despejar:

$$h_i = 1270,0 \frac{J}{\text{s m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

### 7.5.1.3. Bomba de Recirculación del Reactor (P-101 y P-102)

Se implementará una Bomba de Recirculación en cada Reactor, debido a que se desea mantener la circulación de reciclo dentro de él, durante el tiempo de operación; para evitar la sedimentación de sólidos y mantener el correcto funcionamiento del sistema de reacción.

Utilizando la ecuación de energía<sup>19</sup> (punto 1: superficie de la pulpa dentro del reactor y punto 2: salida superior de la tubería de recirculación):

$$h_p = b + \frac{8Q^2}{\pi^2 g D^4} \left( 1 + \frac{fL}{D} + (\sum k) \right) \dots (\alpha)$$

De la relación de Colebrook<sup>20</sup>:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.523}{\text{Re}\sqrt{f}} \right)$$

Además se sabe<sup>21</sup>:

$$h_p = \frac{W_p}{\rho g Q} \dots (\beta)$$

Donde:

$h_p$ : pérdida de carga primaria

$b$ : 0,176 m, distancia entre los puntos 1 y 2

<sup>19</sup> [19] pág. 259-264

<sup>20</sup> [19] pág. 290

<sup>21</sup> [19] pág. 511

Q: caudal

D: diámetro interno de la tubería de recirculación

f: factor de fricción

L: 5,984 m, longitud total de la tubería de recirculación

k: pérdidas menores

$\varepsilon/D$ : rugosidad relativa

$W_p$ : potencia de la bomba

$\rho$ : densidad de la pulpa

Realizando las respectivas iteraciones entre ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ), se obtiene:

Potencia de la Bomba	:	3 728,5 W
Caudal de Recirculación	:	0,028 m <sup>3</sup> /s
$\phi$ de Tubo	:	0,1023 m

#### 7.5.1.4. Condensador (E-101 y E-102)

Con éste equipo se busca evitar pérdidas por evaporación durante la reacción; por lo que su principal función es condensar los vapores de los insumos con temperaturas de ebullición bajas; ya que la temperatura dentro del reactor tiende a incrementarse rápidamente durante la operación.

Es un condensador vertical de coraza y tubos de un paso, con una superficie de intercambio igual a 5,6 m<sup>2</sup>; con 48 tubos, cada uno de 1,52 m de longitud.

El vapor fluye por los tubos a un promedio de 0,2 m<sup>3</sup>/h, ingresa al condensador a 50 °C y debe ser enfriado por debajo de 45°C; por la coraza fluye agua de enfriamiento proveniente de Torres de enfriamiento a una temperatura de 18 °C aproximadamente.

La características principales de éste equipo están disponibles en el anexo F, donde también se encuentran la secuencia de cálculos.

## **7.5.2. Selección de Equipos para la Etapa de Separación**

### **7.5.2.1. Filtro Centrífugo (Fi-101)**

Se escogerá un Filtro Centrífugo de Descarga Automática, como equipo principal en la Etapa de Separación.

Este tipo de Filtro Centrífugo, funciona casi siempre sobre un eje horizontal de rotación y se puede proporcionar un distribuidor de torta para nivelar la carga durante la alimentación, indicar la profundidad de torta y activar el cierre de válvula de alimentación cuando se llega a la profundidad deseada. Después que la carga se somete a rotación para su desecación, la torta se desprende mediante la rotación de una cuchilla de descarga sobre ella.

Las dimensiones del filtro centrífugo son:

Altura : 0,508 m

$D_{\text{interno}}$  : 0,762 m

Los cálculos principales se muestran en el Anexo F.

### **7.5.2.2. Decantador (S-101)**

Recipiente que contendrá la fase líquida trifásica proveniente del filtro centrífugo (01 fase orgánica y 02 fases acuosas). El principio de separación es por gravedad.

Es un recipiente cilíndrico vertical de base cónica, construido en acero al carbono con una capacidad de 2,6 m<sup>3</sup>. La capacidad de éste componente está determinada en el balance de masa basado por lote, teniendo en cuenta además



que éste decantador recibe la línea 3 (su ubicación puede verse en la Figura 4).

Según el balance de masa:

$$\dot{m}_3 = 1\,383,12 \frac{\text{Kg}}{\text{Lote}}$$

$$\rho_{\text{exp.liq}} = 1\,224,50 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$\rho_{\text{exp.liq}}$ : densidad experimental del fluido que sale de la etapa de filtrado de la pulpa.

Además para el cálculo de la capacidad que debe tener el decantador se tomó en cuenta que el diseño cuenta con dos reactores, asimismo se asumió un Factor de seguridad de 20%.

### **7.5.3. Selección de Equipos para la Etapa de Secado**

#### **7.5.3.1. Secador (RD-101)**

Se seleccionará al Secador rotatorio al vacío, como equipo principal en la Etapa de Secado. Consiste en una cubierta cilíndrica estacionaria, montada horizontalmente, en la cual hay un conjunto de aspas de agitador montadas en un eje central revolvente, que agita los sólidos que se están tratando. En esta unidad, el calor se suministra por circulación de vapor en la chaqueta, mientras que las aspas del rotor mantienen en movimiento a la masa que se está secando, raspando y limpiando las superficies. El vacío se usa cuando es preciso mantener temperaturas bajas en los sólidos, debido a que el calor puede causar daños en el producto o transformar su naturaleza.

Las dimensiones del secador rotatorio son:

Largo	:	2,44 m
D <sub>interno</sub>	:	0,76 m
D <sub>externo</sub>	:	0,87 m

Los cálculos principales se muestran en el Anexo F.

#### **7.5.3.2. Bomba de Vacío**

Este equipo forma parte del secador y viene de fábrica con él.

#### **7.5.3.3. Equipo de Depuración de Gases (S-102)**

Este equipo puede ser un Ciclón o un sistema Multiciclón, el objetivo es retener las partículas de xantato de la corriente de gases que sale del secador. Normalmente este tipo de equipos pueden ser adquiridos de un proveedor, de ser el caso, para la selección del mismo se debe tener datos de Flujo de los gases que ingresarán a equipo así como el tamaño promedio de partículas.

$$q_{\text{sec}} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{\text{pm}} = 0,0000384 \text{ m}^{22}$$

El procedimiento de selección del equipo se muestra en el Anexo F.

#### **7.5.3.4. Condensador (E-103)**

Ubicado al mismo nivel del secador. El vapor fluye por los tubos y por la coraza fluye agua de enfriamiento proveniente de Torres de enfriamiento.

---

<sup>22</sup> Dato obtenido del análisis granulométrico del Xantato en polvo

Este condensador es de tipo coraza y tubos en posición vertical de dos pasos, con una superficie de transferencia de 18,0 m<sup>2</sup>, esta provisto de 112 tubos de acero al carbono, se ha tomado como referencia una longitud igual 2,44 m por ser la más comercial. Los vapores ingresan a los tubos a un promedio de 75 °C a 490m<sup>3</sup>/h siendo éste el punto de operación máximo, luego del cual tanto el flujo como la temperatura comienzan a disminuir. Más detalles sobre los cálculos de diseño del equipo se muestran en el Anexo F.

#### 7.5.3.5. Decantador (S-103)

Recipiente que contendrá la fase líquida bifásica proveniente del secador. El principio de separación es por gravedad.

Es un recipiente cilíndrico vertical de base cónica, construido en acero al carbono con una capacidad de 1,8 m<sup>3</sup>.

La capacidad de éste componente está determinada en el balance de masa por lote; éste decantador recibe los fluidos de la línea 13 (su ubicación puede verse en la Figura 4).

Según el balance de masa:

$$\dot{m}_{13} = 730,0 \frac{\text{Kg}}{\text{Lote}}$$

$$\rho_{\text{exp.liq}} = 1\,048,90 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$\rho_{\text{exp.liq}}$  : densidad experimental del fluido que sale de la etapa de secado en planta.

Además para el cálculo de la capacidad que debe tener el decantador se tomó en cuenta que el diseño cuenta con dos reactores, asimismo se asumió un Factor de seguridad de 20%.

#### 7.5.3.6. Tolva (D-105)

Recipiente necesario para almacenamiento de polvo de Xantato proveniente de la etapa de secado. Construido en acero al carbono, con una capacidad de 0,2 m<sup>3</sup>.

Las características de este componente estarán determinadas por el balance de masa por lote éste decantador recibe los fluidos de la línea 12 (su ubicación puede verse en la Figura 4).

Según el balance de masa:

$$\dot{m}_{12} = 56,13 \frac{\text{Kg}}{\text{Lote}}$$

$$\rho_{\text{exp. sol}} = 1\,048,90 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$\rho_{\text{exp. sol}}$ : densidad experimental del los sólidos que salen de la etapa de secado en planta.

Además para el cálculo de la capacidad que debe tener la tolva se tomó en cuenta que el diseño cuenta con dos reactores, asimismo se asumió un Factor de seguridad de 20%.

#### 7.5.4. Selección de Equipos Auxiliares

##### 7.5.4.1. Torres de Enfriamiento

Proporcionarán el agua de enfriamiento requerida durante el proceso. El equipo sugerido es una Torre de tipo Marley.

Se requiere una cantidad aproximada de agua de enfriamiento de 3 211,45 m<sup>3</sup> por lote y 25 731,60 m<sup>3</sup> por día.

##### 7.5.4.2. Ablandadores

El agua a utilizarse en algunos de los procesos en la planta, debe contener un mínimo de dureza; por lo que se recomienda el uso de Ablandadores.

Se necesita una cantidad aproximada de 0,29 kg/s de agua tratada. El Ablandador propuesto es uno Automático, con las siguientes características:

Flujo máximo de servicio	:	0,38 Kg/s
Dimensiones, DxH	:	0,23x1,22 m
Volumen de Resina	:	0,042 m <sup>3</sup>

#### **7.5.4.3. Bombas**

En este proceso tanto en la operación en planta como para la sección de almacenamiento de materias primas, los insumos manipulados son líquidos. Frente a los requerimientos de servicio en planta y por razones económicas se usarán en su mayoría bombas centrífugas.

#### **7.5.4.4. Requerimiento de Energía Térmica**

El vapor será usado en la etapa de Secado y será suministrado por una Caldera Piro-tubular de 60 BHP (0,2608 kg/s). La ventaja de esta Caldera es que requiere bajo costo de inversión y alcanza eficiencias de operación elevadas (>80%).

#### **Características Técnicas**

Capacidad de la Caldera	:	60 BHP
Salida de Vapor	:	0,2608 kg/s
Presión máxima de Trabajo	:	103 420,5 Pa
Consumo de Gas Natural	:	0.08 sm <sup>3</sup> /s
Dimensiones		
Diámetro	:	1,47 m
Longitud total	:	3,00 m
Altura Total	:	1,96 m
Ancho Total	:	1,75 m

#### 7.5.4.5. Tanques de Almacenamiento (D-101, D102, D-103 y D-104)

Los tanques de almacenamiento son de diferentes capacidades y en acero al carbono. El espesor de la plancha de acero dependerá de la cantidad y tipo de sustancia que contendrá y será establecido en coordinación con la empresa prestadora del servicio de construcción de los tanques.

El insumo que requerirá un tipo especial de tanque de almacenamiento será el Bisulfuro de Carbono, por sus propiedades químicas dentro de las que resaltan su alta volatilidad. Se acondicionarán tanques sumergidos en pozas de agua.

En todos los tanques se acondicionarán válvulas de venteo para estabilizar la presión en el tanque, manteniéndola a presión atmosférica.

Las especificaciones de los Tanques de almacenamiento D-101, D102, D-103 y D-104; estarán determinadas por el balance de masa por lote (Figura. 4).

Tanque	# de línea	m (kg/lote)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
D-101	4	563,75	720,0	1,9
D-102	5	309,25	925,6	0,8
D-103	6	510,13	1 224,5	1,0
D-104	14	270,09	720,0	0,9

Tabla 13. Capacidad de los Tanques de Almacenamiento de Planta

Las características principales de los Tanques de almacenamiento de los Insumos, se muestran en el Anexo F.

Además para el cálculo de la capacidad que debe tener los tanques, se tomó en cuenta que el diseño cuenta con dos reactores, asimismo se asumió un Factor de seguridad de 20%.

## **7.5.5. Requerimiento de Servicios Auxiliares**

### **7.5.5.1. Energía Eléctrica**

La electricidad se usa para accionar las bombas, otros equipos mecánicos, en la instrumentación y alumbrado.

Se dispone en nuestro medio de terminales trifásicas de 4 hilos de 300 Voltios. La energía total entregada a la planta se calcula a través de la Potencia consumida de los equipos durante las horas de operación.

Potencia Normal	:	81 281,29	W
Potencia Máxima	:	108 126,48	W
Factor de Carga	:	1,33	W

### **7.5.5.2. Agua Potable**

Proveniente del sistema de agua potable que abastece la ciudad y en caso de ser necesario o conveniente se habilitará un pozo de agua.

Se requiere una cantidad aproximada de agua potable de 3 214,6 m<sup>3</sup> por lote y 25 756,4 m<sup>3</sup> por día.

### **7.5.5.3. Agua de Alimentación de la Caldera**

Las Calderas requieren agua blanda, la cual puede ser obtenida por medio de los Ablandadores. Este tratamiento es necesario para asegurar una operación satisfactoria de la Caldera y del Sistema de Distribución de Vapor, el cual debe incluir:

- Tratamiento por agentes orgánicos tensoactivos para evitar los depósitos de Carbonato de calcio y de Fosfato de Calcio en las líneas de alimentación de la Caldera.
- Eliminación de aceites para evitar depósitos de carbonos y formación de espuma.
- Desaereación para eliminar gases corrosivos.

Se requiere una cantidad aproximada de agua blanda de 3,16 m<sup>3</sup> por lote y 24,79 m<sup>3</sup> por día.

#### **7.5.5.4. Combustible**

Los combustibles se usan para la generación de vapor, se ha elegido el Gas Natural, debido a que es un combustible limpio, es accesible y tiene bajos costos.

Según información técnica, una caldera Piro-tubular de 60 BHP requiere una alimentación de 16,8 gal/h de Petróleo Diesel N° 2 lo que equivale a 279,84 sm<sup>3</sup>/h.

Considerando que el equipo operará 15 horas diarias el consumo energético equivalente es 740,88 MMBtu al mes<sup>23</sup>.

### **7.6. Distribución de Planta**

#### **7.6.1. Resumen de Equipos**

---

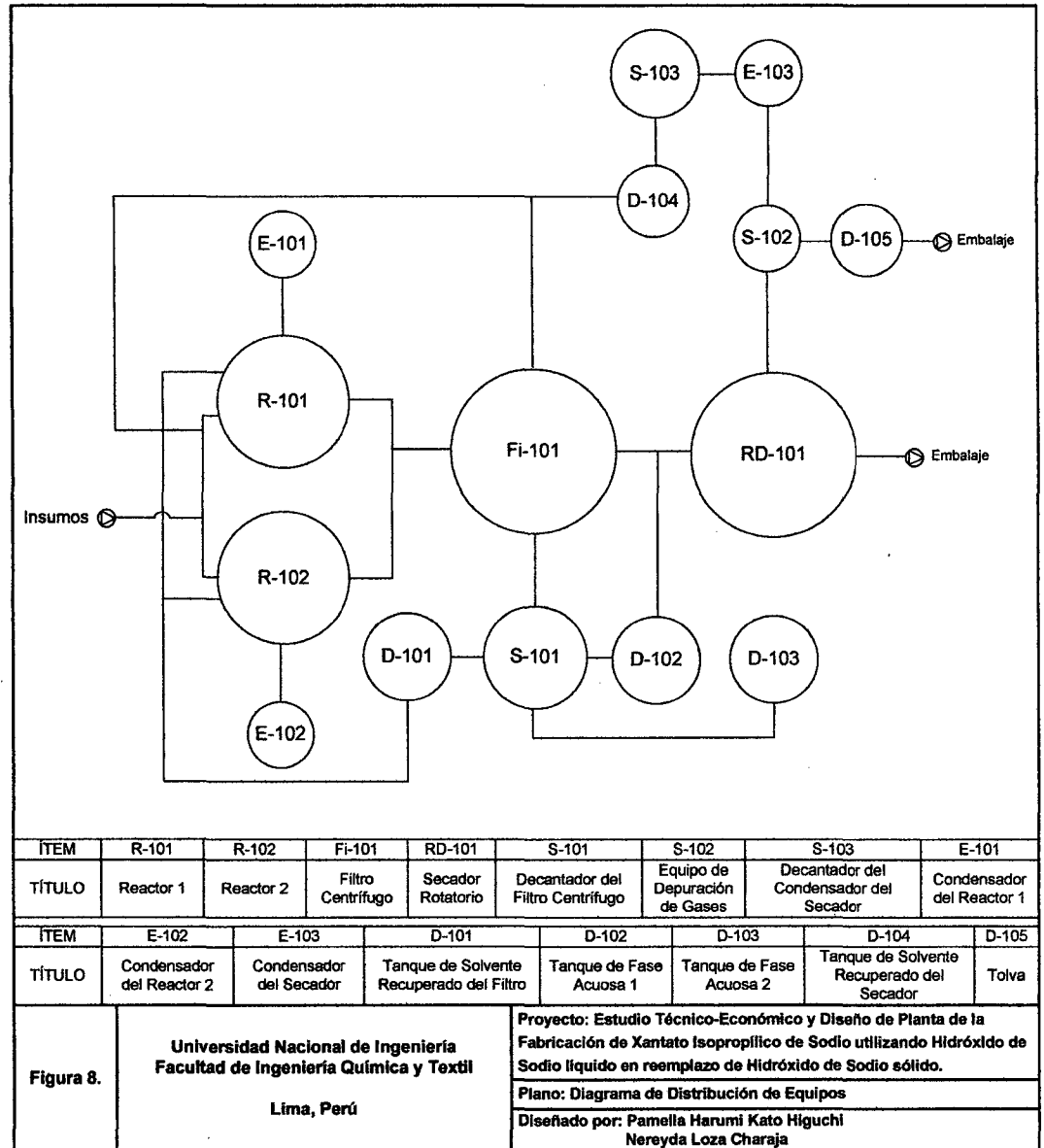
<sup>23</sup> Ver cálculos en el Anexo F



Ítem	Equipo	Código de Identificación	Descripción	Capacidad	h de Operación por día
1	Reactor 1	R-101	Recipiente donde se lleva a cabo la Reacción	5,955 m <sup>3</sup>	16
2	Reactor 2	R-102	Recipiente donde se lleva a cabo la Reacción	5,955 m <sup>3</sup>	16
3	Bomba de Recirculación del Reactor 1	P-101	Equipo que recircula la pulpa en el Reactor 1	0,028 m <sup>3</sup> /s	16
4	Bomba de Recirculación del Reactor 2	P-102	Equipo que recircula la pulpa en el Reactor 2	0,028 m <sup>3</sup> /s	16
5	Filtro Centrífugo	Fi-101	Dispositivo donde se realiza la Filtración de la pulpa	0,927 m <sup>3</sup>	8
6	Secador Rotatorio	RD-101	Unidad en la que se efectúa el Secado de la pulpa	4,428 m <sup>3</sup>	16
7	Condensador del Reactor 1	E-101	Equipo que recupera los vapores en el Reactor 1	30 363 J/s	16
8	Condensador del Reactor 2	E-102	Equipo que recupera los vapores en el Reactor 2	30 363 J/s	16
9	Condensador del Secador	E-103	Equipo que recupera los vapores del Secador	176 651 J/s	16
10	Decantador del Filtro Centrífugo	S-101	Tanque para decantar el líquido trifásico de la Centrifuga	2,60 m <sup>3</sup>	8
11	Equipo de Depuración de Gases	S-102	Dispositivo que retiene el polvo de Xantato proveniente del Secador	0,00021 m <sup>3</sup> /s	16
12	Decantador del Condensador del Secador	S-103	Tanque para decantar los líquidos del Secado	1,80 m <sup>3</sup>	8
13	Tanque de Solvente Recuperado del Filtro	D-101	Tanque donde se almacena el Solvente recuperado del Filtro	1,90	16
14	Tanque de Fase Acuosa 1	D-102	Tanque donde se almacena la Fase Acuosa 1	0,8	8
15	Tanque de Fase Acuosa 2	D-103	Tanque donde se almacena la Fase Acuosa 2	1,0	8
16	Tanque de Solvente Recuperado del Secador	D-104	Tanque donde se almacena el Solvente recuperado del Secador	0,9	16
17	Tolva	D-105	Recipiente donde se almacenan los polvos provenientes del Ciclón	0,2	8

**Tabla 14.** Resumen de equipos

### 7.6.2. Distribución de Equipos



### 7.6.3. Distribución de Planta

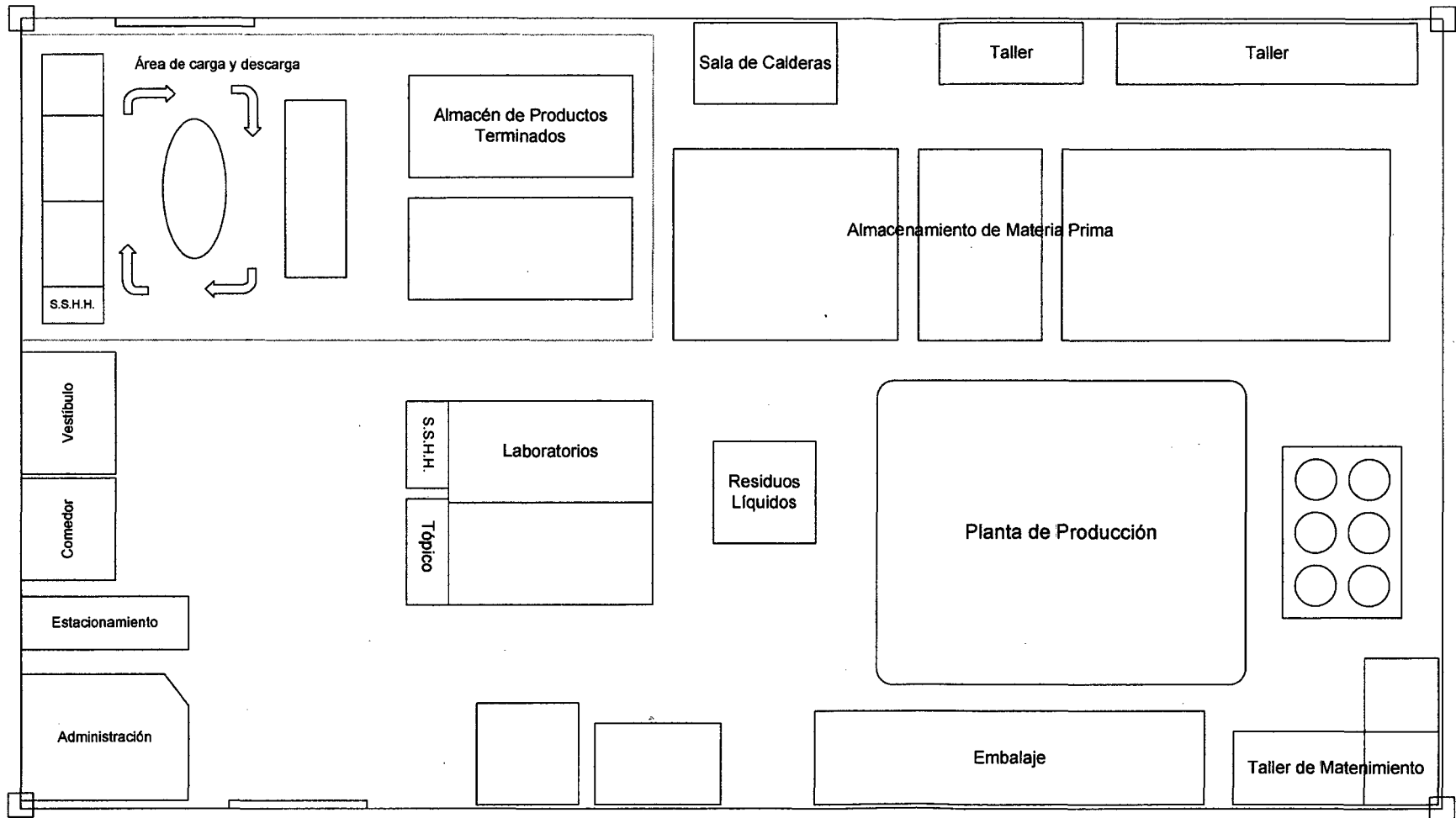


Figura 9. Diagrama de Distribución de Planta

### 7.6.4. Diagrama de Operación del Proceso

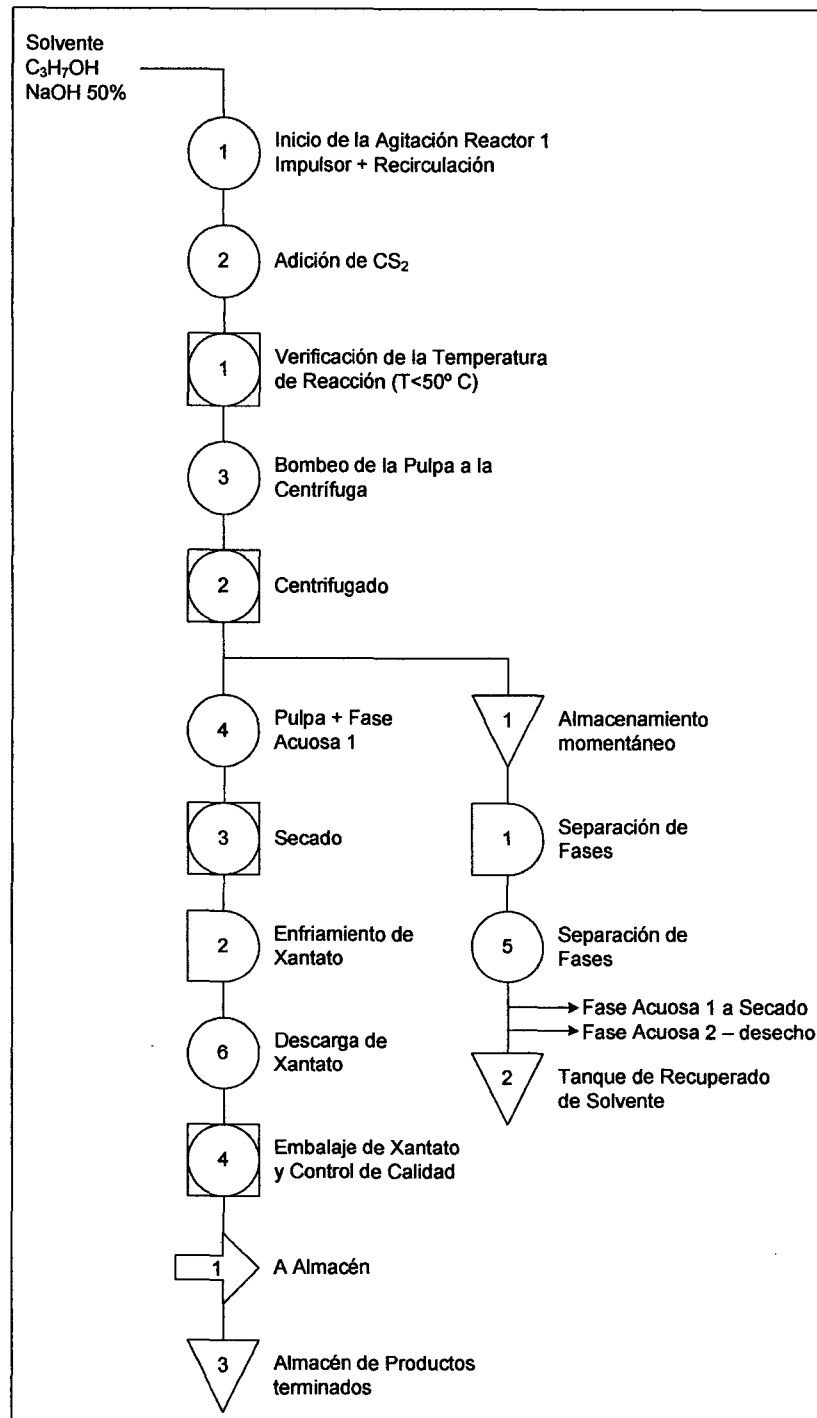


Figura 10. Diagrama de Operación del Proceso

### 7.6.5. Secuencia de Operación de Equipos

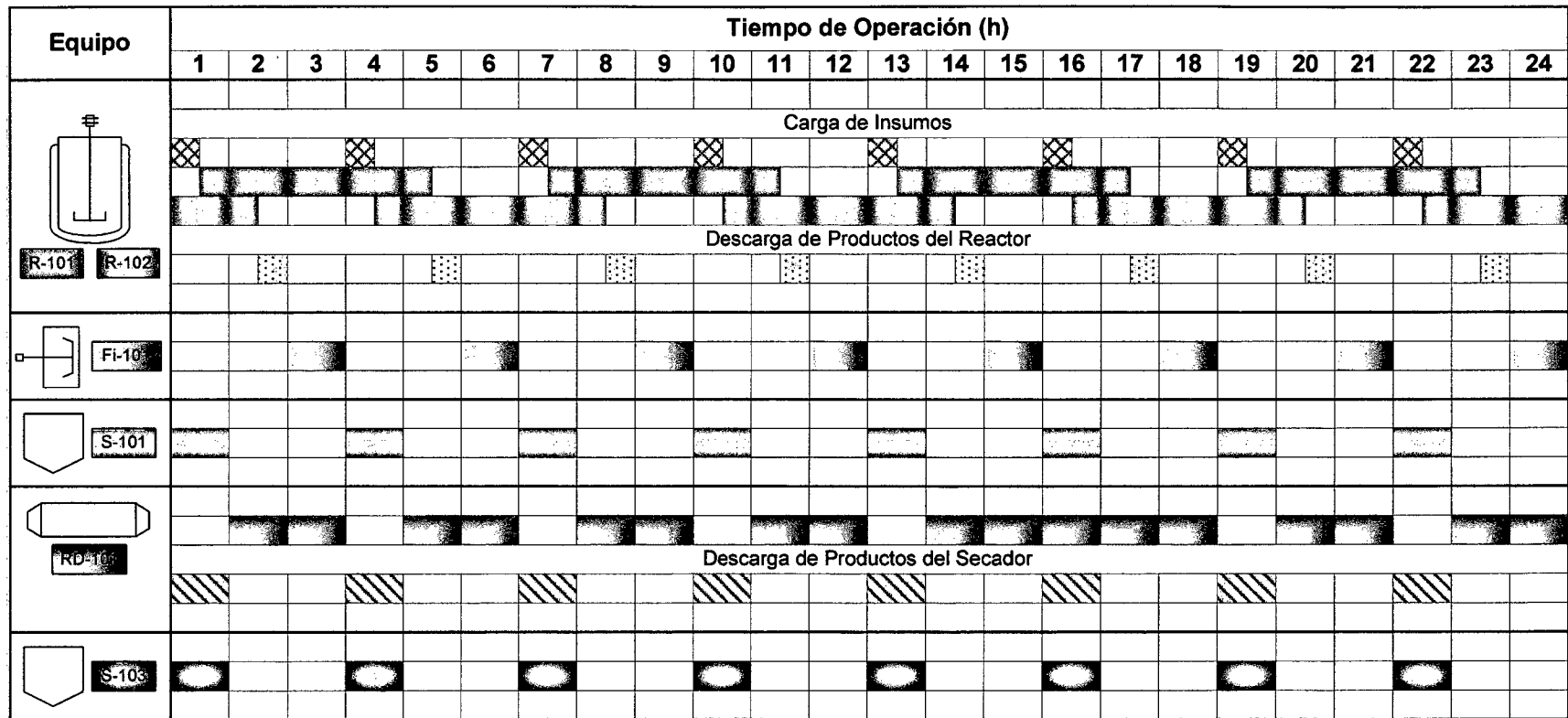


Figura 11. Diagrama de Secuencia de Operación de Equipos

## **7.7. Instrumentación**

El proceso será controlado inicialmente en las etapas más importantes y críticas del proceso.

Se propone la instalación de un sistema que permita:

- A nivel técnico: recopilar y compartir los datos del proceso con el fin de controlarlo, de éste modo se aumentará la eficiencia, productividad y calidad además de potenciar la operación segura de la planta. Para lo cual se propone instalar un sistema de control distribuido e implementar Controladores Lógicos Programables (PLC's), de este modo se podrá tener instrumentación con conectividad e integración instalada en planta.
- A nivel económico: el monitoreo remoto de parámetros de operación logrando facilitar las labores de control y así incrementar la productividad de la planta.

### **7.7.1. Funcionamiento y Cobertura:**

El objetivo principal del sistema es mostrar los valores en tiempo real de las variables críticas del proceso, se propone un sistema compuesto por tres niveles en una etapa inicial:

#### **1. Nivel 0:**

Conformado por los equipos de la Planta de Producción de Xantato, como resultado del proceso se tendrán variables de control que son los parámetros de operación en las diferentes etapas del proceso. Por ejemplo, en la etapa de reacción la temperatura de la pupa reactante.

#### **2. Interfaz Nivel 0/Nivel1:**

Conformada por los sensores que adquieren información digital, instrumentos de control que adquieren información analógica y actuadores o accionamientos. Uno de estos elementos son los actuadores de las válvulas de control de vapor

en la etapa de secador que define la función de entrada de vapor a dicha etapa.

En éste nivel la información transita hacia PLC's para ser procesada.

3. Nivel 1:

Los elementos en este nivel lo constituirán elementos programables que tendrán la capacidad de comunicarse con los otros equipos permitiendo que la planta opere según las necesidades o requerimientos del operador. Los elementos propuestos son controladores PLC's y paneles de interacción Hombre – Máquina (HMI).

4. Interfaz Nivel1/Nivel2:

Los elementos en esta interfaz son las redes de comunicación industrial y están comprendidos todos los accesorios y dispositivos necesarios.

5. Nivel 2:

En este nivel se encontrará el Sistema de Supervisión e Interfaces Hombre – Máquina (comprende software y hardware) que permite presentar en forma gráfica la información almacenada además es un entorno amigable al operador. Permitirá almacenar la información en registros históricos con el fin de tomar decisiones operativas.

**7.7.2. Elementos y Costos:**

La adecuada instalación de sistema de control requiere la contratación de mano de obra especializada. Se requiere además la programación del sistema que integre la información proveniente de los dispositivos de campo.

a. Control en la etapa de Secado

En esta etapa es importante controlar la presión del vapor, para ello se instalarán sensores de temperatura y presión, la variable manipulada será la presión del vapor. Además se controlaran parámetros como el flujo de vapores al condensador y el nivel en el tanque de almacenamiento de condensados.

Ítem	Cantidad	Descripción	Costo US\$
1	2	Válvula de Control Proporcional con actuador automático 2"	3 722,00
2	2	Sensor Termoresistivo	112,00
3	2	Transmisor de Temperatura	274,00
4	2	Filtro regulador lubricador	258,00
5	1	Transmisor de Presión Diferencial	900,00
6	1	Tubo Pitot	350,00
7		Software de Programación	1 800,00
8		Servicios de Programación y Configuración	1 200,00
9		Montajes Sistemas Electromecánicos	1 000,00
10		Otros (cableado, conexiones, etc)	1 500,00
<b>Total US\$</b>			<b>11 116,00</b>

Tabla 15. Elementos y Costos para el Control de Secado

b. Control en la etapa de reacción

El primer sistema de control se implementará en el reactor, debido a dos razones: a que se trabaja con una reacción exotérmica y a que el producto es muy susceptible a la temperatura.

Se instalará dos sensores de temperatura y válvulas de control; la variable de entrada será la temperatura en el reactor y las variables manipuladas serán el flujo de adición del Bisulfuro de Carbono en primera instancia y el flujo de agua en la chaqueta como variable auxiliar. También se tiene fijado el set point que



será un valor cercano a la temperatura de degradación del Xantato.

Además se habilitarán sensores para monitorear parámetros clave como la presión y flujo de agua de enfriamiento al condensador superior.

Ítem	Cantidad	Descripción	Costo US\$
1	4	Válvula de Control Proporcional con actuador automático 2"	7 444,00
2	4	Sensor Termoresistivo	224,00
3	4	Transmisor de Temperatura	548,00
4	4	Filtro regulador lubricador	516,00
5	1	Transmisor de Presión Diferencial	900,00
6	1	Tubo Pitot	350,00
7		Software de Programación	1 800,00
8		Servicios de Programación y Configuración	1 200,00
9		Montajes Sistemas Electromecánicos	1 000,00
10		Otros (cableado, conexiones, etc)	1 500,00
<b>Total US\$</b>			<b>16 182,00</b>

Tabla 16. Elementos y Costos para el Control de la Reacción

c. Instrumentación general de planta

Ítem	Cantidad	Descripción	Costo US\$
1	2	Transmisor de Presión 0-80 psi, para vapor	2 000,00
2	2	Transmisor de Presión 0-29 inHg, para vapor	1 350,00
3	1	Transmisor de Presión Diferencial	1 150,00
4	2	Sensor Termoresistivo	140,00
5	2	Transmisor de Temperatura	320,00
6	2	Tableros	1 000,00
7		Servicios de Programación y Configuración	2 000,00
8		Montajes Sistemas Electromecánicos	800,00
9		Otros (cableado, conexiones, etc)	1 500,00
<b>Total US\$</b>			<b>10 260,00</b>

Tabla 17. Elementos y Costos para la Instrumentación general de la Planta

d. Sistema de supervisión e Interfaces

Ítem	Cantidad	Descripción	Costo US\$
1	1	Computadora	1 800,00
2	4	Kit display programable con salida de retransmisión	4 400,00
3	4	Alarmas visuales	80,00
4	2	Alarmas auditivas	130,00
5		Switch Etemet D-link	1 750,00
6		Software de supervisión SCADA	5 000,00
7		Servicios de Programación y Configuración	2 000,00
8		Montajes Sistemas Electromecánicos	500,00
9		Otros (cableado, conexiones, etc)	1 000,00
<b>Total US\$</b>			<b>16 600,00</b>

**Tabla 18.** Elementos y Costos para la Supervisión de Interfase

Los precios considerados son tomados de distintos proveedores en el mercado actual de instrumentos de control, éstos precios varían de acuerdo a la marca y procedencia; sin embargo, se ha visto por conveniente tener como referencia un presupuesto aproximado de la instrumentación de planta; éste costo total aproximado ascendería a US\$ 46 296,0. Este costo no ha sido considerado para los cálculos económicos realizados en este trabajo debido a que se requiere que la nueva planta se estabilice; es decir, los equipos deben acoplarse y el sistema debe estabilizarse para poder conocer el comportamiento real del sistema e iniciar el proceso de instrumentación.

## **7.8. Control de Calidad**

### **7.8.1. Control de Insumos**

Se realizarán las pruebas necesarias para comprobar las condiciones óptimas de los Insumos requeridos.

### **7.8.2. Control durante el Proceso**

El control durante el Proceso tiene el objetivo de comprobar el avance de la reacción, de tal manera que ésta se lleve a cabo en el tiempo establecido.

Se realizarán muestreos en el reactor, de  $\frac{1}{2}$  a 1 hora después de terminada la adición de  $CS_2$ .

Con el resultado de estos análisis se procederá a calcular las cantidades de materia prima (Alcohol y Bisulfuro) que son necesarias adicionar, para asegurar el término de la reacción.

Se repetirán estos procedimientos cada  $\frac{1}{2}$  hora, hasta que los valores del álcali libre sean menores a 0.24%.

### **7.8.3. Control de Producto Terminado**

Se realizará el Control de Producto terminado con el fin de cumplir las especificaciones técnicas. Se utilizará el Método de Hirschkind (ácido – base) para muestras del tipo industrial.

## **7.9. Localización De Planta**

La Planta se ubicará en un terreno aledaño a la Empresa existente.

## 8. ASPECTO ECONÓMICO DEL PROCESO

### 8.1. Costos Directos

GASTOS		MUS\$/Año
<b>GASTOS DIRECTOS</b>		
INSUMOS	\$/kg	7 506
CRÉDITOS DE SUBPRODUCTOS	0,000 \$/kg	0
Solvente N° 1	1,067 \$/kg	281
MANO DE OBRA OPERACIÓN		91
SUPERV. Y MANO DE OBRA OF. (10-20 % mano de obra)		14
<b>SERVICIOS</b>		
Vapor Calderas @	0,064 \$/kg	397
Gas Natural @	0,070 \$/sm <sup>3</sup>	166
Electricidad @	0,098 \$/KW	84
Agua Proceso @	0,000 \$/kg	0
Agua de Enfriamiento @	0,011 \$/m <sup>3</sup>	13
Manejo Desechos @	0,065 \$/kg	88
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES (2-10 % capital fijo)	2 %	33
SUMINISTROS DE OPERACIÓN (10-20 % mantenimiento y operaciones)	10 %	3
CARGOS DE LABORATORIO (10-20 % mano de obra operaciones)	10 %	9
<b>TOTAL A<sub>DME</sub></b>		<b>8 387</b>

Tabla 19. Costos Directos

### 8.2. Costos Indirectos

GASTOS		MUS\$/Año
<b>GASTOS INDIRECTOS</b>		
GENR, EMPACADO, ALMACÉN (50-70 % de m.o. + superv. + mnto.)	50 %	69
IMPUESTOS LOCALES (1-2 % del Capital Fijo)	1 %	16
SEGUROS (0.4-1.0 % del Capital Fijo)	0,4 %	7
<b>TOTAL A<sub>DNE</sub></b>		<b>92</b>

Tabla 20. Costos Indirectos

### 8.3. Gastos Generales

GASTOS		MUS\$/Año
<b>GASTOS GENERALES (OVERHEAD)</b>		
GASTOS ADMINISTRATIVOS (25 % gastos generales)	25 %	17
GASTOS DE DISTRIBUCIÓN Y VENTAS (10 % gasto total)	10 %	972
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (5 % gasto total)	5 %	486
<b>TOTAL A<sub>GE</sub></b>		<b>1 475</b>

Tabla 21. Gastos Generales

## 8.4. Capital Necesario

### 8.4.1. Capital Fijo

El costo de los principales equipos y accesorios asciende a MUS\$ 1 640,35; el detalle de éste cálculo está contenido en el Anexo G.

### 8.4.2. Capital de Trabajo

Se considera que se trata de una operación normal por lo que el Capital de Trabajo, el 15% del Capital Fijo; ascendiendo a MUS\$ 246,05. (Ver Anexo G)

## 8.5. Costos de Manufactura

<b>GASTOS</b>	<b>MUS\$/Año</b>
COSTOS DIRECTOS	8 387,00
COSTOS INDIRECTOS	92,00
<b>COSTOS DE MANUFACTURA (No inc. Depr)</b>	<b>8 479,00</b>
Depreciación	164,00
<b>COSTOS DE MANUFACTURA TOTAL</b>	<b>8 315,00</b>

Tabla 22. Costo de Manufactura

La Tabla desarrollada de los Costos de Manufactura y los Costos de los Equipos, se muestran en el ANEXO G.

### 8.6. Justificación Económica

El análisis de la rentabilidad económica del proyecto (que será visto a continuación) exige tener como referencia el mercado actual del Xantato Isopropílico de Sodio, principalmente debido a que los principales consumidores del producto además de establecer los estándares de calidad que debe cumplir el producto; establecen de cierta manera el precio del producto.

En base a tal información se ha fijado el precio de venta del Xantato que permita generar ganancias y a la par que permita al producto competir en el mercado.

De información estadística confidencial se sabe que el precio por kilogramo de Xantato en el mercado actual, fluctúa entre US\$ 1,56 y US\$ 2,44. Para los cálculos respectivos, el precio se ha fijado en U\$1,78 por Kilogramo de Xantato, con lo cual se obtiene una ganancia MUS\$ 170 anuales y se asegura una tasa interna de retorno del 36,68%.

Además, se ha logrado disminuir en un 65% la cantidad de solvente requerido por el proceso; así, suponiendo que la planta propuesta trabaje a la máxima capacidad de producción, lo que equivale a una producción anual de 5 835 TM de Xantato Isopropílico de Sodio, el costo de manufactura quedaría reducido significativamente como se aprecia en el siguiente cuadro:

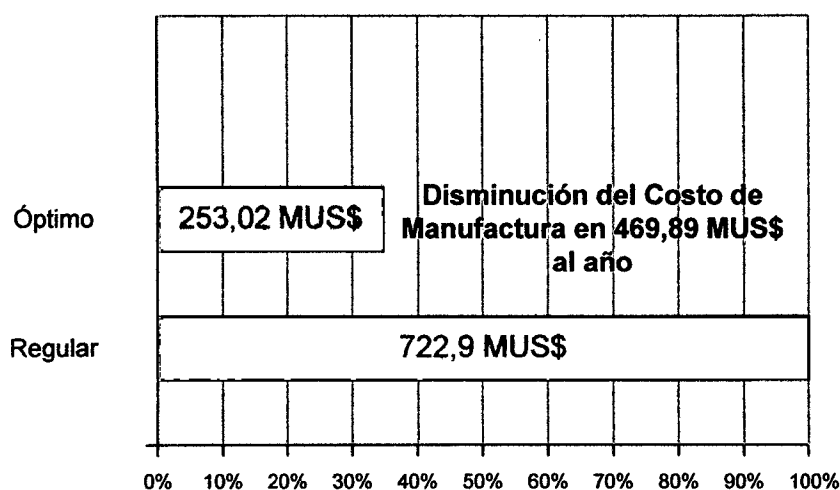


Gráfico 14. Disminución del Costo de Manufactura por ahorro del Solvente.

## **8.7. Indicadores de Rentabilidad**

Los principales Indicadores de Rentabilidad son:

- Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Relación Beneficio/Costo (B/C)

Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA PLANTA DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO											
VALOR DE RESCATE	164.03										
TASA DE DESCUENTO	15%										
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS		10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19
EGRESOS		8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00	8 479,00
UTILIDAD BRUTA		1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19	1 890,19
GASTOS ADMINISTRATIVOS		17,19	17,19	17,19	17,19	17,19	17,19	17,19	17,19	17,19	17,19
GASTOS VENTAS		972,15	972,15	972,15	972,15	972,15	972,15	972,15	972,15	972,15	972,15
UTILIDAD OPERACIÓN		900,85	900,85	900,85	900,85	900,85	900,85	900,85	900,85	900,85	900,85
DEPRECIACIÓN		147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63
RENTA NETA		753,22	753,22	753,22	753,22	753,22	753,22	753,22	753,22	753,22	753,22
IMP. A LA RENTA 30%		225,96	225,96	225,96	225,96	225,96	225,96	225,96	225,96	225,96	225,96
UTILIDAD NETA		527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIONES											
CAPITAL FIJO PROPIO	1 640,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1 640,35
CAPITAL DE TRABAJO		246,05	246,05	246,05	246,05	246,05	246,05	246,05	246,05	246,05	246,05
Δ CAPITAL DE TRABAJO		246,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-246,05
INVERSIÓN TOTAL	1 640,35	246,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1 394,30
UTILIDAD NETA		527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25	527,25
DEPRECIACIÓN		147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63	147,63
FNF	-1 640,35	428,83	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 069,18
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VPN	-1 640,35	372,90	510,31	443,75	385,87	335,54	291,77	253,71	220,62	191,84	511,47
VPN ACUMULADO	-1 640,35	-1 267,45	-757,15	-313,40	72,47	408,00	699,77	953,49	1 174,11	1 365,95	1 877,42

Tabla 23. Datos para la evaluación del VPN y TIR

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS		10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19	10 369,19
COSTOS		10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45	10 118,45
FNF		250,74	250,74	250,74	250,74	250,74	250,74	250,74	250,74	250,74	250,74

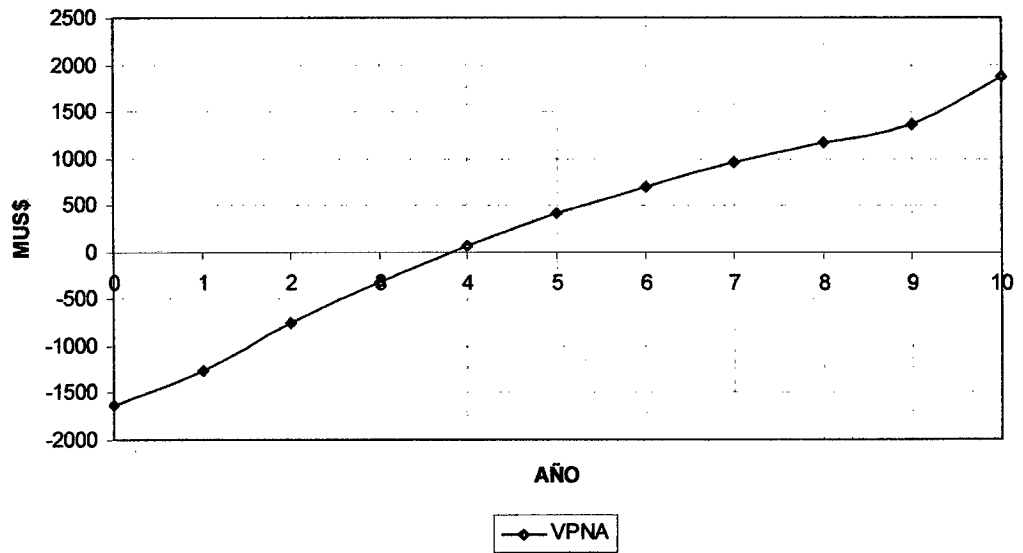
Tabla 24. Datos para la evaluación de la relación Beneficio/Costo



**VPN = 1 877,42 MUS\$ del año 0.**

**TIR = 36,68 %**

Como el VPN es mayor que cero y la TIR mayor que la tasa de descuento el Proyecto es rentable.



**Gráfico 15. Valor Presente Neto acumulado de Producción de Xantato Isoprílico de Sodio**

**Tiempo de Recupero: 3,8 años**

Relación Beneficio/Costo (B/C)

$$B/C_{TD} = \frac{VPIng_{TD,0}}{VPEgr_{TD,0}} = \frac{\sum Ing_j / (1+TD)^j}{\sum Egr_j / (1+TD)^j}$$

$$VPIng_{15\%,0} = 691\,279,14$$

$$VPEgr_{15\%,0} = 674\,563,20$$

$$\text{Relación B/C}_{15\%} = 1,025$$

Al resultar la relación B/C mayor que 1,0; se concluye que el **Proyecto es rentable.**

**8.8. Análisis de Sensibilidad**

Las variables consideradas para realizar el Análisis de Sensibilidad son:

<b>Variab</b> les	<b>Valor Máximo</b> ( $\beta_{MAX}$ )	<b>Valor Mínimo</b> ( $\beta_{MIN}$ )
Inversión	0,80	1,30
Precio de los Insumos	0,85	1,10
Precio del Producto	0,90	1,15
Costos Variables	0,80	1,30

Tabla 25. Variables para el Análisis de Sensibilidad.

Las Tablas desarrolladas del Análisis de Sensibilidad a cada una de las variables, se muestran en el ANEXO G; a continuación se tiene el resumen del Análisis de Sensibilidad.

### Resumen del Análisis de Sensibilidad

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA PLANTA DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO								
$\beta$	VPN 15%,0				TIR (%)			
	Inversión	Precio de los Insumos	Precio del Producto	Costos Variables	Inversión	Precio de Materia Prima	Precio del Producto	Costos Variables
0,80	2 179,35			1 992,71	46,41			39,71
0,85	2 130,87	6 282,29		1 963,89	43,55	87,61		38,91
0,90	2 028,39	4 184,00	-1 765,42	1 935,07	41,00	70,53	-6,18	38,14
0,95	1 959,90	3 345,71	56,00	1 906,24	38,73	53,56	15,65	37,40
1,00	1 877,42	1 877,42	1 877,42	1 877,42	36,68	36,68	36,68	36,68
1,05	1 801,94	409,13	3 698,84	1 848,60	34,83	19,76	57,63	35,99
1,10	1 726,45	-1 059,16	5 520,26	1 819,77	33,14	2,46	78,73	35,32
1,15	1 650,97		7 341,68	1 790,95	31,60		99,99	34,67
1,20	1 575,49			1 762,13	30,19			34,04
1,25	1 500,00			1 733,30	28,89			33,44
1,30	1 424,52			1 704,48	27,69			32,85

Tabla 26. Resumen del Análisis de Sensibilidad

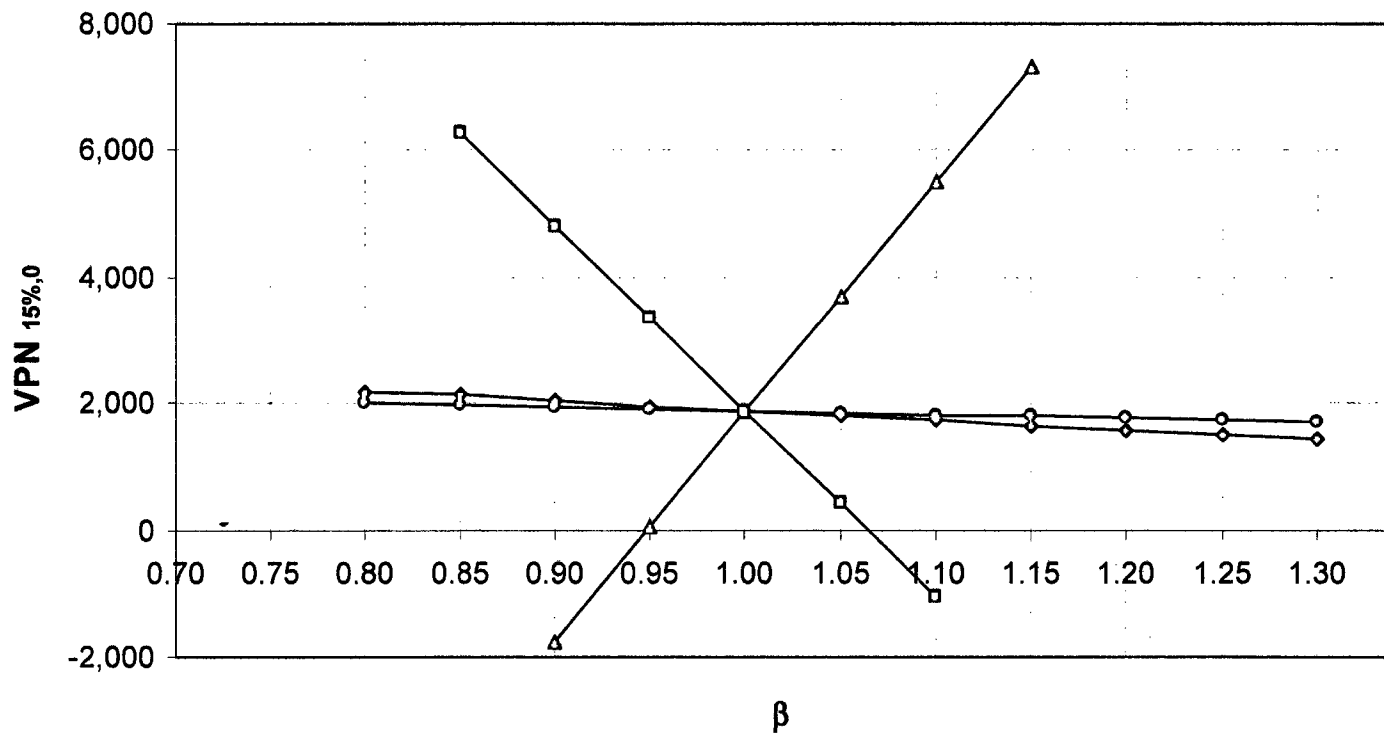


Gráfico 16. Análisis de Sensibilidad

El Proyecto es más sensible a las variables Precio de los Insumos y Precio del Producto, éstas podrían hacer que el Proyecto no sea rentable.

## **9. ASPECTOS DE SEGURIDAD Y AMBIENTALES**

A lo largo del proceso productivo de toda sustancia química se deben tener en consideración los aspectos de seguridad y los aspectos ambientales, ambos tienen igual importancia; más aún cuando se trata de la producción de una sustancia química como el Xantato, que requiere materia prima altamente peligrosa lo que obliga al uso de equipos adecuados .

En la planta que proponemos, la seguridad en la manipulación tanto de insumos como del producto y subproductos así como la correcta operación de los equipos estarán guiados por procedimientos adecuados.

### **9.1. Consideraciones de Seguridad**

El proceso se centra en una reacción exotérmica y es justamente la naturaleza de esta reacción la que genera el principal riesgo que viene a ser el posible descontrol de la reacción; siendo las principales causas:

*“pérdida de la capacidad refrigerante del sistema, alteraciones en la materia prima utilizada como reactivo o incluso por causas externas”  
(NTP 527: Reacciones Químicas Exotérmicas (I): Factores de Riesgo –  
Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España*

Como posibles efectos ante una situación de descontrol de la reacción pueden ser muy diferentes, dentro de los más significativos están:

1. Daños irreversibles en la salud de los trabajadores como quemaduras graves, llegando a causar incluso la muerte.
2. Alta turbulencia llegando a producirse derrames.

3. Incremento de la presión en el reactor, incluso puede desencadenar explosiones.
4. Explosiones de alto poder destructivo; sumado a ello, debe considerarse que las áreas de almacenamiento de los insumos son aledañas a la planta de producción lo que hace aún más riesgosa la operación.
5. Pérdidas cuantiosas a nivel de instalaciones como de inversión en los insumos, materiales y productos en stock.

Se considera, por lo tanto, importante el control preventivo de la etapa de reacción para lo cual se instalará la instrumentación adecuada para monitorear la temperatura, agitación, presión y refrigeración; este control incluye además procedimientos de organización y medidas de mantenimiento adecuadas.

Evaluando otros posibles riesgos se han puesto en evidencia algunos aspectos críticos en éste proceso, como son:

El manejo de los insumos es la principal consideración que se tendrá en cuenta ya que son sustancias peligrosas. Se tiene debidamente identificadas todas las sustancias y se preverá la adecuada manipulación y transporte. Las hojas de seguridad de cada insumo se encuentran anexas al presente trabajo.

Además, los sistemas de almacenamiento de los insumos químicos deberán contar con muros o diques de contención diseñados para contener un volumen, al menos, del 110% del tanque de almacenamiento. Cabe mencionar que los costos que corresponden a este tipo de medidas de seguridad forman parte de los costos de las instalaciones auxiliares<sup>24</sup>.

Por otro lado, debido a las características particulares que tiene este proceso productivo, otro de los riesgos de mayor magnitud en las áreas operativas y de almacenamiento, lo constituyen los incendios y explosiones; eventos que requieren ser apropiadamente prevenidos o controlados, por lo cual se debe implementar un sistema antiincendios adecuado

---

<sup>24</sup> Ver Anexo G

Será necesario además el uso de equipo personal de protección para los trabajos en planta, ya que se considera que en la práctica, no es posible eliminar ciertos peligros.

## **9.2. Impacto Ambiental**

Para la determinación de los impactos ambientales producto de las actividades de la Planta de producción de Xantato Isopropílico de Sodio se han analizado las principales etapas propuestas del proceso considerando paralelamente algunos datos comunes con el proceso de producción actual.

Dentro de todos los aspectos ambientales el más importante es la generación de efluentes cuyo impacto directo es la contaminación del agua de la línea de alcantarillado. El efluente es generado en distintas etapas de proceso siendo el aporte principal y más abundante el procedente de la etapa de centrifugación; los otros aportes significativos por su contenido, aunque de volúmenes menores, son los provienen de la bomba de vacío en la etapa de secado y de la zona de calderos.

Por lo que respecta a la manipulación de los insumos, existe la potencial probabilidad de derrame de sustancias tóxicas siendo sus impactos directos la contaminación del suelo y la contaminación de aire ya que se trabaja con sustancias volátiles y tóxicas. Las emisiones atmosféricas, provienen en general tanto de la manipulación de insumos, productos y subproductos en el área de producción como de los gases de combustión del área de calderas.

Otra operación generadora de contaminantes ambientales son el área de secado y el área de embalaje, ya que se generan polvos muy livianos tanto en la operación de secado y descarga del producto, como durante la operación de embalaje, éstos polvos tienden a dispersarse rápidamente en el ambiente.

En lo que respecta a ruido, como toda industria se genera cierto nivel de ruido pero para determinar si constituye un impacto ambiental significativo se requiere que la planta esté produciendo.

La generación de residuos sólidos también es un aspecto importante a tomar en cuenta; en este caso los residuos provienen principalmente del área de almacén de productos e insumos, del área de secado y del área de embalaje.

Todos estos aspectos y sus respectivos impactos requieren ser estudiados con la planta de producción en plena operación.

#### **9.2.1. Emisiones**

Ante una posible falla de alguno de los condensadores se emitirían vapores altamente inflamables y tóxicos; ante esta situación la medida inmediata será el enfriamiento del reactor y/o del secador. Ambos equipos cuentan con chaquetas y serían instaladas las respectivas líneas de agua de enfriamiento.

Sin embargo, la acción primordial en este aspecto es preventiva es decir se debe garantizar el correcto funcionamiento de los condensadores por considerarse equipos críticos en la planta y para ello se debe contar con un adecuado manejo de la gestión del mantenimiento en planta.

#### **9.2.2. Efluentes**

Los efluentes líquidos son los más importantes dentro de éste proceso. Las consideraciones más importantes relacionadas con el efluente líquido y su calidad, es el contenido de sólidos muy finos en suspensión y la demanda química de oxígeno.

Esta línea de efluente será descargada a la línea de alcantarillado, por lo que se requieren pruebas de los efluentes de la producción nivel piloto; para poder instalar un sistema de tratamiento previo. Los índices de calidad del efluente a ser vertido deben cumplir con determinadas normas como los Reglamentos de Descargas Industriales (D.S. N° 28-60-S.A.P.L.) y otras que regulan las características permisibles de efluentes industriales.



### 9.2.3. Tratamiento de Efluentes

El principal efluente es un subproducto proveniente de la etapa de reacción, se genera un aproximado de 970 L efluente/ lote.

Sus características químicas y organolépticas son: naturaleza acuosa (73% agua) y otros sólidos (carbonatos, tiocarbonatos y otros) subproductos de la reacción de formación del Xantato (24%); de color oscuro y pH básico (11.2); es necesario mencionar que estos datos han sido obtenidos del balance de masa y de las pruebas a nivel de laboratorio, por lo que la información no constituye un grupo de datos, que permitan determinar un tratamiento a nivel industrial; se requieren pruebas por lo menos a nivel piloto.

### 9.3. Salud Ocupacional

Por tratarse de operaciones riesgosas el aspecto de protección de la salud de los operarios es muy importante. Los trabajadores deben contar con accesorios de protección personal además de recibir una capacitación permanente en temas referentes a prevención y manejo de materiales peligrosos además de la preparación adecuada para la toma de acciones ante posibles accidentes.

En general se debe contar con un Sistema de Gestión de la Seguridad y la salud en la planta, en este sentido es importante cumplir con las normas establecidas<sup>25</sup>, dentro de las más importantes están: Decreto Supremo 009-2005-TR<sup>26</sup> referente al Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo y la Resolución Ministerial N° 148-2007-TR<sup>27</sup> referente al Reglamento de Constitución y Funcionamiento del Comité y Designación de funciones del supervisor de Seguridad y Salud en el trabajo.

---

<sup>25</sup> Ver Anexo H

<sup>26</sup> [http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/normasLegales/DS\\_009\\_2005\\_TR.pdf](http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/normasLegales/DS_009_2005_TR.pdf)

<sup>27</sup> [http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/normasLegales/RM\\_148\\_2007\\_TR.pdf](http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/normasLegales/RM_148_2007_TR.pdf)

## 10. CONCLUSIONES

- La factibilidad técnica de elaboración de Xantato Isopropílico de Sodio a nivel piloto, está comprobada debido a que se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto a rendimiento y calidad del producto. Sin embargo, pudo comprobarse también que la temperatura es un parámetro que requiere un cuidadoso control del proceso al nivel de la investigación y más aún cuando se trate de producir a mayores escalas.
- Los resultados obtenidos en el diseño de equipos, nos confirman también que es posible la producción a nivel industrial, ya que se requerirían equipos y accesorios que se encuentran con facilidad en el mercado o de lo contrario, que su construcción no requiere tecnologías poco conocidas.
- La cinética de la reacción de formación del Xantato Isopropílico de Sodio no reporta estudios conocidos por lo que para efectos de esta investigación se ha realizado un estudio cinético orientado al reactivo limitante, reactivo que además está siendo usado en estado líquido. Se obtuvo una velocidad de reacción concordante con los resultados obtenidos a lo largo de las pruebas experimentales que describe particularmente sólo la reacción en estudio.
- La Capacidad Instalada en TM/año, será de 5 835 TM/año
- Para los cálculos respectivos, el precio se ha fijado en U\$1,78 por Kilogramo de Xantato, con lo cual se obtiene una ganancia MUS\$ 170,0 anuales.

- De acuerdo a la Evaluación Económica, se concluye que el Proyecto es Rentable con un VPN de 1 877,42 MUS\$ del periodo cero (presente). La TIR = 36,68% > 15%, lo cual indica que el rendimiento del Proyecto es mayor al Costo de Capital de los Accionistas, por lo que el Proyecto es viable. La relación B/C = 1,025 > 1, lo cual nuevamente indica que el Proyecto es económicamente rentable. El periodo de recupero se da entre el tercer y el cuarto año de operación del Proyecto.
- El aspecto ambiental más importante es la generación de residuos líquidos; el efluente en mención debe ser evaluado a nivel piloto para poder determinar su calidad con mayor precisión; sin embargo, al nivel trabajado se puede decir que se trata de un efluente con pH básico, cuyo color característico está dado por las partículas en suspensión que contiene.

## 11. RECOMENDACIONES

- Ya finalizada la investigación se recomienda realizar un estudio únicamente del Secado del producto, ya que éste es susceptible en todas las etapas del proceso a temperaturas altas; y es precisamente durante el secado que está expuesto a estas condiciones. Esta subsiguiente investigación debería incluir pruebas a nivel piloto y estar respaldadas por los respectivos análisis de control de calidad producto.
- Además es preciso hacer un estudio de la etapa de Filtración del producto, para determinar con mayor precisión los tiempos de operación y el tipo de malla a utilizarse.
- Es también necesario poner énfasis en el almacenamiento y posterior distribución de éste tipo de producto, por lo que se sugiere probar un sistema de envasado a vacío, lo cual según investigaciones previas, minimizaría las reacciones de oxidación del Xantato, conservándolo con una calidad casi invariable por prolongados espacios de tiempo. Esta investigación deberá ser respaldada por una evaluación económica.
- Realizar el monitoreo de los parámetros ambientales, lo que permitirá verificar que los posibles contaminantes se encuentren dentro de los límites permisibles.
- Se debe hacer pruebas de los efluentes para determinar si cumple la normativa actual o si requiere un tratamiento previo; incluso, se podría evaluar la probabilidad de tratar el efluente par su reutilización.
- Efectuar un mantenimiento periódico de todas las instalaciones, con la finalidad de que se encuentre en buen estado de operatividad ante cualquier emergencia.

- Ejecutar reuniones y simulacros de incendio con el personal de la Empresa, con el fin de que se conozcan las acciones de respuesta en caso de producirse una emergencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Perry, Robert H.; 2001; Manual del Ingeniero Químico; Estados Unidos; McGraw - Hill.
  
- [2] Kirk-Othmer; 1998; Encyclopedia of Chemical Technology; Estados Unidos; John Wiley & Sons Inc.
  
- [3] Ulrich, Gael D.; 1992; Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química; México; Nueva Editorial Interamericana.
  
- [4] Turton, Richard; Bailie, Richard C; Withing, Wallace B.; Shaeiwitz, Joseph A.; 1998; Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes; Estados Unidos; Prentice Hall.
  
- [5] Ludwig, Ernest E.; 1999; Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants; Estados Unidos; Butterworth-Heinemann.
  
- [6] Ullmann; 2000: Encyclopedia of Industrial Chemical; Estados Unidos; McGraw - Hill.
  
- [7] Peters, Max S.; Timmerhaus Klaus D.; 1978; Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos; Argentina; Editorial Géminis S.R.L.
  
- [8] Fogler, H. Scott; 2001; Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas; México; Pearson Education.
  
- [9] Levenspiel, Octave; 2004; Ingeniería de las Reacciones Químicas; México; Limusa Wiley.

- [10] Kern, Donald Q.; 2001; Procesos de Transferencia de Calor; México; McGraw – Hill.
  
- [11] Incropera, Frank; DeWitt, David; 1996; Fundamentos de Transferencia de Calor; México; Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
  
- [12] Kreith, Frank; Bohn, Marok; 2001; Principios de Transferencia de Calor; México; Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
  
- [13] McCabe, Warren; Smith Julian C.; Harriott Peter; 2002; Operaciones Unitarias en Ingeniería Química; México; McGraw – Hill.
  
- [14] Foust, Alan S.; Wenzel, Leonard A.; Clump. Curtis W.; Maus, Louis; Andersen, L. Bryce; 1998; Principios de Operaciones Unitarias; México; Compañía Editorial Continental S.A.
  
- [15] Geankoplis, Christie J.; 2003; Procesos de Transporte y operaciones Unitarias; México; Compañía Editorial Continental.
  
- [16] Felder, Richard M.; Rousseau, Ronald W.; 1981; Principios Básicos de los Procesos Químicos; México; Editorial El Manual Moderno S.A.
  
- [17] Brown, George G.; 1956; Operaciones Básicas de la Ingeniería Química; México; Manuel Marín y Cía. Editores.
  
- [18] Reid, Robert C; Sherwood, Thomas K.; 1968; Propiedades de los Gases y Líquidos, su Estimación y Correlación; México; Unión Topográfica Editorial Hispano Americana.
  
- [19] Streeter, Victor L.; Wylie, E. Benjamin; Bedford, Keith W.; 1999; Mecánica de Fluidos; México; McGraw - Hill.

- [20] Bird, R. Byron; Stewart, Warren E.; Lightfoot, Edwin N.; 1975; Fenómenos de Transporte; México; Editorial Reverté S.A.
- [21] Treybal, Robert E.; 1988; Operaciones de Transferencia de Masa; México; McGraw - Hill.
- [22] Smith, J. M.; Van Ness H. C.; Abbott, M. M.; 2002; Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química; México; McGraw - Hill.
- [23] Reid, Robert C.; Prausnitz John M.; Poling Bruce E.; 1986; The Properties of gases and Liquids; Estados Unidos; McGraw - Hill.
- [24] Lide, David R.; 2008; Handbook of Chemistry and Physics.
- [25] Yaws, Carl L.; Chemical Properties Handbook. Physical, Thermodynamic, Transport, Safety and Health related Properties for Organics and Inorganics Chemicals.
- [26] Himmelblau David M.; 1997; Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química; México; Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- [27] Maron, Samuel H.; Prutton, Carl F.; 1984; Fundamentos de Fisicoquímica; México; Editorial Limusa.
- [28] Creus, Antonio; 2005; Instrumentación Industrial; México; Alfaomega Grupo Editor.
- [29] García, André; Castillo, Francisco J.; 2006; El computador en la Automatización de la Producción: CIM; España; Editorial de la Universidad Castilla-La Mancha.
- [30] McNaughton, Kenneth J.; 1992; Bombas, Selección, Uso y mantenimiento; México; McGraw – Hill.



- [31] Viejo, Manuel; Álvarez, Javier; 1979; Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones; 2ª Edición; México; Editorial Limusa.
- [32] Currie, John; 1984; Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales.
- [33] Muther, Richard; 1965; Distribución de Planta; España; Editorial Hispano Europea.
- [34] Díaz, Bertha; Jarufe, Benjamín; Noriega, María T.; 2007; Disposición de Planta; Perú; Fondo Editorial Universidad de Lima.
- [35] Mesías, E.; Mayero, L.M.; Manual De Toxicología Básica.
- [36] "Curso Básico de Seguridad", Manual Pluspetrol.
- [37] "Manual de preparación y Respuesta a Emergencias del sistema de Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente OHSAS 18001/ISO 14001" Hochschild Mining.
- [38] "NTP 527: Reacciones Químicas Exotérmicas: Factores de Riesgo", Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales de España- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

## **PATENTES**

- [39] Chia, C., Cunah, J.E.; Lusby, G. R.; 1975; Manufacture of Alkali-metal Xanthate; United States Patent 3 864 374.
  
- [40] Graves, George D.; 1936; Xanthates and Method of Making Same; United States Patent 2 037 718.
  
- [41] Cunningham, G. L.; 1937; Process for making Alkali metal alcoholates; United States Patent 2 069 403.
  
- [42] McCool, J.C.; 1954; Method of preparing alkali metal Xanthates; United States Patent 2 678 939.
  
- [43] Chia, C.; 1973; Xanthate Manufacture; United States Patent 3 767 692.
  
- [44] Chia, C; Currah J.; 1975; Manufacture of Alkali Metal Xanthates; Canadian Patent 967 584.
  
- [45] Rosenstein L.; 1935; Preparation of Xanthates; United States Patent 2 011 302.
  
- [46] Rosenstein L.; 1935; Process of making Xanthates; United States Patent 2 024 923.
  
- [47] Tesis: "Obtención del Xantato de la Oxima de Ciclohexanona y el estudio Comparativo con el Xantato del Ciclohexanol", Univ. Autónoma de Nueva León, Fac. de Ciencias Químicas, Q.I. Juan M. Cuevas Martínez, (1984).

## **PÁGINAS WEB VISITADAS**

- [48] [www.miningbasics.com/xanthates](http://www.miningbasics.com/xanthates)
- [49] [www.coogee.com.au/products-Xanthates](http://www.coogee.com.au/products-Xanthates)
- [50] [www.aduanet.gob.pe](http://www.aduanet.gob.pe)
- [51] [www.sunat.gob.pe](http://www.sunat.gob.pe)
- [52] [www.cisproquim.org.co/HOJAS\\_SEGURIDAD/](http://www.cisproquim.org.co/HOJAS_SEGURIDAD/)
- [53] [www.petroperu.com.pe/Portalweb](http://www.petroperu.com.pe/Portalweb)
- [54] [www.fantini.com.ar/](http://www.fantini.com.ar/)
- [55] [www.arvicr.com/](http://www.arvicr.com/)
- [56] [www51.honeywell.com/](http://www51.honeywell.com/)
- [57] [antiguo.itson.mx/laboratorios/FENOLFTALEINA.pdf](http://antiguo.itson.mx/laboratorios/FENOLFTALEINA.pdf)
- [58] <http://www.twilight.mx/Viscosímetros/Viscosímetros-Copa-Ford.html>
- [59] <http://www.ingetecsa.com>
- [60] <http://www.minem.gob.pe>

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

**Notación**

**Símbolos Griegos**

**Abreviaturas**

**Subíndices**

**Superíndices**

**Grupos Adimensionales usados en la Transferencia de Calor**

**Tabla de Conversión de Unidades**

## NOTACIÓN

A	Superficie de transferencia de calor ( $m^2$ )
$A_{IME}$	Total de gastos de fabricación directos (M\$/año)
$A_{DME}$	Total de gastos de fabricación indirectos (M\$/año)
$A_{ME}$	Total de gastos de fabricación (M\$/año)
$A_{GE}$	Total de gastos generales (M\$/año)
$A_{TE}$	Gasto neto de fabricación (M\$/año)
$a'_s$	Sección transversal sumergida de la coraza. ( $m^2$ )
$a'_t$	Área de flujo por tubo. ( $m^2$ )
B	Espacio entre deflectores en condensadores. (in)
C	Concentración ( $mol/m^3$ )
$D_i$	Diámetro interno (m)
$D_{ext}$	Diámetro externo (m)
$D_e$	Diámetro equivalente (m)
f	Factor de fricción ( $ft^2/in^2$ )
$G'$	Carga de condensado para tubos verticales ( $Kg/h \cdot m$ )
$\Delta H_r$	Calor de reacción (J).
$h, h_i, h_o$	Coefficiente de transferencia de calor en general, para flujo interior y para flujo exterior respectivamente. ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )
$h_{io}$	Valor de $h_i$ cuando se refiere al diámetro exterior. ( $W/m^2 \cdot ^\circ K$ )
$j_H$	Factor para transferencia de Calor adimensional.
K	Constante de velocidad de reacción ( $mol/m^3$ ) $^{1-n} \cdot s^{-1}$
$m_i$	Flujo másico del componente "i" ( $Kg/s$ )
$N_i$	Número de moles del componente "i"
$N_t$	Número efectivo de tubos para la condensación.
n	Número de pasos para intercambiadores de calor
P	Presión
$\Delta P$	Caída de presión en general. ( $lb/in^2$ )
Q	Flujo de calor ( $J/s = W$ )

$r_i$	Velocidad de reacción respecto al reactante "i"
$R_d$	Factor de obstrucción combinado ( $m^2 \cdot ^\circ K/W$ )
$t$	Tiempo (s)
$T$	Temperatura ( $^\circ C$ )
$U, U_d, U_c$	Coefficientes totales de transferencia de calor, coeficiente limpio y de diseño respectivamente. ( $W/^\circ K$ )
$V$	Volumen ( $m^3$ )
$X_A$	Fracción de "A" convertida, la conversión (-)

### SÍMBOLOS GRIEGOS

$\mu$	Viscosidad
$\mu_w$	Viscosidad a la temperatura de la pared del tubo
$\phi$	Relación de viscosidad, $(\mu / \mu_w)^{0.14}$ , adimensional

### ABREVIATURAS

LPM	Litro por minuto
Max.	Valor máximo
MLTD	Media logarítmica de la diferencia de temperaturas
rxn	Reacción
Sist.	Sistema evaluado
XIS-Pi	Prueba experimental número "i" de la obtención de Xantato Isopropílico de Sodio, utilizando Hidróxido de Sodio al 50%

**SUBÍNDICES**

g	Generado
l	Inicial
f	Final

**SUPERÍNDICES**

n	Orden de la reacción.
---	-----------------------



# 1.- GRUPOS ADIMENSIONALES UTILIZADOS EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR

---

$$1) \text{ N}^\circ \text{ de BIOT: } Bi = \frac{h_c L}{k}$$

Es el cociente entre la resistencia térmica del sólido y la resistencia térmica del fluido.

---

$$2) \text{ N}^\circ \text{ de FOURIER: } Fo = \frac{\alpha t}{L^2}$$

Es el cociente entre la conducción del calor y el calor almacenado  
Se utiliza en problemas de transferencia de calor transitorios

---

$$3) \text{ N}^\circ \text{ de GRAETZ: } Gz = Re Pr \left(\frac{d}{L}\right) = \frac{\rho u d^2 c_p}{k L}$$

Se utiliza en problemas de convección forzada.

---

$$4) \text{ N}^\circ \text{ de GRASHOF: } Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2}$$

Es el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas de viscosidad.

---

$$5) \text{ N}^\circ \text{ de LEWIS: } Le = \frac{\alpha}{\varepsilon}$$

Es el cociente entre la difusividad térmica y la difusividad molecular  
Se utiliza en problemas de transferencia de masa.

---

$$6) \text{ N}^\circ \text{ de NUSSELT: } Nu = \frac{h_c L}{k}$$

Es el coeficiente básico de la transferencia de calor por convección.

---

$$7) \text{ N}^\circ \text{ de PECLET: } Pe = Re Pr = \frac{\rho u L c_p}{k}$$

Es el cociente entre la transferencia de calor por convección y por conducción  
Se utiliza en problemas de convección forzada.

---

$$8) \text{ N}^\circ \text{ de PRANDTL: } Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\eta c_p}{k}$$

Es el cociente entre el impulso y la difusividad térmica.

---

$$9) \text{ N}^\circ \text{ de RAYLEIGH: } Ra = Gr Pr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu \alpha}$$

Se utiliza en problemas de convección libre

---

$$10) \text{ N}^\circ \text{ de REYNOLDS: } Re = \frac{u L}{\nu}$$

Es el cociente entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad.

---

$$11) \text{ N}^\circ \text{ de SCHMIDT: } Sc = \frac{\nu}{\varepsilon}$$

Es el cociente entre el impulso y la difusión de masa.

---

$$12) \text{ N}^\circ \text{ de SHERWOOD: } Sh = \frac{k L}{\varepsilon}$$

Es el cociente entre la difusividad de masa y la difusividad molecular.

---

$$13) \text{ N}^\circ \text{ de STANTON: } St = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{h_c}{\rho c_p u}$$

Es el cociente entre el calor transferido en la superficie y el transportado por el fluido.

---

$$14) \text{ N}^\circ \text{ de JAKOB: } Ja_1 = \frac{c_{pl} (T_{sat} - T_{pared})}{r_{l-v}}$$

Es el cociente entre el calor sensible del líquido sobrecalentado y el calor latente del cambio de estado

## TABLAS DE CONVERSION DE UNIDADES

LONGITUD					
metro m	milímetro mm	pulgada in (")	pie ft	yarda yd	milla (statute) mi
1	1000	39,3700787	3,2808399	1,0936133	0,00062137
0,001	1	0,0393701	0,0032808	0,0010936	0,0000062137
0,0254	25,4	1	0,08333	0,02777	0,000015782
0,3048	304,8	12	1	0,333	0,00018939
0,9144	914,4	36	3	1	0,00056818

SUPERFICIE					
metro cuadrado m <sup>2</sup>	hectárea ha	pulgada cuadrada in <sup>2</sup>	pie cuadrado ft <sup>2</sup>	yarda cuadrada yd <sup>2</sup>	acre
1	0,0001	1550,0031	10,76391	1,19599	0,00024711
10000	1	15500031	107639,1	0,0001196	2,4710538
0,0006,4516	0,00000006451	1	0,006944	0,0007716	0,00000015942
0,09290304	0,000009290351	144	1	0,111	0,000022957
0,8361274	0,000083613	1296	9	1	0,00020661
4046,856	0,4046856	6272640	43560	4840	1

VOLUMEN					
metro cúbico m <sup>3</sup>	litro dm <sup>3</sup>	pie cúbico ft <sup>3</sup>	galón (USA) gal	galón imperial (GB) gal	barril de petróleo bbl (oil)
1	1000	35,3146667	264,17205	219,96923	6,2898108
0,001	1	0,0353147	0,2641721	0,2199692	0,0062898
0,0283168	28,3168466	1	7,4805195	6,2288349	0,1781076
0,0037854	3,7854118	0,1336806	1	0,8326741	0,0238095
0,0045461	4,5460904	0,1635437	1,20095	1	0,028594
1589873	158987295	56145833	42'	34,9723128	1

1 gal (USA) = 3,78541 dm<sup>3</sup>

1 ft<sup>3</sup> = 0,0283 m<sup>3</sup>

UNIDADES DE PRESION					
kilopascal kN/m <sup>2</sup>	atmósfera técnica Kgf/cm <sup>2</sup>	milímetro de c. Hg (0°C)	metros de c. agua (4°C)	libras por pulgada <sup>2</sup> lib/in <sup>2</sup>	bar 100000 Pa
kPa	atm	mm Hg	m H <sub>2</sub> O	psi	bar (hpz)
1	0,0101972	7,5006278	0,1019745	0,1450377	0,01
98,0665	1	735,560217	1000028	14,2233433	0,980665
0,1333222	0,0013595	1	0,0135955	193367	0,0013332
9,8063754	0,0999972	73,5539622	1	1,4222945	0,0980638
6,8947573	0,070307	51,7150013	0,7030893	1	0,0689476
100	1,0197162	750,062679	10,1974477	14,5037738	1

1 in H<sub>2</sub>O (60°F = 15,55°C) = 0,248843 kPa

in H<sub>2</sub>O (60°F=20°C)=0,248641 kPa

1 atmósfera física (Atm)= 101,325 kPa=760 mm Hg

in Hg (60°F=20°C)=3,37685 kPa

1 Torr= (101,325/760) kPa

ENERGIA (Calor y Trabajo)					
Kilojulio	kW/hora	Horse power/hora USA 550 ft.lbf/seg	Caballo/hora 75 m.Kgf/seg	Kilocaloría (IT) Kcal(IT)	British Thermal Unit
kJ	kW h	hp. h	CV.h	Kcal (IT)	Btu (IT)
1	0,0002777	0,000372506	0,000377673	0,2388459	0,9478171
3600	1	1,3410221	1,3596216	859,84523	3412,1416
2684,5195	0,7456999	1	1,0138697	641,18648	2544,4336
2647,7955	0,7354988	0,9863201	1	632,41509	2509,6259
4,1868	0,001163	0,00155961	0,00158124	1	3,9683207
1,0550559	0,000293071	0,00039301	0,000398466	0,2519958	1

1 termia = 1000 Kca  
1 therm = 100.000 Btu  
1 But (IT) = 1055,0558 J  
1 kilogramo fuerza.metro (m.Kgf) = 0,00980665 kJ  
IT se refiere a las unidades definidas en International Steam Ta

MACROUNIDADES ENERGETICAS					
Terajulio	Gigavatio hora	Teracaloría (IT)	Ton. equivalente de carbón	Ton. equivalente de petróleo	Barril de petróleo día-año
TJ	GW h	Tcal (IT)	Tec	Tep	bd
1	0,2727	0,2388459	34,1208424	23,8845897	0,4955309
3,6	1	0,8598452	122,8350326	85,9845228	1,7839113
4,1868	1,163	1	142,8571429	100	2,0746888
0,0293076	0,008141	0,007	1	0,7	0,0145228
0,041868	0,01163	0,01	1,4285714	1	0,0207469
2,0180376	0,560568	0,482	68,8571429	48,2	1

POTENCIA					
Kilowatio	Kilocaloría/hora	Btu (IT)/hora	Horse power (USA)	Caballo vapor métrico	Tonelada de refrigeración
kW	Kcal (IT)/h	Btu (IT)/h	hp	CV	
1	859,84523	3412,1416	1,3410221	1,3596216	0,2843494
0,001163	1	3,9683207	0,0015596	0,0015812	0,0003307
0,00029307	0,2519958	1	0,00039301	0,00039847	0,000083335
0,7456999	641,18648	2544,4336	1	1,0138697	0,2120393
0,7354988	632,41509	2509,6259	0,9863201	1	0,2091386
3,5168	3023,9037	11999,82	4,7161065	4,7815173	1

1 caballo vapor (métrico) = 75 m kgf/seg = 735,499 W  
1 Horse power (USA) mecánico = 550 ft lbf/seg

TEMPERATURA
Temperatura en °C = (°F - 32)/1,8
Temperatura en °F = 1,8 °C + 32
Temperatura en °K = °C + 273,14

PREFIXOS DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES																
Prefijo	exa	peta	tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	deci	centi	mili	micro	nano	pico	fernto	atto
Símbolo	E	P	T	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p	f	a
Factor	1e +18	1e +15	1e +12	1e +9	1e +6	1000	100	10	0,1	0,01	0,001	1e-6	1e-9	1e-12	1e-15	1e-18

## **ANEXO B**

**Ficha de Seguridad Química del Alcohol Isopropílico**

**Ficha de Seguridad Química del Hidróxido de Sodio 50%**

**Ficha de Seguridad Química del Bisulfuro de Carbono**

**Ficha de Seguridad Química del Solvente**

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

PROPANO-2-OL

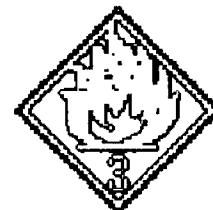
Alcohol Isopropílico

Isopropanol

 $C_3H_8O / (CH_3)_2CHOH$ 

Masa molecular: 60.1

N° CAS 67-63-0



TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta. NO producir chispas y NO fumar.	Polvos, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Dolor de garganta, tos, dolor de cabeza, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.

▪ <b>PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua.
▪ <b>OJOS</b>	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos, consultar a un médico.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Dolor de garganta, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito y someter a atención médica.

---

#### DERRAMES Y FUGAS

---

#### ALMACENAMIENTO

Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.

A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar frío; en una habitación bien ventilada.

---

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Olor: Aromático y sabor amargo  
 Punto de ebullición: 83 °C  
 Punto de fusión: - 90 °C  
 Densidad relativa (agua = 1): 0,79  
 Solubilidad en agua: miscible  
 Presión de vapor, kPa a 20 °C: 4,4  
 pH: neutro

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,1  
 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,05  
 Punto de inflamación: 11,7 °C  
 Temperatura de autoignición: 455 °C  
 Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2-12

---

---

**DATOS IMPORTANTES**

---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un líquido incoloro brillante.

**PELIGROS FÍSICOS**

El vapor se mezcla bien con el aire, se forman fácilmente mezclas explosivas.

**PELIGROS QUÍMICOS**

Reacciona con oxidantes fuertes.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, por inhalación del aerosol y por ingestión.

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Por la evaporación de esta sustancia a 20 °C, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central, dando lugar a depresión. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Hidróxido de Sodio 50%  
Líquido de sosa cáustica 50%

NaOH

Masa molecular: 40,0

N° CAS 1310-73-2



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	El NaOH no se quema ni apoya la combustión. La reacción de este, con agua y varios materiales comunes puede generar suficiente calor para encender los materiales combustibles cercanos; la reacción con metales como Aluminio, Estaño y Zinc, forma gas de Hidrógeno inflamable.	En caso de incendio en el entorno, están permitidos todos los agentes extintores. Si se utiliza agua, se debe tener cuidado debido a que puede generar calor y provocar salpicaduras si se aplica directamente al Hidróxido de Sodio.	
<b>EXPOSICIÓN</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.



▪ <b>PIEL</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con abundante agua o ducharse y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>OJOS</b>	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Corrosivo. Dolor de abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito, dar a beber abundante agua y proporcionar atención médica.

---

### DERRAMES Y FUGAS

Ventile el área. Evite la entrada al drenaje o las vías de agua.

Derrame en tierra: las soluciones deben contenerse mediante diques de arena o tierra. Las soluciones pueden recuperarse o diluirse con agua y neutralizarse con ácidos como el Ácido Acético o Clorhídrico.

Derrame en agua: neutralizar con ácido diluido.

---

### ALMACENAMIENTO

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños. Mantener separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y materiales combustibles. Evitar el congelamiento y no almacenar a temperaturas mayores de 40 °C.

---

---

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**


---

Olor: Inodoro	Densidad del vapor, kPa a 20 °C: < 13,3
Punto de ebullición: 140 °C	Punto de inflamación: No es combustible
Punto de fusión: 12 °C	Temperatura de autoignición: No es combustible
Densidad relativa (agua = 1): 1,33 – 1,53	Límites de explosividad: No es combustible
Solubilidad en agua: miscible	
Presión de vapor, kPa a 20 °C: 0,2	
pH: > 12	

---



---

**DATOS IMPORTANTES**


---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un líquido viscoso e incoloro.

**PELIGROS QUÍMICOS**

La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva para metales tales como Zinc, Aluminio, Estaño y Plomo originando Hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber Hidrógeno gaseoso (por inhalación del aerosol y por ingestión).

**RIESGO DE INHALACIÓN**

La evaporación a 20 °C es despreciable, sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

Corrosivo, la sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. El NaOH no forma vapor de inmediato, por lo que su exposición puede ocurrir como aerosol, puede causar edemas pulmonares.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Disulfuro de Carbono

CS<sub>2</sub>

Masa molecular: 76,1

N° CAS 75-15-0



TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable, explosivo.	Evitar las llamas. NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con superficies calientes.	Polvo, agua pulverizada, espuma, Dióxido de Carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
<b>EXPOSICIÓN</b>		¡HIGIENE Estricta! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE MUJERES EMBARAZADAS!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Confusión mental, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náuseas, jadeo, vómitos, debilidad, irritabilidad y alucinación.	Ventilación, extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.

▪ <b>PIEL</b>	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca, enrojecimiento. (Mayor información véase Inhalación).	Guantes protectores y traje de protección.	Aclarar la piel con abundante agua, después quitar la ropa contaminada, aclarar de nuevo y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>OJOS</b>	Dolor, enrojecimiento	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	(Mayor información véase Inhalación).	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	No dar a nada beber y proporcionar atención médica.

---

**DERRAMES Y FUGAS**

Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO absorber en aserrín u otros absorbentes combustibles. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración)

---

**ALMACENAMIENTO**

A prueba de incendio. Separado de oxidantes y alimentos. Mantener en lugar fresco, oscuro y en atmósfera inerte.

---

---

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**


---

Olor: Característico, bastante desagradable, debido a que comercialmente se encuentra combinado con otros sulfuros.	pH: neutro
Punto de ebullición: 46,3 °C	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,63
Punto de fusión: -110,8 °C	Punto de inflamación: (c.c.) -30 °C
Densidad relativa (agua = 1): 1,26	Temperatura de autoignición: 90 °C
Solubilidad en agua, g/100 mL a 20 °C: 0,2	Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1 – 50
Presión de vapor, kPa a 25 °C: 48	Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,84

---



---

**DATOS IMPORTANTES**


---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

Líquido volátil, incoloro o amarillento.

**PELIGROS FÍSICOS**

El vapor es más denso que el aire y puede extenderse al ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.

**PELIGROS QUÍMICOS**

Puede explotar por calentamiento intenso. La sustancia puede incendiarse espontáneamente en contacto con el aire y con superficies calientes produciendo humos tóxicos de Dióxido de Azufre. Reacciona violentamente con oxidantes originando peligro de incendio y explosión. Ataca algunas formas de plástico, caucho y recubrimientos.

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede originar aspiración dentro de los pulmones con riesgo de neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición podría causar disminución de la conciencia. La exposición por encima de 31 ppm podría causar la muerte.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN**

**PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema cardiovascular y al sistema nervioso central, dando lugar a enfermedades coronarias, alteraciones del comportamiento severas, polinerutis y psicosis. La experimentación animal, muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.

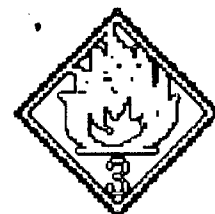
---

## FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA

Solvente N° 1

Solvente 1

Bencina



TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable.	Evitar las llamas. NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con superficies calientes.	Polvo, agua pulverizada, espuma, Dióxido de Carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Al descomponerse en Óxidos de Carbono e hidrocarburos, puede inflamarse o explotar en contacto con la fuente de ignición.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Dolor de garganta, tos, dolor de cabeza, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia	Ventilación, extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.
▪ <b>PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua.

▪ <b>OJOS</b>	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Dolor de garganta, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito y someter a atención médica.

---

### DERRAMES Y FUGAS

---

### ALMACENAMIENTO

Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.

A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar frío; en una habitación bien ventilada.

---

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Olor: Característico, agradable.

Punto inicial de ebullición: 37.8 °C

10% V. recuperado: 70

10% V. recuperado: 100

10% V. recuperado: 125

Punto final de ebullición: 154 °C

Densidad relativa (agua=1): 0,6572-0,7242

Solubilidad: Insoluble en agua a 20 °C

Presión de vapor, kPa a 20 °C: 68,95

pH: > 13

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3 - 4

Punto de inflamación: (c.c.) -43 °C

Temperatura de autoignición: 180 °C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1,3 – 7,6



---

**DATOS IMPORTANTES**

---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un líquido transparente y brillante, libre de sólidos y agua.

**PELIGROS FÍSICOS**

El vapor se mezcla bien con el aire, se forman fácilmente mezclas explosivas.

**PELIGROS QUÍMICOS**

Reacciona con oxidantes fuertes.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, por inhalación del aerosol y por ingestión.

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Por la evaporación de esta sustancia a 20 °C, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central, dando lugar a depresión. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

## **ANEXO C**

### **Sistema Experimental de Reacción**

- 1. Equipos usados**
- 2. Materiales de Laboratorio empleados**
- 3. Fichas de Seguridad Química de Reactivos utilizados**

## Sistema Experimental de Reacción

### 1. Equipos Usados

#### 1.1. Reactor de Vidrio Enchaquetado

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en un reactor de vidrio enchaquetado de 5 L. Cuenta con 6 aberturas superiores y una inferior.

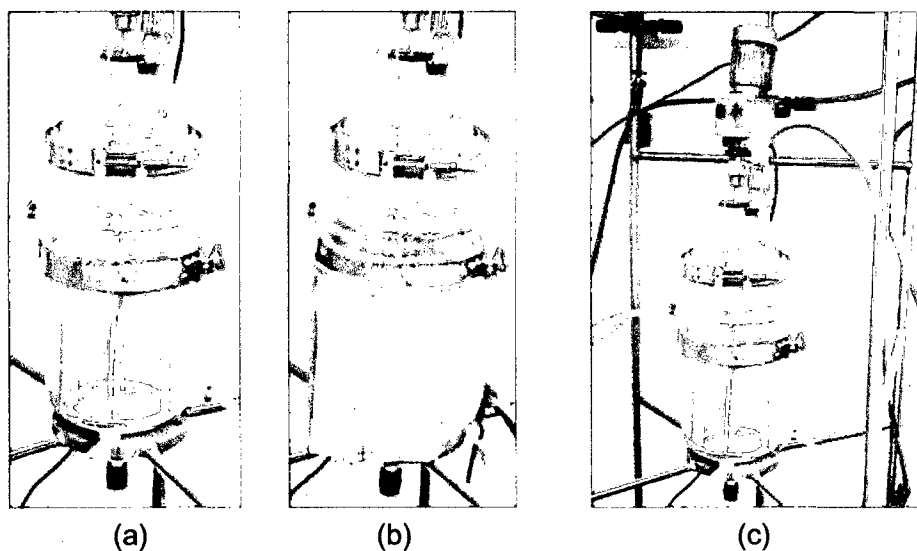


Figura A-1. (a) Fotografía del reactor de vidrio.

(b) Reactor con la chaqueta de calentamiento

(c) Sistema de Reacción

#### 1.2. Agitador IKA

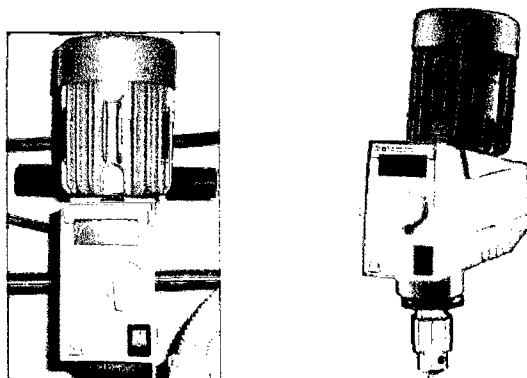


Figura A-2. Agitador IKA

### 1.3. Sensores de Temperatura



Figura A-3. Medidor de Temperatura PT100

### 1.4. Registrador

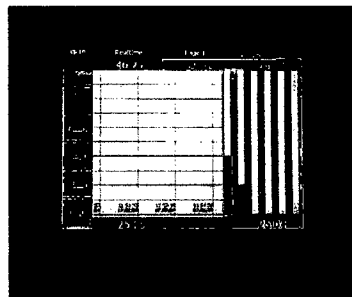


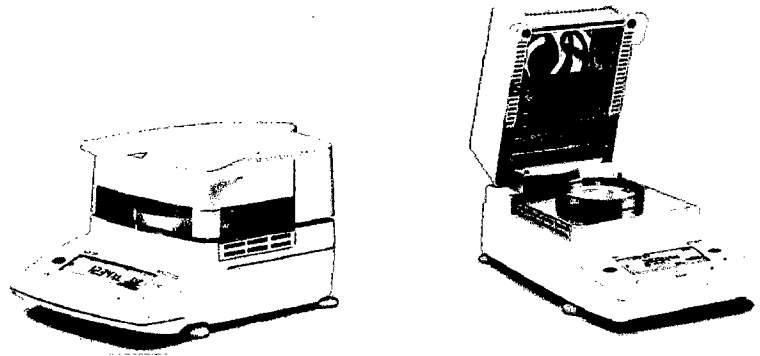
Figura A-4. Registrador BrainChild

### 1.5. Indicador



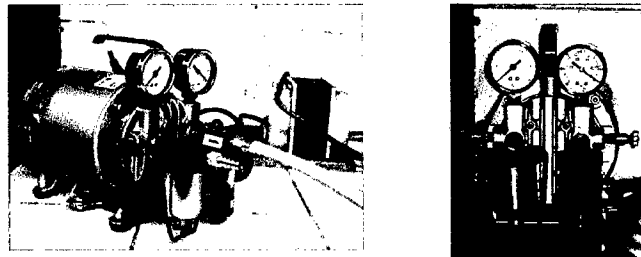
Figura A-5. Indicador de Temperatura

**1.6. Equipo de Análisis de Humedad**



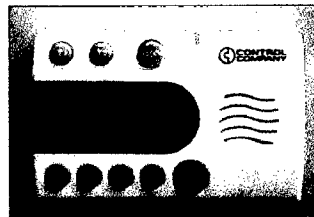
**Figura A-6.** Equipo de Análisis de Humedad SARTORIUS

**1.7. Bomba de vacío**



**Figura A-7.** Bomba de Vacío

**1.8. Cronómetro**



**Figura A-8.** Cronómetro

## 2. Materiales de Laboratorio empleados

### 2.1. Embudo Büchner y Kitasato

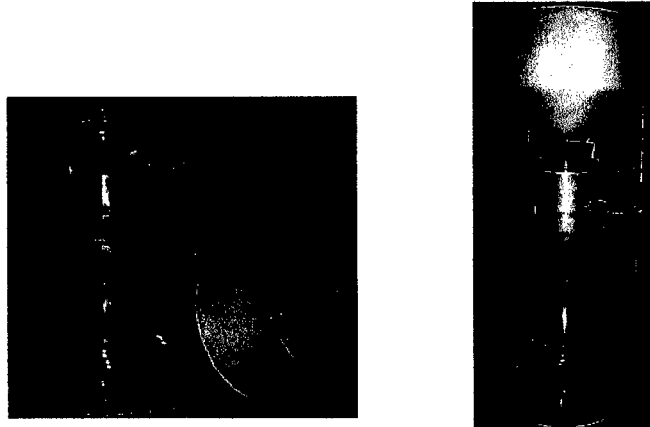


Figura A-9. Embudo Büchner y Kitasato

### 2.2. Matraz de Casia

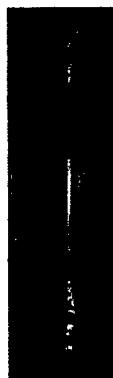


Figura A-10. Matraz o Fiola de Casia

### 2.3. Pera de Decantación



Figura A-11. Pera de Decantación

### 2.4. Otros materiales de laboratorio

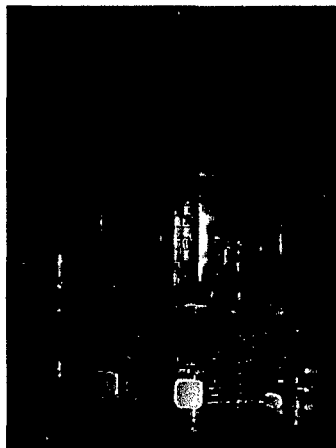


Figura A-12. Erlenmeyers, vasos de precipitado probeta, bagueta.



Figura A-13. Mortero, pilón, cristizador.

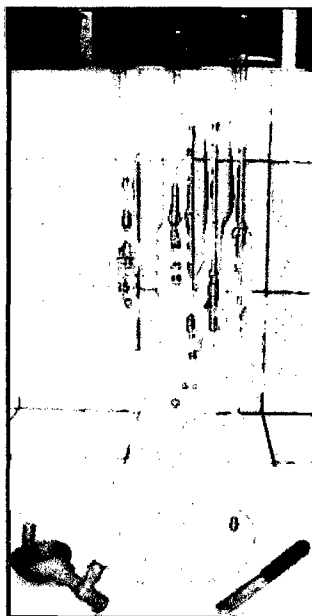


Figura A-14. Pipetas.

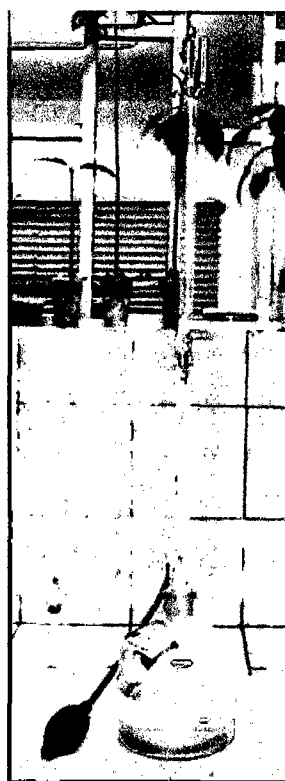
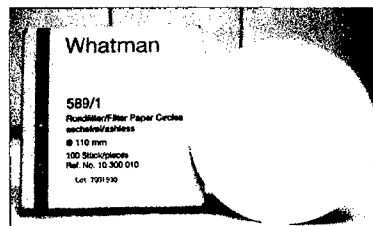


Figura A-15. Bureta.





**Figura A-16. Embudo.**



**Figura A-17. Papel de Filtro.**

**3. Fichas de Seguridad Química de Reactivos utilizados**

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Ácido Clorhídrico

Ácido Muriático

HCl

Masa molecular: 36,46

N° CAS 7647-01-0



TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No es inflamable, pero en contacto con metales libera Hidrógeno que es inflamable.	Mantener lejos de fuentes de calor. Evitar que entre en contacto con sustancias incompatibles, como metales. Mantener buena ventilación a nivel del piso y no almacene en lugares altos.	Polvos, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Corrosión. Exposición ligera: irritación nasal, quemaduras, tos y sofocación. Exposición prolongada: quemaduras, úlceras en la nariz y la garganta	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.

▪ <b>PIEL</b>	Puede causar inflamación, enrojecimiento, dolor y quemaduras.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua.
▪ <b>OJOS</b>	Corrosivo. Produce irritación, dolor, enrojecimiento y lagrimeo excesivo.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos, consultar a un médico.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Corrosivo. Puede generar quemaduras en la boca, garganta, esófago y estómago; náusea, dificultad al comer, vómito, diarrea.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito y someter a atención médica.

---

### DERRAMES Y FUGAS

Ventile el área. Evite la entrada al drenaje o las vías de agua.  
Neutralizar el derrame con piedra caliza triturada, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio o cal.

---

### ALMACENAMIENTO

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños.

---

---

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**


---

Olor: Punzante	Punto de inflamación: No es combustible
Punto de ebullición: - 84,8 °C	Temperatura de autoignición: No es combustible
Punto de fusión a 10,81%: -17,14 °C, a 31,24%: -46,2 °C	Límites de explosividad: No es combustible
Densidad relativa, a -26 °C (agua = 1): 1,194	
Solubilidad en agua: miscible	
pH, 0.1 N: 1.1	

---



---

**DATOS IMPORTANTES**


---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un líquido incoloro, que humea al aire.

**PELIGROS QUÍMICOS**

Ataca a la mayoría de metales (excepto Hg, Ag, Au, Pt), ataca también a algunos plásticos, goma y recubrimientos. Reacciona explosivamente con alcoholes más HCN. Entra en combustión en contacto con flúor y acetilidas metálicas.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

Corrosivo, la sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Hidróxido de Potasio

Potasa cáustica

KOH

Masa molecular: 56,11



N° CAS 1310-58-3

TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No es inflamable, pero en contacto con metales libera Hidrógeno que es inflamable.	Mantener lejos de fuentes de calor. Evitar que entre en contacto con sustancias incompatibles, como metales.	En caso de incendio en el entorno, están permitidos todos los agentes extintores.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.
▪ <b>PIEL</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con abundante agua o ducharse y proporcionar asistencia médica.

▪ <b>OJOS</b>	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Corrosivo. Dolor de abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito, dar a beber abundante agua y proporcionar atención médica.

---

### DERRAMES Y FUGAS

Ventile el área. Evite la entrada al drenaje o las vías de agua.

Derrame en tierra: las soluciones deben contenerse mediante diques de arena o tierra. Las soluciones pueden recuperarse o diluirse con agua y neutralizarse con ácidos como el Ácido Acético o Clorhídrico.

Derrame en agua: neutralizar con ácido diluido.

---

### ALMACENAMIENTO

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños. Mantener separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y materiales combustibles. Evitar el congelamiento y no almacenar a temperaturas mayores de 40 °C.

---

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Olor: Inodoro	Punto de inflamación: No es combustible
Punto de ebullición: 1 320 °C	Temperatura de autoignición: No es combustible
Punto de fusión: 360 °C	Límites de explosividad: No es combustible
Densidad relativa (agua = 1): 2,04	
Solubilidad en agua: miscible	
pH: > 14	

---

---

**DATOS IMPORTANTES**

---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un sólido incoloro.

**PELIGROS QUÍMICOS**

La sustancia reacciona con metales ligeros, formando Hidrógeno gaseoso (riesgo de explosión).

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

Corrosivo, la sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Cloruro de Bario

BaCl<sub>2</sub>

Masa molecular: 208,24

N° CAS 10326-27-9

TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Irritación del tracto respiratorio y de la membrana mucosa.	Extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.
▪ <b>PIEL</b>	Puede causar irritación de la piel.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con abundante agua o ducharse y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>OJOS</b>	Puede causar irritación moderada con dolor y enrojecimiento, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Dolor de abdominal, náuseas, diarrea, vómitos, cólicos, salivación aumentada.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito, dar a beber abundante agua y proporcionar atención médica.



**DERRAMES Y FUGAS**

Ventile el área. Evite la entrada al drenaje o las vías de agua.  
Derrame en tierra: las soluciones deben contenerse mediante diques de arena o tierra.

**ALMACENAMIENTO**

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños.

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Olor: Inodoro

Punto de fusión: 963 °C

Solubilidad en agua: miscible

Punto de inflamación: No es combustible

Temperatura de autoignición: No es combustible

Límites de explosividad: No es combustible

**DATOS IMPORTANTES****ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un sólido blanco.

**PELIGROS QUÍMICOS**

La sustancia es reactiva con agentes oxidantes y ácidos.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

Irritable.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

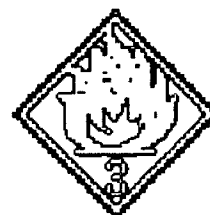
Dimetilcetona

Dimetilformaldehído

 $C_3H_6O$ 

Masa molecular: 58,08

N° CAS 67-64-1



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta. NO producir chispas y NO fumar.	Polvos, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Dolor de garganta, tos, dolor de cabeza, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
▪ <b>PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua.

▪ <b>OJOS</b>	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos, consultar a un médico.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Dolor de garganta, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito y someter a atención médica.

---

### DERRAMES Y FUGAS

---

### ALMACENAMIENTO

Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos.

A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar frío; en una habitación bien ventilada.

---

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Olor: Característico  
 Punto de ebullición: 55,8 – 56,6 °C  
 Punto de fusión: - 18 °C  
 Densidad relativa (agua = 1): 0,79  
 Solubilidad en agua: miscible  
 Presión de vapor, kPa a 20 °C: 24,7  
 pH: neutro

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,05  
 Punto de inflamación: 465 °C  
 Temperatura de autoignición: 540 °C  
 Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2,1-13

---

---

**DATOS IMPORTANTES**

---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un líquido incoloro.

**PELIGROS FÍSICOS**

El vapor se mezcla bien con el aire, se forman fácilmente mezclas explosivas.

**PELIGROS QUÍMICOS**

Reacciona con oxidantes fuertes.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, por inhalación del aerosol y por ingestión.

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Por la evaporación de esta sustancia a 20 °C, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA**

**DURACIÓN**

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central, dando lugar a depresión. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O**

**REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Hidróxido de Sodio

Sosa caústica

NaOH

Masa molecular: 40,0



Nº CAS 1310-73-2

TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.	En caso de incendio en el entorno, están permitidos todos los agentes extintores.	
<b>EXPOSICIÓN</b>		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.

▪ <b>PIEL</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con abundante agua o ducharse y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>OJOS</b>	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Corrosivo. Dolor de abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito, dar a beber abundante agua y proporcionar atención médica.

---

#### **DERRAMES Y FUGAS**

Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado, eliminar el residuo con abundante agua.

---

#### **ALMACENAMIENTO**

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños. Mantener separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y materiales combustibles.

---

---

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**


---

Olor: Inodoro	Punto de inflamación: No es combustible
Punto de ebullición: 1390°C	Temperatura de autoignición: No es combustible
Punto de fusión: 318 °C	Límites de explosividad: No es combustible
Densidad relativa (agua = 1): 2,1	
Solubilidad en agua: miscible	
pH: > 12	

---



---

**DATOS IMPORTANTES**


---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un sólido blanco. Deliquescente en diversas formas.

**PELIGROS QUÍMICOS**

La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva para metales tales como Zinc, Aluminio, Estaño y Plomo originando Hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber Hidrógeno gaseoso (por inhalación del aerosol y por ingestión).

**RIESGO DE INHALACIÓN**

La evaporación a 20 °C es despreciable, sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

Corrosivo, la sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. El NaOH no forma vapor de inmediato, por lo que su exposición puede ocurrir como aerosol, puede causar edemas pulmonares.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

---

**FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA**

Fenoltaleína

Masa molecular: 318,33

N° CAS 77-09-8

<b>TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICIÓN</b>	<b>PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS</b>	<b>PREVENCIÓN</b>	<b>PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Irritación del tracto respiratorio y de la membrana mucosa.	Extracción localizada y protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y proporcionar atención médica.
▪ <b>PIEL</b>	Puede causar irritación de la piel.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con abundante agua o ducharse y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>OJOS</b>	Puede causar irritación moderada con dolor y enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos y proporcionar asistencia médica.
▪ <b>INGESTIÓN</b>	Dolor de abdominal, náuseas, diarrea, vómitos, cólicos, salivación aumentada.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito, dar a beber abundante agua y proporcionar atención médica.



---

**DERRAMES Y FUGAS**

---

Ventile el área. Eliminar todas las fuentes de ignición.

---

**ALMACENAMIENTO**

---

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños.

---

---

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

---

Olor: Inodoro

Punto de fusión: 246 °C

Solubilidad en agua: insoluble

Punto de inflamación: No es combustible

Temperatura de autoignición: No es combustible

Límites de explosividad: No es combustible

---

---

**DATOS IMPORTANTES**

---

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

A temperatura ambiente es un sólido, polvo amarillo.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

Irritable.

**PELIGROS QUÍMICOS**

La sustancia es reactiva con agentes oxidantes.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA**

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

---

## FICHA DE SEGURIDAD QUÍMICA

Rojo de Metilo  
Masa molecular: 291,29



Nº CAS 845-10-3

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICIÓN	PELIGROS/SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Altamente inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta. NO producir chispas y NO fumar.	Polvos, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
<b>EXPOSICIÓN</b>			
▪ <b>INHALACIÓN</b>	Dolor de garganta, tos, dolor de cabeza, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
▪ <b>PIEL</b>	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua.
▪ <b>OJOS</b>	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos, consultar a un médico.

▪ <b>INGESTIÓN</b>	Dolor de garganta, náusea, vómitos, vértigo, somnolencia.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito y someter a atención médica.
--------------------	---	--	--

---

### DERRAMES Y FUGAS

Ventile el área. Eliminar todas las fuentes de ignición.

### ALMACENAMIENTO

Almacenar en un área seca, fresca y bien ventilada. Conservar los recipientes bien cerrados y protegidos contra daños.

---

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Olor: Característico, fragante  
 Punto de fusión: 181-1821 °C  
 Solubilidad en agua: soluble  
 Punto de inflamación: 8-13 °C

Temperatura de autoignición: 363 °C  
 Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3,3-19.

---

### DATOS IMPORTANTES

#### ESTADO FÍSICO; ASPECTO

A temperatura ambiente es un líquido color rojo.

#### PELIGROS QUÍMICOS

La sustancia es reactiva con agentes oxidantes.

#### VÍAS DE EXPOSICIÓN

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

#### EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA

##### DURACIÓN

Irritable.

#### EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

## **ANEXO D**

### **Pruebas Experimentales**

#### **Tipos de Adición**

##### **Volumen Constante**

- **Serie de Pruebas N° 1: “Prueba Preliminar”**
- **Serie de Pruebas N° 2: “Determinación del tipo de adición”**
- **Serie de Pruebas N° 3: “Soda sólida vs Soda líquida”**
- **Serie de Pruebas N° 4: “Determinación de la cantidad de Solvente”**

##### **Masa de Insumos Constante**

- **Serie de Pruebas N° 5: “Determinación de la cantidad de Solvente”**
- **Serie de Pruebas N° 6: “Evaluación de la Temperatura”**
- **Serie de Pruebas N° 7: “Determinación de la Velocidad de Reacción”**

### **Resultados Experimentales**

**Fotos de la Reacción en Secuencia de una Prueba representativa  
(Adición 1, soda sólida al 98%, 100% Solvente, Temperatura < 55°C)**

**Fotos de la Reacción en Secuencia de una Prueba representativa  
(Adición 1, soda líquida al 50%, 35% Solvente, Temperatura < 55°C)**

#### **Filtrado**

## Pruebas Experimentales

### Tipos de Adición

#### Adición 1:

- Solvente
- Alcohol Isopropílico
- Hidróxido de Sodio
- CS<sub>2</sub>

#### Adición 2:

- Solvente
- Alcohol Isopropílico
- CS<sub>2</sub>
- Hidróxido de Sodio

### Volumen Constante

#### ▪ Serie de Pruebas N° 1: "Prueba Preliminar"

##### Objetivos

- Reconocer el equipo de trabajo, así como su correcta utilización para el desarrollo de las pruebas.
- Observar el comportamiento de la reacción y los posibles inconvenientes que puedan presentarse.

Fecha	Prueba	Condiciones de operación
25/02/09	XIS-P1	Soda líquida al 50%, 75% Solvente, Adición1. Temperatura < 50°C.

▪ **Serie de Pruebas N° 2: “Determinación del tipo de adición”**

Objetivo

- Establecer el tipo de adición con la que se realizarán las posteriores Series de Pruebas.

Fecha	Prueba	Condiciones de operación
25/02/09	XIS-P1	Adición1, Soda líquida al 50%, 75% Solvente, Temperatura < 50°C.
26/02/09	XIS-P2	Adición 2, Soda líquida al 50%, 75% Solvente, Temperatura < 50°C.
02/03/09	XIS-P3	Adición 1, Soda sólida al 98%, 100% Solvente, Temperatura < 50°C.

▪ **Serie de Pruebas N° 3: “Soda sólida vs Soda líquida”**

Objetivos

- Observar el comportamiento de la formación de Xantato utilizando soda sólida.
- Identificar las diferencias más importantes entre ambas reacciones.

Fecha	Prueba	Condiciones de operación
11/03/09	XIS-P4	Adición 1, soda sólida al 98%, 100% Solvente, Temperatura < 55°C.
12/03/09	XIS-P5	Adición 1, soda líquida al 50%, 100% Solvente, Temperatura < 50°C.

▪ **Serie de Pruebas N° 4: “Determinación de la cantidad de Solvente”**

Objetivo

- Establecer la cantidad de solvente a utilizar en la obtención del Xantato.

<b>Fecha</b>	<b>Prueba</b>	<b>Condiciones de operación</b>
16/03/09	XIS-P6	Adición 1, soda líquida al 50%, 0% Solvente, Temperatura < 55°C.
18/03/09	XIS-P7	Adición 1, soda líquida al 50%, 25% Solvente, Temperatura < 50°C.
19/03/09	XIS-P8	Adición 1, soda líquida al 50%, 50% Solvente, Temperatura < 50°C.
31/03/09	XIS-P9	Adición 1, soda líquida al 50%, 75% Solvente, Temperatura < 50°C.

**Masa de Insumos Constante**

▪ **Serie de Pruebas N° 5: “Determinación de la cantidad de Solvente”**

Objetivo

- Establecer la cantidad de solvente a utilizar en la obtención del Xantato.

<b>Fecha</b>	<b>Prueba</b>	<b>Condiciones de operación</b>
31/08/09	XIS-P23	Adición 1, soda líquida al 50%, 25% Solvente, Temperatura < 55°C.
01/09/09	XIS-P24	Adición 1, soda líquida al 50%, 30% Solvente, Temperatura < 55°C.
14/09/09	XIS-P29	
21/09/09	XIS-P33	
25/09/09	XISP38	
29/09/09	XIS-P42	
02/09/09	XIS-P25	Adición 1, soda líquida al 50%, 35% Solvente, Temperatura < 55°C.
15/09/09	XIS-P30	
22/09/09	XIS-P34	
25/09/09	XIS-P39	
28/09/09	XIS-P40	
30/09/09	XIS-P43	
30/09/09	XIS-P44	
01/10/09	XIS-P45	
01/10/09	XIS-P46	
02/10/09	XIS-P47	
05/10/09	XIS-P48	
07/09/09	XIS-P26	
16/09/09	XIS-P31	
23/09/09	XIS-P35	
08/09/09	XIS-P27	Adición 1, soda líquida al 50%, 45% Solvente, Temperatura < 55°C.
10/09/09	XIS-P28	Adición 1, soda líquida al 50%, 50% Solvente, Temperatura < 55°C.



▪ **Serie de Pruebas N° 6: “Evaluación de la Temperatura”**

Objetivo

- Observar la variación del sistema de reacción, manteniendo la temperatura de reacción constante.

<b>Fecha</b>	<b>Prueba</b>	<b>Condiciones de operación</b>
07/10/09	XIS-P49	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
07/10/09	XIS-P50	Solvente. Temperatura = 40°C.
08/10/09	XIS-P51	
08/10/09	XIS-P52	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
12/10/09	XIS-P53	Solvente. Temperatura = 45°C.
12/10/09	XIS-P54	
13/10/09	XIS-P55	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
13/10/09	XIS-P56	Solvente. Temperatura = 50°C.
14/10/09	XIS-P57	

▪ **Serie de Pruebas N° 7: “Determinación de la Velocidad de Reacción”**

Objetivo

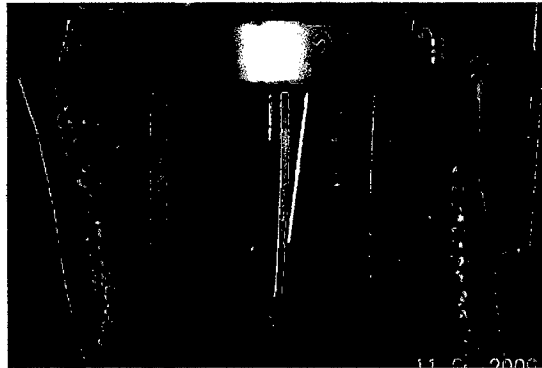
- Realizar las pruebas correspondientes para encontrar la velocidad de reacción del sistema en estudio.

<b>Fecha</b>	<b>Prueba</b>	<b>Condiciones de operación</b>
14/10/09	XIS-P58	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
14/10/09	XIS-P59	Solvente. Temperatura < 55°C. Tiempo de reacción = 94 min
14/10/09	XIS-P60	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
15/10/09	XIS-P61	Solvente. Temperatura < 55°C. Tiempo de reacción = 124 min
15/10/09	XIS-P62	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
15/10/09	XIS-P63	Solvente. Temperatura < 55°C. Tiempo de reacción = 154 min
15/10/09	XIS-P64	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
16/10/09	XIS-P65	Solvente. Temperatura < 55°C. Tiempo de reacción = 184 min
16/10/09	XIS-P66	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%
16/10/09	XIS-P67	Solvente. Temperatura < 55°C. Tiempo de reacción = 214 min

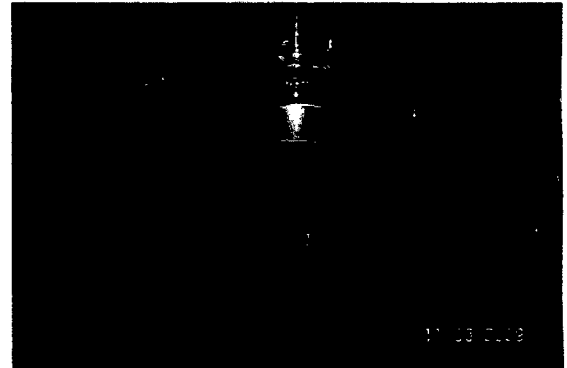
**Resultados Experimentales**

<b>Prueba</b>	<b>Condiciones de operación</b>	<b>% Pureza</b>	<b>% Rendimiento</b>
XIS-P23	Adición 1, soda líquida al 50%, 25% Solvente, Temperatura < 55°C.	86.86	82.48
XIS-P24	Adición 1, soda líquida al 50%, 30%	86.57	84.01
XIS-P29	Solvente, Temperatura < 55°C.		
XIS-P33			
XISP38			
XIS-P42			
XIS-P25	Adición 1, soda líquida al 50%, 35%	89.28	85.78
XIS-P30	Solvente, Temperatura < 55°C.		
XIS-P34			
XIS-P39			
XIS-P40			
XIS-P43			
XIS-P44			
XIS-P45			
XIS-P46			
XIS-P47			
XIS-P48			
XIS-P26	Adición 1, soda líquida al 50%, 40%	87.33	83.14
XIS-P31	Solvente, Temperatura < 55°C.		
XIS-P35			
XIS-P27	Adición 1, soda líquida al 50%, 45% Solvente, Temperatura < 55°C.	86.12	83.53
XIS-P28	Adición 1, soda líquida al 50%, 50% Solvente, Temperatura < 55°C.	86.89	82.97

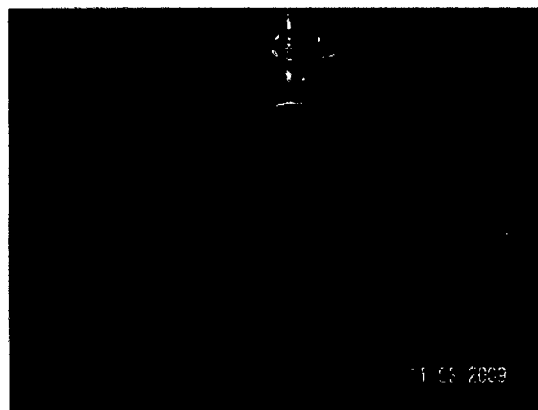
**Fotos de la Reacción en Secuencia de una Prueba representativa  
(Adición 1, soda sólida al 98%, 100% Solvente, Temperatura < 55°C)**



t=9:43



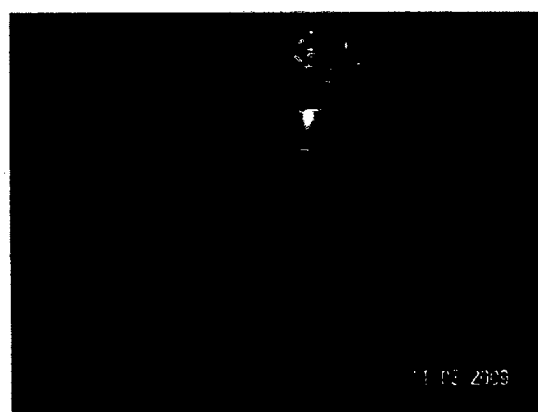
t=9:45



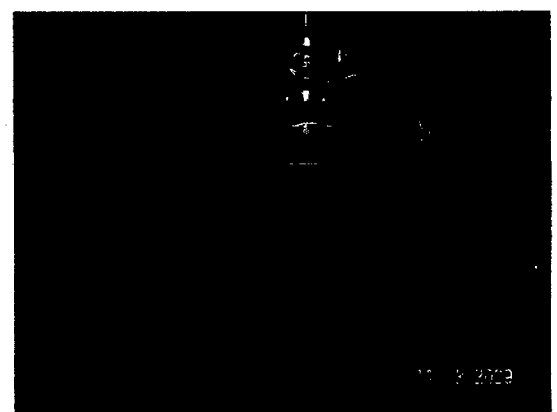
t=9:54



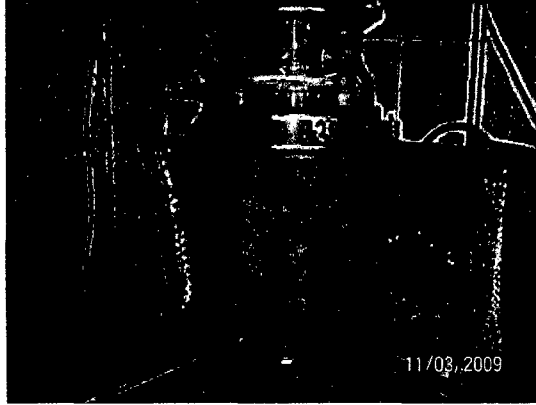
t=10:00



t=10:02



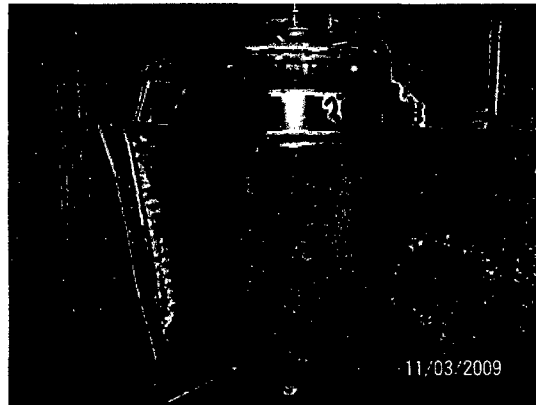
t=10:05



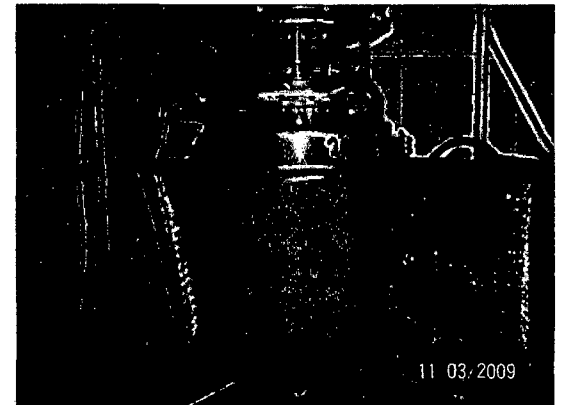
t=10:07



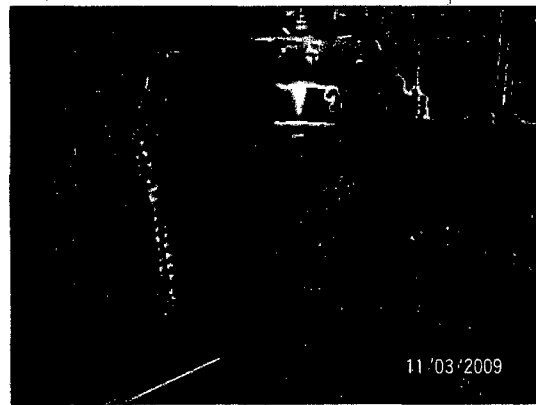
t=10:10



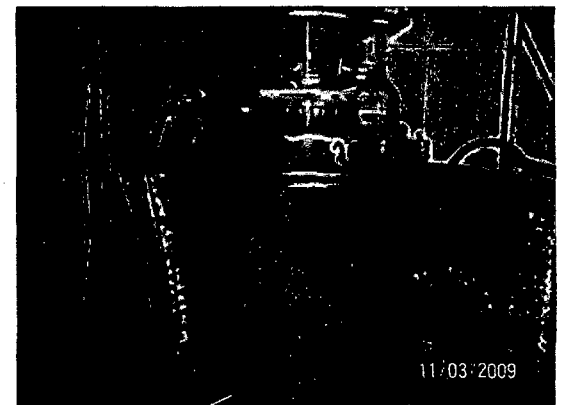
t=10:15



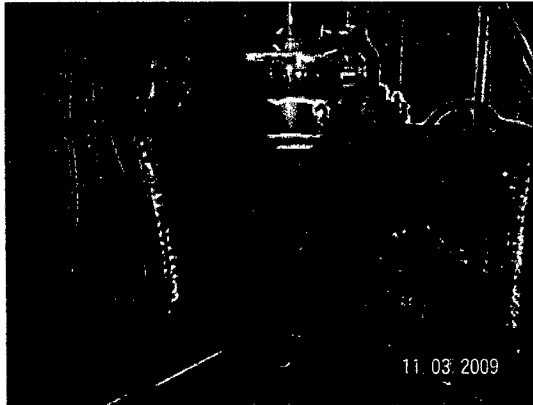
t=10:20



t=10:25



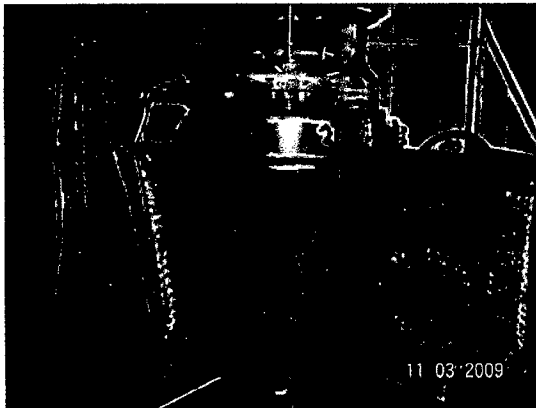
t=10:30



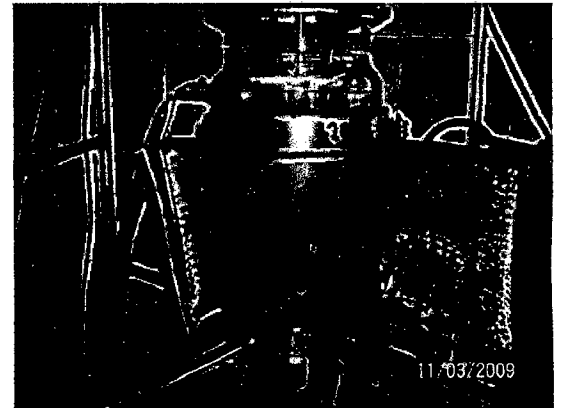
t=10:35



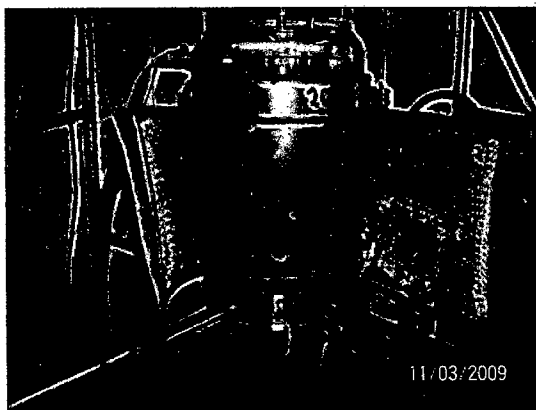
t=10:38



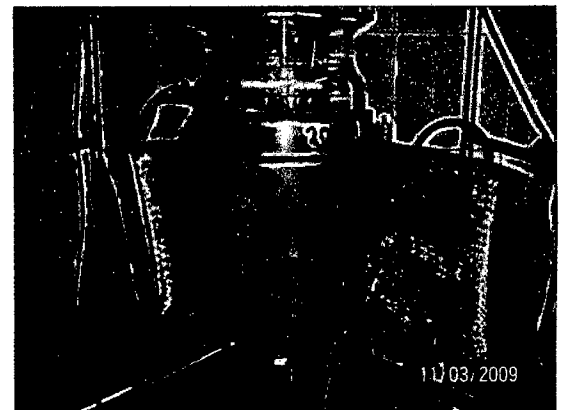
t=10:40



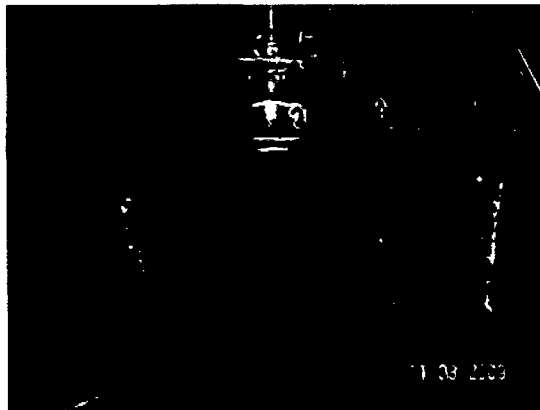
t=10:45



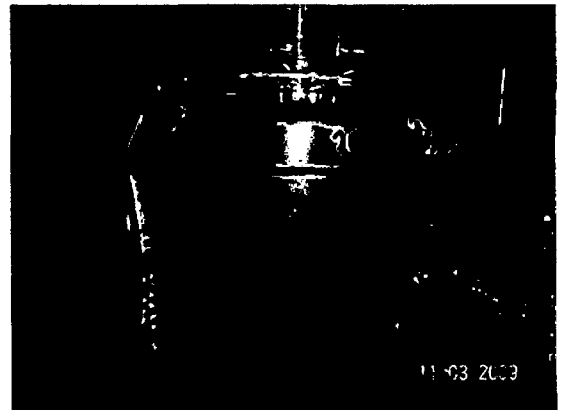
t=10:50



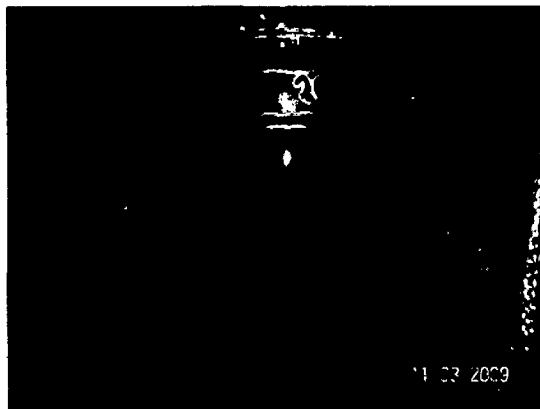
t=10:55



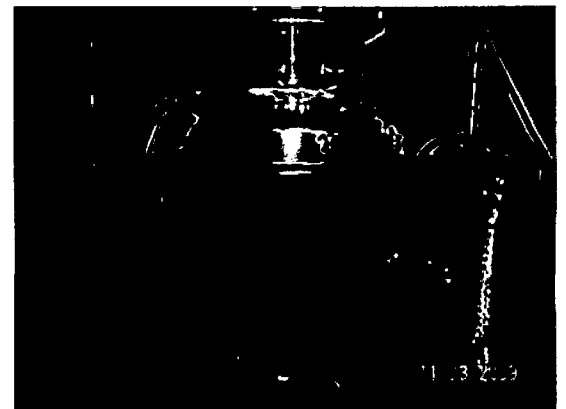
t=11:00



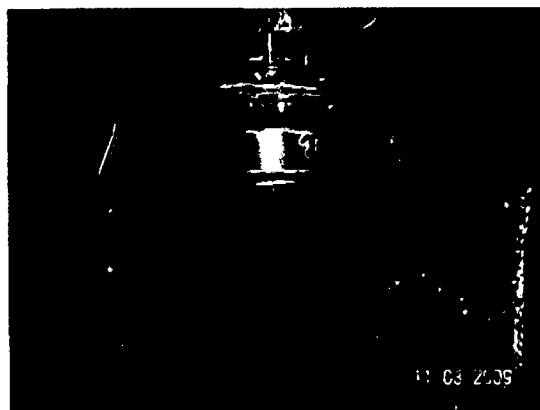
t=11:30



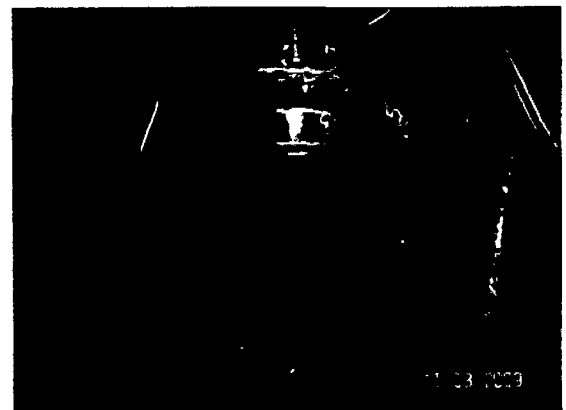
t=12:00



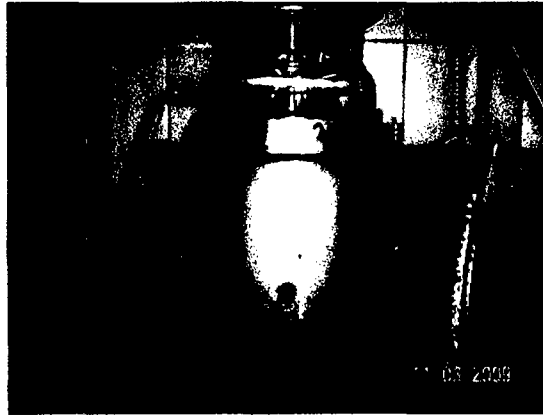
t=12:30



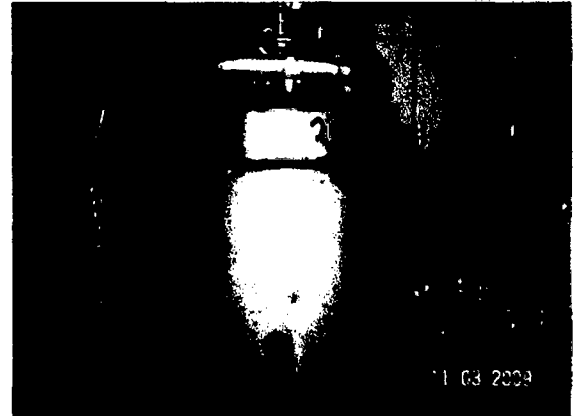
t=13:00



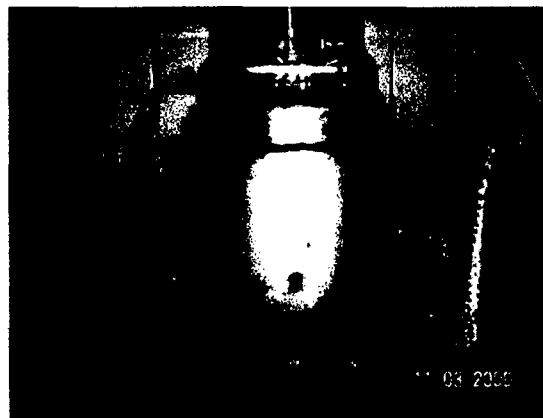
t=13:30



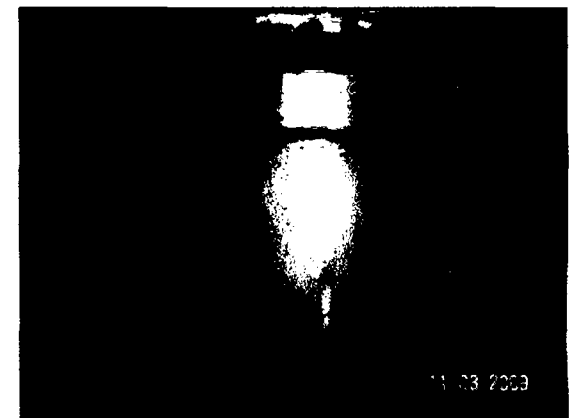
t=14:00



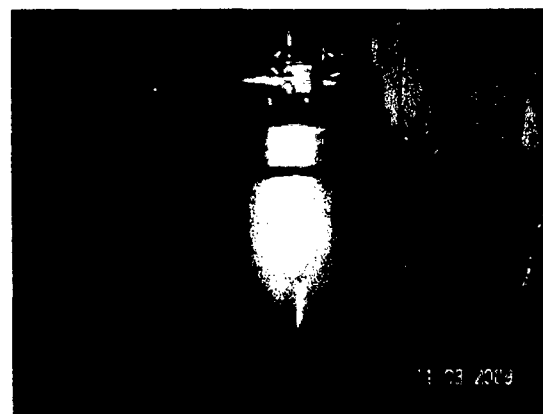
t=14:30



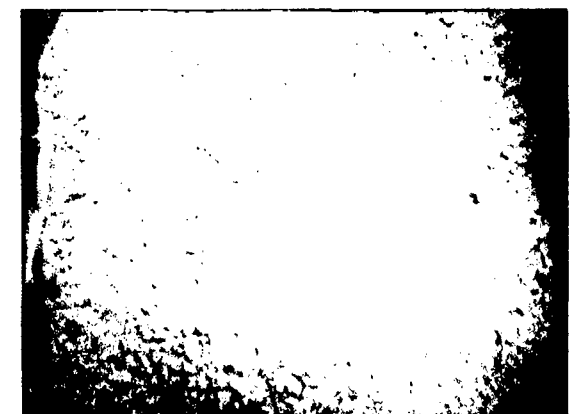
t=15:00



t=15:30



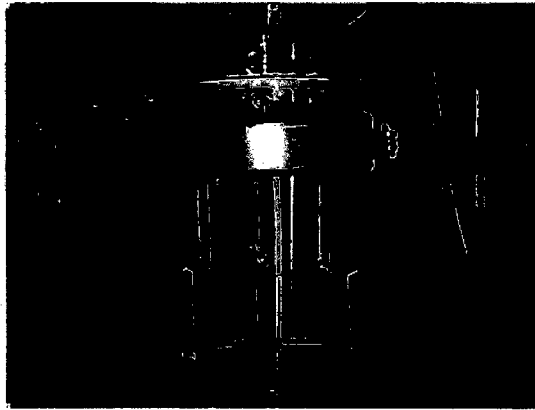
t=15:40



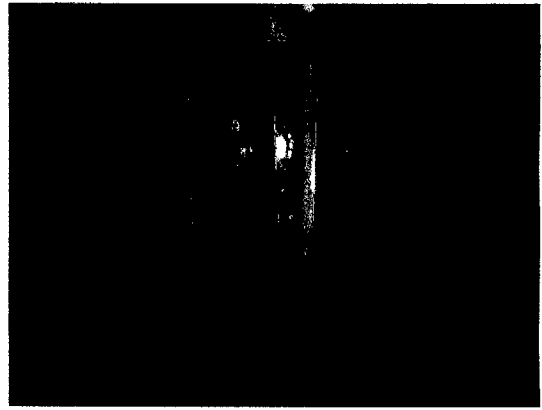
Producto seco



**Fotos de la Reacción en Secuencia de una Prueba representativa  
(Adición 1, soda líquida al 50%, 35% Solvente, Temperatura < 55°C)**



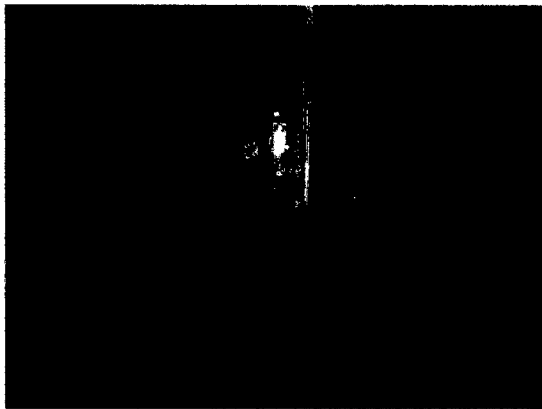
t=9:56



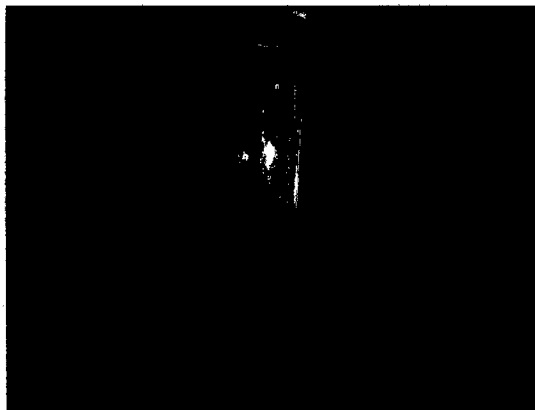
t=9:58



t=10:05



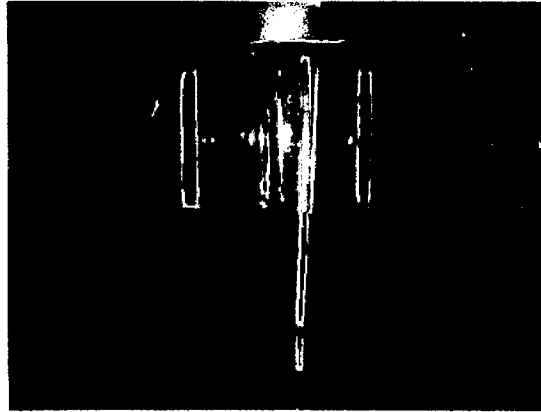
t=10:12



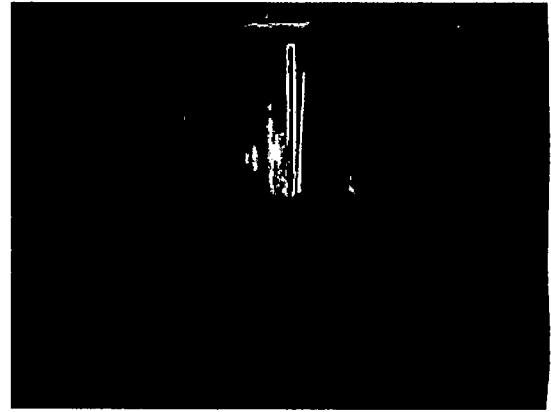
t=10:14



t=10:17



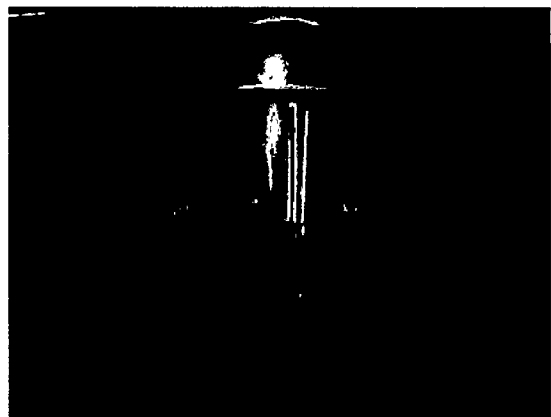
t=10:19



t=10:22



t=10:27



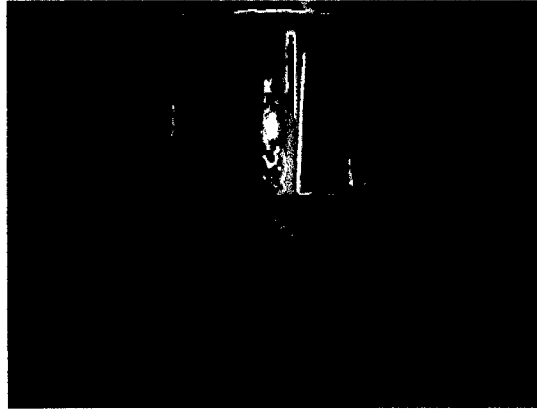
t=10:32



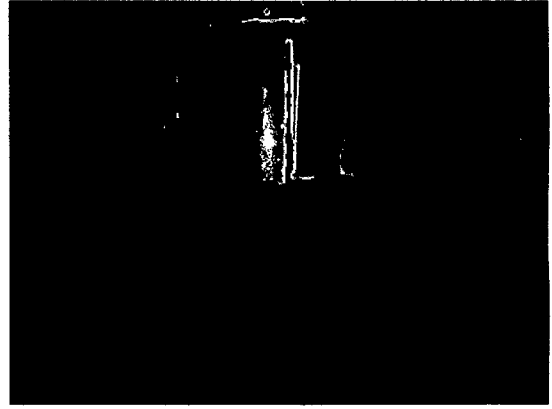
t=10:37



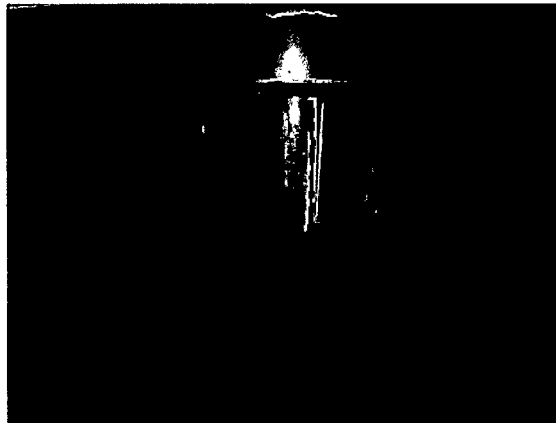
t=10:42



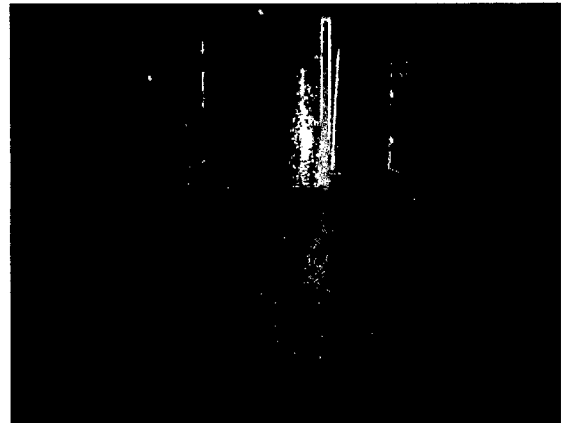
t=10:47



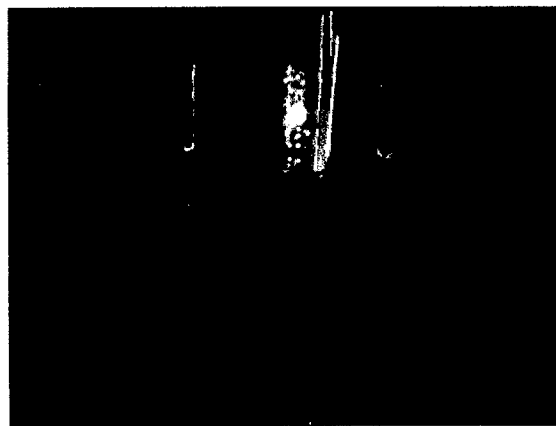
t=10:52



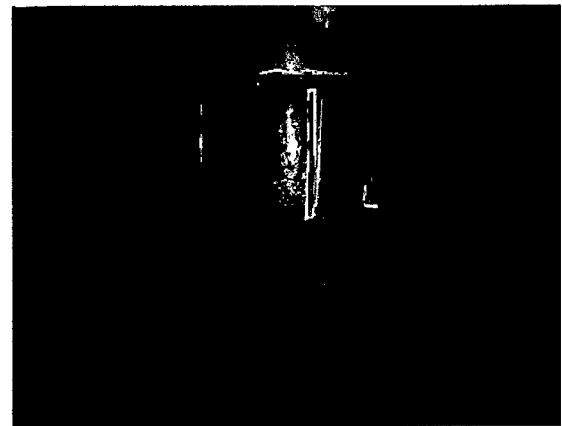
t=10:57



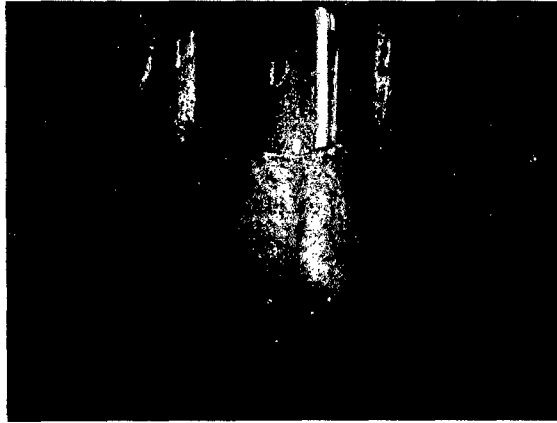
t=11:02



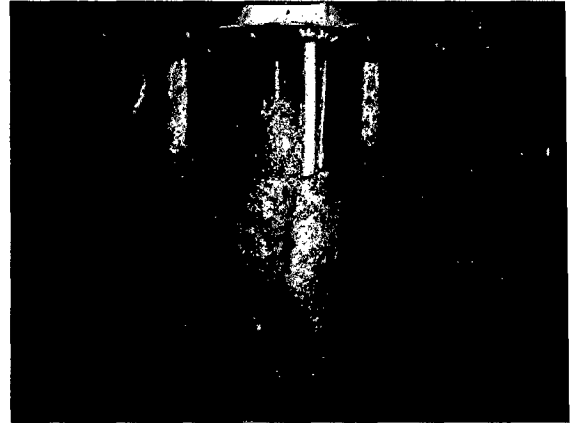
t=11:07



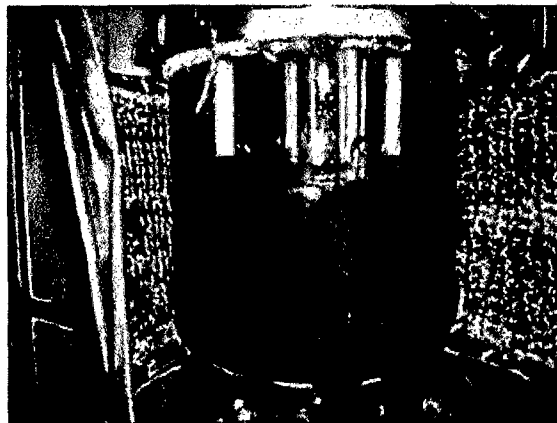
t=11:12



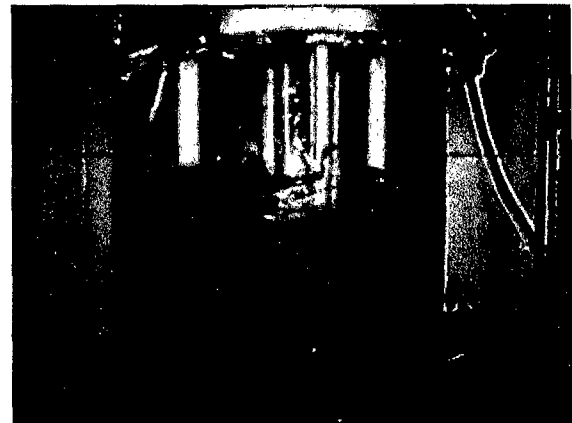
t=11:20



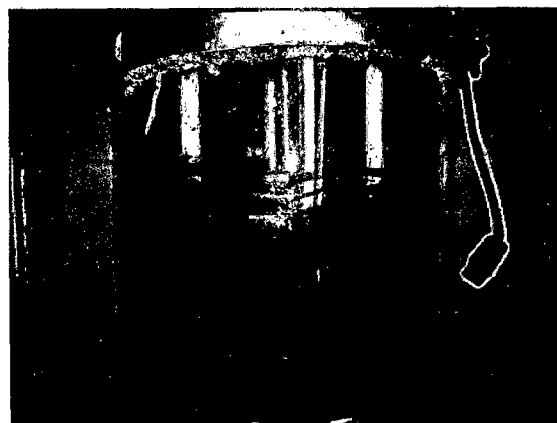
t=11:30



t=12:00



t=12:30

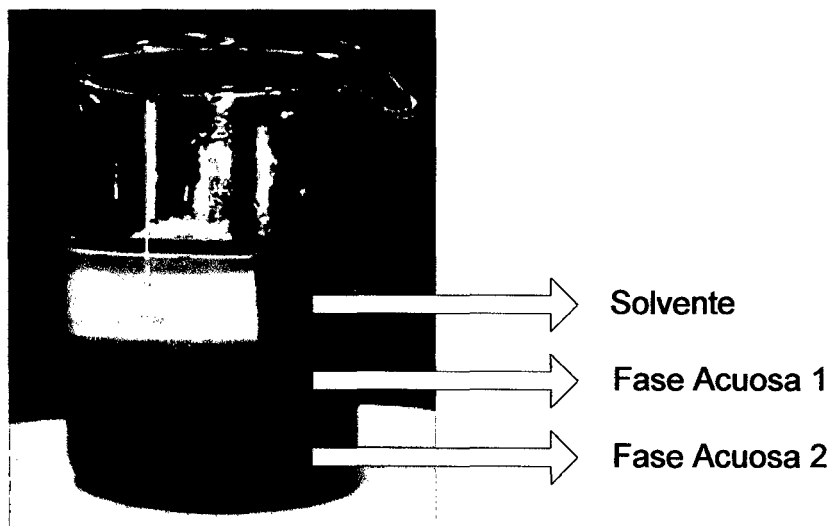


t=13:00



Producto Seco

**Filtrado**



## **ANEXO E**

### **Viscosidad de la Pulpa de Xantato Isopropílico de Sodio**

Para medir la Viscosidad de la Pulpa de Xantato, se utilizó un Viscosímetro Copa Ford Nº 4<sup>24</sup>:

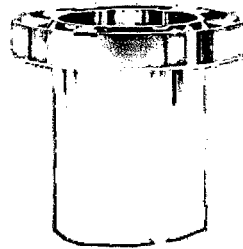


Figura A-18. Copa Ford

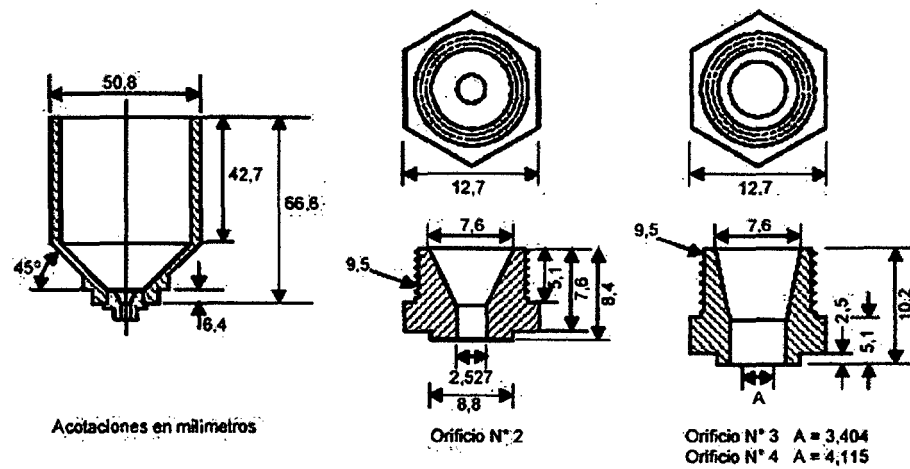


Figura A-19. Copa Ford para Viscosidad y orificios

Descripción	según Norma	Alcance de Medición en Centistokes	Tiempo de salida (segundos)	Diámetro del orificio
Copa Ford Nº 4	ASTM	40 - 370	20 - 105	0 16 in (4 mm)

t (s)	$v_c$ , Centistokes	$\mu$ , $\frac{kg}{ms}$	$\mu$ , Cpo	
49	171,15	0,180	179,52	
50	175,00	0,184	183,56	
49	171,15	0,180	179,52	
48	167,31	0,175	175,49	
50	175,00	0,184	183,56	
Promedio	49,2	171,92	0,180	180,33

<sup>24</sup> [57]

## **ANEXO F**

**Filtro Centrifugo**

**Secador Rotatorio**

**Coefficientes de Transferencia de Calor para Chaquetas y Serpentes**

**Diseño de Condensadores**

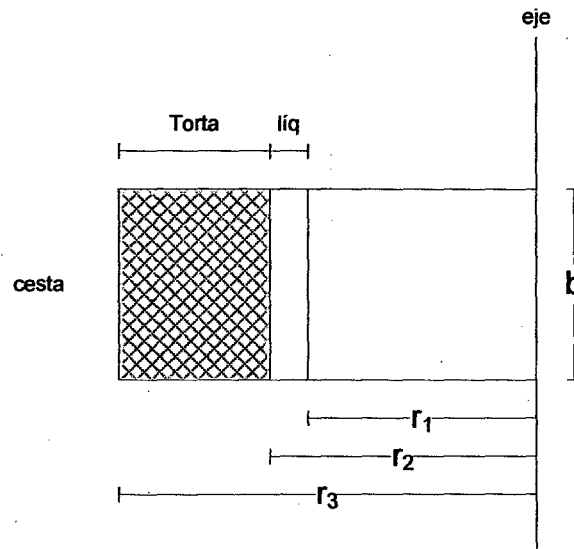
**Tanques de Almacenamiento de los Insumos**

**Equipo de Depuración de Gases**

**Consumo Combustible**



### Filtro Centrífugo



Se tiene la siguiente ecuación<sup>29</sup>:

$$q = \frac{\pi^3 n \rho_{\text{filtrado}} b (r_3^2 - r_1^2)}{30^2 \mu_{\text{filtrado}} \left( \alpha \rho_s (1 - \varepsilon) \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{R_m}{r_3} \right)}$$

Donde:

$\rho_{\text{filtrado}}$ : 1 224,5 kg/m<sup>3</sup>

$\mu_{\text{filtrado}}$ : 0,0015 kg/ms

$\alpha$ : 0,00000187 m/kg, resistencia específica de la torta

$\rho_s$ : 3 530 kg/m<sup>3</sup>, densidad del sólido

$\varepsilon$ : 0,7960, porosidad de la torta

$R_m$ : insignificante, resistencia del medio filtrante

Realizando las respectivas iteraciones, se obtienen las siguientes dimensiones del filtro centrífugo:

Altura : 0,508 m

D<sub>interno</sub> : 0,762 m

<sup>29</sup> [14] pág. 676

## Secador

La velocidad de transmisión de calor del medio de calentamiento a través de la pared del secador hasta los sólidos se expresa como sigue<sup>30</sup>:

$$q = UA\Delta T_{ml}$$

Donde:

q: flujo calorífico de calor

U: coeficiente general de transferencia de calor

A: área total de cubierta

$\Delta T_{ml}$ : media logarítmica de la fuerza impulsora de la temperatura

Además se sabe<sup>31</sup>:

$$\frac{q_T}{m_s} = C_{p_s}(T_{sb} - T_{sa}) + X_a C_{p_L}(T_v - T_{sa}) + (X_a - X_b)\lambda + X_b C_{p_L}(T_{sb} - T_v) + (X_a - X_b)C_{p_v}(T_{vb} - T_v)$$

Donde:

$q_T$ : flujo calorífico de calor

$m_s$ : masa de sólidos totalmente secos

$C_{p_s}$ ,  $C_{p_L}$  y  $C_{p_v}$ : calores específicos de sólidos, líquidos y gases

$T_{sb}$ : temperatura final de los sólidos

$T_{sa}$ : temperatura de alimentación

$X_a$  y  $X_b$ : contenidos inicial y final de líquido

$T_v$ : temperatura de vaporización

$\lambda$ : calor latente de vaporización

$T_{vb}$ : temperatura final del vapor

<sup>30</sup> [1] pág. 20-51

<sup>31</sup> [13] pág. 840

También<sup>32</sup>:

$$q = q_c + q_k$$

$$q_c = h_c (T_G - T_s)$$

Además<sup>33</sup>:

$$h_c = \frac{kNu}{D_h}$$

$$D_h = D_o - D_i$$

$$Re = \frac{\rho(D_o - D_i)}{\mu} \times \frac{m_h}{\rho\pi(D_o^2 - D_i^2)/4}$$

$$Pr = \frac{Cp\mu}{k}$$

Se sabe<sup>34</sup>:

$$Nu = 0.020 Re^{0.8} Pr^{1/3} \left( \frac{D_o}{D_i} \right)^{0.53}$$

Asimismo<sup>35</sup>:

$$q_k = \frac{2\pi k (T_s - \bar{T}_h)}{2.3 \log(D_o/D_i)}$$

Donde:

q: flujo calorífico de calor

q<sub>c</sub>: flujo calorífico de calor convectivo

q<sub>k</sub>: flujo calorífico de calor conductivo

<sup>32</sup> [21] pág. 743

<sup>33</sup> [11] pág. 455 y 595

<sup>34</sup> [1] pág. 10-17

<sup>35</sup> [10] pág. 31

$h_c$ : coeficiente de transferencia de calor por convección

$T_G$ : temperatura absoluta del gas

$T_s$ : temperatura en la superficie de secado

$k$ : conductividad térmica

$Nu$ : número de Nusselt

$Re$ : número de Reynolds

$Pr$ : número de Prandtl

$D_H$ : diámetro hidráulico

$D_o$ : diámetro externo del secador

$D_i$ : diámetro interno del secador

$m_h$ : flujo de vapor

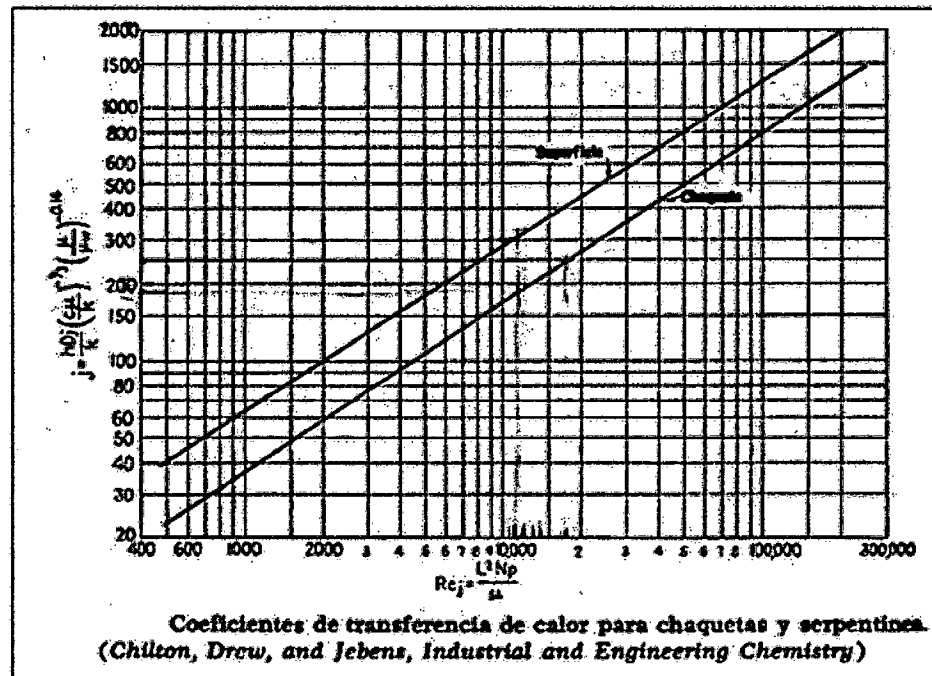
Realizando las iteraciones correspondientes y teniendo como datos valores proporcionados por una empresa nacional, se obtienen las siguientes dimensiones del secador rotatorio:

Largo	:	2,44 m
$D_{\text{interno}}$	:	0,76 m
$D_{\text{externo}}$	:	0,87 m

Además el flujo de Vapor necesitado = 0,2 kg/s

**Coefficientes de Transferencia de Calor para Chaquetas y Serpientes**

**Figura 11. Factor J en transferencia de calor para chaquetas y serpentines**



Fuente: Kern, Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor. Página 816.

### Condensador del Reactor y del Secador

CONDENSADOR DE VAPORES EN EL REACTOR									
<b>Identificación:</b>	Item :	E						Fecha:	
	Nº:	101							
	Cantidad:	2						Por:	
<b>Función:</b> Condensar los vapores de la parte superior del Reactor.									
<b>Operación:</b> Por Lotes.									
<b>Tipo:</b> Vertical									
<b>Coraza y Tubos</b>									
	Capacidad:	109,308	KJ/h			Sup. Ext.:	4.3	m <sup>2</sup>	
<b>En los Tubos:</b>									
	Fluido circulante:	Vapores de CS <sub>2</sub>			Tubos:	2.21	cm. Diam.	16	BWG
	Flujo Volumétrico:	0.801	gl/min.		1 1/4 in	entre centros. Arreglo:		<input type="checkbox"/>	con
					48	tubos, c/u :	1.52	m. de long.	
					1	pasos.			
	Presión:	1	atm		Material de los tubos: Acero al carbono				
	Interv. de T°:	50 - 25	°C						
	Material del cabezal:								
<b>En la Carcaza:</b>									
	Fluido circulante:	Agua			Carcaza:	30.48	cm. Diam. , de	1	paso.
	Flujo Másico:	1,814	Kg/h						
	Presión:	1	atm		Material de la carcaza : Acero al carbono				
	Interv. de T°:	18 - 24	°C						
<b>Servicios auxiliares:</b> Agua de enfriamiento tratada.									
<b>Controles:</b> Sensores Pt-100, Manómetros									
<b>Aislamiento:</b> Fibra de vidrio									
<b>Tolerancia:</b>									
<b>Observaciones y Planos:</b> La ubicación de entradas y Salidas se indican en el plano.									



## Diseño de Condensadores

Para el diseño de ambos condensadores se tomaron las siguientes asunciones:

### 1. Condensador Superior del Reactor:

Se considera que:

- Los vapores que se generan en el reactor son una mezcla de vapores de los distintos insumos, cada uno de los cuales tiene una determinada temperatura de ebullición conocida<sup>36</sup>.
- El insumo con punto de ebullición más bajo es el CS<sub>2</sub> y es el componente más volátil. Para fines de diseño se considera que el total de vapores es Bisulfuro de Carbono.

$$T_{eb_{CS_2}} = 46.25^{\circ}C$$

- El proceso contempla temperaturas por encima de los 50°C, por lo que existe una probabilidad alta de que se generen vapores de Bisulfuro de Carbono.
- Del Balance de masa en el reactor se considera un aproximado de volátiles igual a:

$$M_{CS_2} = 229 \text{ Kg/h}$$

- Se diseñará un condensador vertical para la masa indicada de Bisulfuro de Carbono que salen del reactor a T<sub>1</sub>=50°C y se espera que se condensen los vapores hasta una temperatura aproximada de T<sub>2</sub>=25°C.
- Uso de agua como líquido refrigerante que ingresa a 18°C.

#### a. Balance de calor en el condensador

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

Donde:

Q: Calor generado por el fluido caliente (calor que debe retirarse del sistema)

---

<sup>36</sup> [16], pág. 555



m: flujo másico del fluido caliente/frío

$C_p$ : capacidad calorífica.

$\Delta T$ : Cambio de temperatura ( $T_1 - T_2$ )

$$m_{H_2O} = 1,814 \text{ kg/h}$$

$$Q = 109,308 \text{ Kj/h}$$

- b. Coeficiente Total de Transferencia de Calor de Diseño ( $U_D$ ) asumido<sup>37</sup>

$$U_D = 30.6 \text{ Kj/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Factor de ensuciamiento permitido según bibliografía<sup>38</sup> es:

$$R_D = 0.003 \text{ min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Kj}$$

- c. Promedio Logarítmico de la Temperatura (MLTD)

$$\text{MLTD} = \frac{(\Delta t_2 - \Delta t_1)}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)}$$

Se propone la instalación de un Condensador de Coraza y Tubos: 1 paso en la coraza y 2 o más en los tubos, para el cual el factor de corrección del MLTD es:

$$F_t = 0.998^{39}$$

- d. El área de intercambio se despeja de:

$$Q = U_D \times A \times F_t \times \text{MLTD}$$

Donde:

U: coeficiente total de transferencia de calor

A: área de transferencia de calor

$F_t$ : factor de diferencia de temperatura

<sup>37</sup>, <sup>38</sup> [10] pág. 945, Tabla 8

<sup>39</sup> [10] pág. 933, Fig. 18

Luego:

$$A=4.31 \text{ m}^2$$

e. Número de Tubos requerido ( $N_t$ ):

$$N_t = \frac{A}{L \times \text{sup.pie}}$$

Donde:

L: longitud de los tubos

Sup.pie: superficie de contacto de cada tubo

Para la determinación de la superficie por pie se usan tablas <sup>40</sup>de diseño, además se selecciona por razones comerciales se seleccionarán Tubos de 1" 16 BWG en arreglo cuadrangular de 1 ¼", y de Tablas:

$$N_t= 48$$

f. Corrección del Coeficiente Total de Transferencia de calor ( $U_D$ ):

Inicialmente se asumió un valor para  $U_D$ , a partir del cual se calcula el área de transferencia de calor, para confirmar la validez de la suposición se calcularan los coeficientes convectivos de calor.

**Lado de la Coraza: Agua**

Se usaron las propiedades del agua a 22.5 ° C

Datos del Condensador propuesto de tablas<sup>41</sup>

<sup>40</sup> [10] pág. 948, Tabla N°10

<sup>41</sup> [10] pág. 948, Tabla N°11; [5] Fig. 10-54

Coraza: (medidas comerciales)

Pasos :	1
Ced. :	30
DE :	0,32385 m
DI :	0,307086 m
Área flujo/tubo :	0,0741934 m
sup.*pie (int) :	0,294493 lin*m <sup>2</sup>
Pt :	0,00080645 m
de :	0,00047097 m
C' :	0,00016129 m
B :	0,00258064 m

Donde:

DE: diámetro externo del condensador

DI: diámetro interno del condensador

P<sub>t</sub>: paso de tubos

d<sub>e</sub>: diámetro equivalente<sup>42</sup>

C': espaciado entre tubos adyacentes

B: espaciado de los deflectores

I. Área transversal de flujo:

$$a_s = \frac{DI \times C' \times B}{P_t \times 144}$$

$$a_s = 0.0063 \text{ m}^2$$

II. Flujo másico de agua:

$$G_s = \frac{m_{H_2O}}{a_s}$$

<sup>42</sup> [10] pág. 943, Fig. 28

III. Número de Reunolds:

$$N_{Re} = \frac{D_e \times G_s}{\mu}$$

IV. Factor de Colburn

En la curva de transferencia de calor para el lado de la coraza<sup>43</sup>

$$j_H=32$$

V. De la correlación para los fluidos en la coraza<sup>44</sup>

$$h_o = \frac{\kappa \times j_H}{D_e} \times N_{Pr}^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

Donde:

$N_{Pr}$ : número de Prandtl

$$N_{Pr} = \frac{Cp \times \mu}{\kappa}$$

$\mu$ : viscosidad del agua

$\mu_w$ : viscosidad del agua a la temperatura de la pared de los tubos (se asumió:  $\mu = \mu_w$ )

$D_e$ : diámetro equivalente.

$\kappa$ : conductividad térmica

$Cp$ : capacidad calorífica del agua

Despejando:

$$h_o = 143 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

<sup>43</sup> [10] pág. 943, Fig. 28

<sup>44</sup> [10] pág. 354

**Lado de los tubos: Vapores de CS<sub>2</sub>**

Tenemos los datos comerciales de los tubos.<sup>45</sup>

Tubos: (medidas comerciales)

L :	1,524 m
Nº :	48
"x" :	0,0000419 m
sup.*pie (ext) :	0,0243212 lin*m <sup>2</sup>
DI :	0,0005613 m

Donde:

L: longitud de los tubos

"x": espesor del tubo

Sup.pie(ext): superficie exterior de los tubos

DI: diámetro interno del tubo

Se debe realizar los cálculos usando los valores de la propiedades de CS<sub>2</sub> a T<sub>f</sub>.

Se requiere un valor inicial para hoy. Se toma como valor referencial<sup>46</sup>:

$$h_{oi} = 163.5 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Se comprobará este valor:

I. Temperatura en la pared del tubo (T<sub>w</sub>)

$$T_w = T_a + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} \times (T_v + T_a)$$

Donde:

T<sub>a</sub>: temperatura promedio del agua que circula por la coraza.

<sup>45</sup> [10] pág. 948, Tabla N°10; [5] Fig.10-54

<sup>46</sup> [5] pág. 95, Tabla 10-19

$T_v$ : temperatura promedio de los vapores que circulan por los tubos.

$$T_w = 34^\circ\text{C}$$

Luego:

$$T_f = \frac{T_v + T_w}{2}$$

- II. Despreciando la interferencia de los deflectores en la coraza y haciendo uso de sugerencias bibliográficas<sup>47</sup> se determina el coeficiente medio de transferencia de calor para la condensación en todo el tubo<sup>48</sup>.

Reemplazando datos:

$$h_{io} = 115 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

El valor que se había asumido es cercano al valor hallado, por lo que los valores hallados son aceptados para calcular el Coeficiente Total de Transferencia de Calor.

- III. Coeficiente de transferencia de calor Total limpio ( $U_C$ )

$$U_C = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

Reemplazando valores:

$$U_C = 64 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- IV. De los datos comerciales de los tubos:

$$A_T = L \times N_t \times \text{sup. pie}$$

$$A_{TC} = 5.8 \text{ m}^2$$

<sup>47</sup> [10] pág. 322

<sup>48</sup> [10] pág. 320

Coefficiente de transferencia de calor Total de Diseño ( $U_D$ )

$$U_{DC} = \frac{Q}{A_{TC} \times F_T \times MLTD}$$

$$U_{DC} = 27,2 \text{ Kj/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Comparando ambos coeficientes se tiene que son valores próximos por lo que se considera aceptable el condensador propuesto.

## 2. Condensador del Secador:

Se considera que:

- Los vapores que se generarán en el secador constituyen una mezcla de los insumos utilizados pero esta vez están sometidos a vacío.
- Se calculan las temperaturas de ebullición de cada insumo, llámense: agua, solvente, alcohol, bisulfuro de carbono usando la Ecuación de Antoine.

$$T = \left( \frac{B}{A - \ln(P)} \right) - C$$

Los coeficientes se obtuvieron de tablas.

- Se asume un vacío igual a 3 psia.
- Temperatura de ebullición del agua a presión de vacío:

$$T_{H_2O} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lo que indicaría que el proceso debe superar esta temperatura para poder extraer el agua de la pulpa.

- Del Balance de masa en el reactor se considera un aproximado de:

$$M_{H_2O} = 498 \text{ Kg/h}$$

- Balance de energía en el condensador:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T = L_{H_2O} \times m$$

Donde:

Q: Calor generado por el fluido caliente (calor que debe retirarse del sistema)

m: flujo másico del fluido caliente/frío

$C_p$ : capacidad calorífica.

$\Delta T$ : Cambio de temperatura ( $T_1 - T_2$ )

$L_{H_2O}$ : Calor latente de vaporización

- Se diseñará un condensador vertical para el flujo de masa indicado de agua que ingresará al condensador a  $T_1 = 75^\circ\text{C}$  para condensar los vapores de agua y solvente hasta una temperatura aproximada de  $T_2 = 35^\circ\text{C}$ .
- Uso de agua como líquido refrigerante que ingresa a  $18^\circ\text{C}$  por los tubos.

$$m_{H_2O} = 7\,017,0 \text{ kg/h}$$

$$Q = 935\,943,0 \text{ Kj/h}$$

- a. Coeficiente Total de Transferencia de Calor de Diseño ( $U_D$ ) asumido<sup>49</sup>

$$U_D = 34,0 \text{ Kj/min.m}^2.\text{°C}$$

---

<sup>49</sup> [5] pág. 94, Tabla 10-17



## b. Promedio Logarítmico de la Temperatura

$$MLTD = \frac{(\Delta t_2 - \Delta t_1)}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)}$$

Se propone la instalación de un Condensador de Coraza y Tubos: 1 paso en la coraza y 2 en los tubos. Para el cual el factor de corrección del MLTD es:

$$F_i = 1.0^{50}$$

## c. El área de intercambio se despeja de:

$$A = 18.9 \text{ m}^2$$

d. Número de Tubos requerido ( $N_t$ ):

$$N_t = \frac{A}{L \times \text{sup.pie}}$$

Para la determinación de la superficie por pie se usan tablas <sup>51</sup>de diseño, además se selecciona por razones comerciales se seleccionarán Tubos de 1" 12 BWG en arreglo triangular de 1 ¼", y de la Tabla

$$N_t = 112$$

e. Corrección del Coeficiente Total de Transferencia de calor ( $U_D$ ):

Los cálculos se realizan de la misma manera que para el condensador anterior. Se considera que los vapores (en un gran porcentaje vapor de agua) fluyen por los tubos y en la coraza fluye agua de enfriamiento

<sup>50</sup> [10] pág. 933, Fig. 18

<sup>51</sup> [10] pág. 948, Tabla 10

**Lado de la Coraza: Agua**

Se usaron las propiedades del agua a 22.5 ° C

También se pueden obtener datos del Condensador propuesto de tablas<sup>52</sup>

Coraza: (medidas comerciales)

Ced. :	20
DE :	0,4572 m
DI :	0,43815 m
Área flujo/tubo :	0,15096744 m
sup.*pie (int) :	0,419908 lin*m <sup>2</sup>
Pt :	0,00080645 m
de :	0,00046452 m
C' :	0,00016129 m
B :	0,00387096 m

Donde:

DE: diámetro externo del condensador

DI: diámetro interno del condensador

P<sub>t</sub>: paso de tubos

d<sub>e</sub>: diámetro equivalente<sup>53</sup>

C': espaciado entre tubos adyacentes

B: espaciado de los deflectores

I. Área transversal de flujo:

$$a_s = \frac{DI \times C' \times B}{P_t \times 144}$$

$$a_s = 0.013 \text{ m}^2$$

<sup>52</sup> [10] pág. 948, Tabla N°11; [5] Fig.10-54

<sup>53</sup> [10] pág. 943, Fig. 28

II. Flujo másico de agua:

$$G_s = \frac{m_{H2O}}{a_s}$$

III. Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{D_e \times G_s}{\mu}$$

IV. Factor de Colburn

En la curva de transferencia de calor para el lado de la coraza<sup>54</sup>

$$j_H = 28$$

V. De la correlación la fluidos en la coraza<sup>55</sup>

$$h_o = \frac{\kappa \times j_H}{D_e} \times N_{Pr}^{1/3} \times \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Donde:

$N_{Pr}$ : número de Prandtl

$$N_{Pr} = \frac{C_p \times \mu}{\kappa}$$

$\mu$ : viscosidad del agua

$\mu_w$ : viscosidad del la temperatura de la pared de los tubos (se asumió:  $\mu = \mu_w$ )

$D_e$ : diámetro equivalente.

$\kappa$ : conductividad térmica

$C_p$ : capacidad calorífica del agua

<sup>54</sup> [10] pág. 943, Fig. 28

<sup>55</sup> [10] pág. 354

Despejando:

$$h_o = 130,5 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

**Lado de los tubos: Vapores de CS<sub>2</sub>**

Tenemos los datos comerciales de los tubos.<sup>56</sup>

Tubos: (medidas comerciales)

Pasos :	2
L :	2,44 m
Nº :	112
"x" :	0,0000703 m
sup.*pie (ext) :	0,0243212 lin*m <sup>2</sup>
DI :	0,0005045 m

Donde:

L: longitud de los tubos

"x": espesor del tubo

Sup.pie(ext): superficie exterior de los tubos

DI: diámetro interno del tubo

Se debe realizar los cálculos usando los valores de las propiedades de CS<sub>2</sub> a T<sub>f</sub>.

Se requiere un valor inicial por lo que se asume como valor referencial<sup>57</sup>:

$$h_{oi} = 682 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Se comprobará este valor.

<sup>56</sup> [10] pág. 948, Tabla N°11; [5] Fig.10-54

<sup>57</sup> [5] pág. 95, Tabla 10-19

I. Temperatura en la pared del tubo ( $T_w$ )

$$T_w = T_a + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} \times (T_v + T_a)$$

Donde:

$T_a$ : temperatura promedio del agua que circula por la coraza.

$T_v$ : temperatura promedio de los vapores que circulan por los tubos.

$$T_w = 50^\circ\text{C}$$

Luego:

$$T_f = \frac{T_v + T_w}{2}$$

II. Despreciando la interferencia de los deflectores en la coraza y haciendo uso de sugerencias bibliográficas<sup>58</sup> se determina el coeficiente medio de transferencia de calor para la condensación en todo el tubo<sup>59</sup>.

Reemplazando datos:

$$h_{io} = 713 \text{ KJ/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

El valor que se había asumido es cercano al valor hallado, por lo que los valores hallados son aceptados para calcular el Coeficiente Total de Transferencia de Calor.

---

<sup>58</sup> [10] pág. 322

<sup>59</sup> [10] pág. 320

III. Coeficiente de transferencia de calor Total limpio ( $U_C$ )

$$U_C = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

Reemplazando valores:

$$U_C = 110.25 \text{ Kj/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

IV. De los datos comerciales de los tubos:

$$A_T = L \times N_t \times \text{sup.pie}$$

$$A_{TC} = 21.8 \text{ m}^2$$

V. Coeficiente de transferencia de calor Total de Diseño ( $U_D$ )

$$U_{DC} = \frac{Q}{A_{TC} \times F_T \times \text{MLTD}}$$

$$U_{DC} = 22.8 \text{ Kj/min} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Comparando ambos coeficientes se tiene que son valores próximos por lo que se considera aceptable el condensador propuesto.

**Tanques de Almacenamiento de los Insumos**

Insumo	Tanque de Almacenamiento		
	h (m)	$\phi$ (m)	N° de Tanques
NaOH 50%	6,0	2,5	2
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHO	6,0	2,5	5
CS <sub>2</sub>	4,0	2,0	12
Solvente	4,0	1,5	3

### Equipo de Depuración de Gases

Una de la maneras de adquisición de este equipo se usar ábacos contenidos en los catálogos de fabricante; para ello normalmente se requieren datos de flujo de los gases y diámetro promedio de partícula de los polvos. Los datos para este caso son:

Flujo de gases de entrada al ciclón:

$$q_{sec} = 2\,160,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Diámetro promedio de partícula:

$$D_{pm}^{60} = 0,0384 \text{ mm}$$

Se tiene la siguiente Figura<sup>61</sup>

---

<sup>60</sup> Dato obtenido del análisis granulométrico del Xantato en polvo.

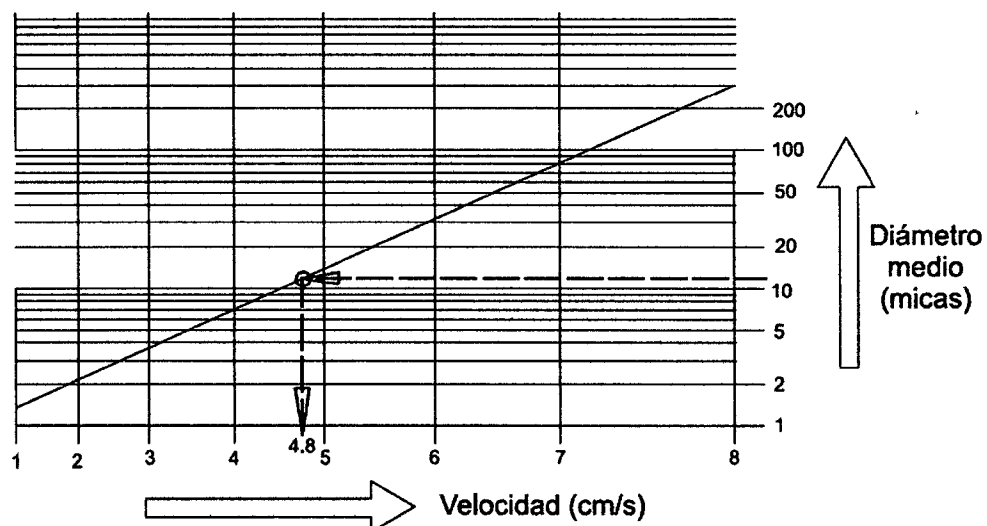
<sup>61</sup> [59]





## Ratio de filtración

(Velocidad de gas a través del tejido, en función de la granulometría media)



Con el diámetro promedio de partícula 38,4 micras se tiene para este caso una velocidad aproximada de: 6,3 cm/s

### 2. Dimensionamiento del equipo

Se ingresa al ábaco con el caudal de los gases 2 160,0 m<sup>3</sup>/h y el ratio de filtración calculado en el paso anterior (6,3 cm/s), de donde resulta: Filtro Revenair 1- 180 de 9 m<sup>2</sup> de superficie filtrante.

### 3. Las dimensiones se muestran en los siguientes cuadros<sup>63</sup>:

<sup>63</sup> [59]

Número de círculos	Longitud de mangas (cm)					Superficie filtrante (m <sup>2</sup> )
	120	180	240	300	360	
1	6,5	9,8	13,3	-	-	
2	17,8	27,0	36,0	45,0	-	
3	-	52,0	38,0	86,0	102,0	
4	-	108,0	135,0	162,0	-	
5	-	-	-	200,0	240,0	
6	-	-	-	270,0	324,0	
7	-	-	-	350,0	420,0	

		Número de círculos						
		1	2	3	4	5	6	7
Altura de accionamientos	A	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Altura de la cámara de aire depurado	R	750	750	750	750	750	750	750
Altura de cámara de aire bruto	S	Escalonada en intervalos de 600 mm desde 1 200 hasta 3 600						
Altura de la tolva con esclusa	B	1 100	1 600	2 000	2 500	2 900	3 350	3 750
Diámetro exterior	D	1 100	1 600	2 150	2 650	3 150	3 700	4 200

### Cálculo Consumo de Combustible en la Caldera

Según información de catálogo la caldera sugerida requiere una alimentación de 16,8 gal/h de Diesel; como se sugiere además el uso de Gas natural como combustible por lo que se debe hallar el equivalente. Se tiene el siguiente procedimiento:

**a. Determinar el consumo mensual de Diesel**

$$\text{Consumo mensual} = \text{Consumo} \times \text{Hrs. Operación} \times \text{Días trabajados al mes}$$

Datos

Consumo de Diesel	:	16,80	gal/h
Horas de Operación Diaria	:	15	h
Días a la semana	:	7	
Factor de Servicio	:	0,7	
<b>Consumo de Petróleo de Diesel</b>	:	<b>4 939,20</b>	<b>gal/mes</b>

**b. Determinar el consumo energético de la Caldera<sup>64</sup>:**

$$\text{Consumo energético} = \text{Poder calorífico} \times \text{Consumo mensual}$$

Combustible	Poder Calorífico	Unidad
Petróleo Diesel	150,0	MMBtu/10 <sup>3</sup> gal
Gas Natural	1 020,0	MMBtu/10 <sup>6</sup> gal

<b>Consumo Energético</b>	:	<b>740,88</b>	<b>MMBtu/mes</b>
---------------------------	---	---------------	------------------

<sup>64</sup> Los datos del Poder Calorífico de los combustibles pueden extraerse de [60]

**c. Determinación del requerimiento de Gas Natural:**

$$\text{Consumo Gas Natural} = \frac{\text{Consumo energético}}{\text{Poder calorífico}}$$

<b>Consumo Gas Natural :</b>	726 352,94 scf/mes
	9 882,35 scf/h
	279,84 sm <sup>3</sup> /h
	20 568,06 sm <sup>3</sup> /mes

## **ANEXO G**

### **Aspecto Económico**

**Resumen Costo de Manufactura**

**Resumen Costo de Equipos**

**Análisis de Sensibilidad**

<b>COSTO DE MANUFACTURA</b>
-----------------------------

**Proyecto: Estudio Técnico-Económico y Diseño de Planta de la Fabricación de Xantato Isopropílico de Sodio utilizando Hidróxido de Sodio líquido en reemplazo de Hidróxido de Sodio sólido.**

Localización: Lima - Perú		Capacidad Anual: <b>5 835 TM</b>
Fecha Aplicación	2010	ÍNDICE COSTO
CAPITAL FIJO, C <sub>FC</sub>	1 640 MU\$	VALOR I.C. <b>521,9</b>
CAPITAL TRABAJO, C <sub>WC</sub>	246 MU\$	
INVERSIÓN CAPITAL TOTAL	1 886 MU\$	

COSTOS	MU\$ / Año	MU\$ / TM
<b>COSTO MANUFACTURA</b>		
<b>GASTOS DIRECTOS</b>		
INSUMOS	\$/kg	7 506
CRÉDITOS DE SUBPRODUCTOS	0,000 \$/kg	0
Solvente N° 1	1,067 \$/kg	281
MANO DE OBRA OPERACIÓN		91
SUPERV. Y MANO DE OBRA OF. (10-20 % mano de obra)		14
<b>SERVICIOS</b>		
Vapor Calderas @	0,064 \$/kg	397
Gas Natural @	0,070 \$/sm <sup>3</sup>	166
Electricidad @	0,098 \$/KW	84
Agua Proceso @	0,000 \$/kg	0
Agua de Enfriamiento @	0,011 \$/m <sup>3</sup>	13
Manejo Desechos @	0,065 \$/kg	88
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES (2-10 % capital fijo)	2 %	33
SUMINISTROS DE OPERACIÓN (10-20 % mantenimiento y operaciones)	10 %	3
CARGOS DE LABORATORIO (10-20 % mano de obra operaciones)	10 %	9
<b>TOTAL A<sub>DME</sub></b>		<b>8 387</b>
		8 387
		1,437
<b>GASTOS INDIRECTOS</b>		
GENR, EMPACADO, ALMACÉN (50-70 % de m.o. + superv. + mnto.)	50 %	69
IMPUESTOS LOCALES (1-2 % del Capital Fijo)	1 %	16
SEGUROS (0.4-1.0 % del Capital Fijo)	0,4 %	7
<b>TOTAL A<sub>DNE</sub></b>		<b>92</b>
		92
		0,016
<b>COSTO MANUFACTURA TOTAL (no incluye depreciación)</b>		
<b>TOTAL A<sub>NE</sub></b>		<b>8 479</b>
		8 479
		1,453
<b>DEPRECIACIÓN (no incluye depreciación) A<sub>BD</sub></b>		
		<b>164</b>
		164
		0,028
<b>GASTOS GENERALES (OVERHEAD)</b>		
GASTOS ADMINISTRATIVOS (25 % gastos generales)	25 %	17
GASTOS DE DISTRIBUCIÓN Y VENTAS (10 % gasto total)	10 %	972
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (5 % gasto total)	5 %	486
<b>TOTAL A<sub>GE</sub></b>		<b>1 475</b>
		1 475
		0,253
<b>GASTO TOTAL ATE A<sub>TE</sub></b>		<b>10 118</b>
		10 118
		1,734

INGRESOS Y MARGEN	MU\$ / Año	MU\$ / TM
INGRESOS POR VENTAS A <sub>S</sub>	10 369	1,777
GANANCIA ANUAL NETA A <sub>NP</sub>	251	0,043
IMPUESTO A LA RENTA A <sub>IT</sub> 30 %	75	0,013
<b>GANANCIA NETA DESPUÉS IMPUESTO A<sub>NNP</sub></b>	<b>176</b>	<b>0,030</b>

Resumen del Costo de Manufactura

**Proyecto: Estudio Técnico-Económico y Diseño de Planta de la Fabricación de Xantato Isopropílico  
de Sodio utilizando Hidróxido de Sodio líquido en reemplazo de Hidróxido de Sodio sólido.**

Localización: Lima - Perú

Capacidad Anual: 5 835 TM

Tipo del Índice

Año

Valor del Índice del Costo 521,9

2009

Ítem	Equipo	Código de Identificación	Especificación del Equipo	Costo Adquisición Cp (\$)	Año data	Índice Año data	Factor Presión F <sub>p</sub>	Material F <sub>M</sub>	Factor Módulo F <sub>BM</sub>		Costo Módulo Simple C <sub>BM</sub> Año Base (\$)	Costo Módulo Simple C <sub>BM</sub> Año Actual (\$)
1	Condensador del Reactor 1	E-101	4,31 m <sup>2</sup>	1 400	1982	315	1,0	1,0	1,0	4,2	5 880	9 742
2	Condensador del Reactor 2	E-102	4,31 m <sup>2</sup>	1 400	1982	315	1,0	1,0	1,0	4,2	5 880	9 742
3	Condensador del Secador	E-103	18,93 m <sup>2</sup>	3 500	1982	315	1,5	1,7	2,6	5,6	19 600	32 474
4	Decantador del Filtro Centrifugo	S-101	250,37 m <sup>3</sup>	9 500	1982	315	-	-	-	1,9	18 050	29 906
5	Decantador del Condensador del Secador	S-103	153,66 m <sup>3</sup>	6 500	1982	315	-	-	-	1,9	12 350	20 462
6	Bomba de Recirculación del Reactor 1	P-101	4,27 kW	1 000	1982	315	1,5	1,4	2,1	4,9	4 900	8 118
7	Bomba de Recirculación del Reactor 2	P-102	4,27 kW	1 000	1982	315	1,5	1,4	2,1	4,9	4 900	8 118
8	Tanque de Solvente Recuperado del Filtro	D-101	112,64 m <sup>3</sup>	9 500	1982	315	-	-	-	1,9	18 050	29 906
9	Tanque de Fase Acuosa 1	D-102	68,28 m <sup>3</sup>	6 000	1982	315	-	-	-	1,9	11 400	18 888
10	Tanque de Fase Acuosa 2	D-103	112,64 m <sup>3</sup>	8 000	1982	315	-	-	-	1,9	15 200	25 184
11	Tanque de Solvente Recuperado del Secador	D-104	82,83 m <sup>3</sup>	7 000	1982	315	-	-	-	1,9	13 300	22 036
12	Tolva	D-105	86,07 m <sup>3</sup>	7 000	1982	315	-	-	-	1,9	13 300	22 036
13	Caldera	C-101	0,22 kg/s	15 000	1982	315	1,7	1,15	1,8	3,5	52 785	87 456
14	Torre de Enfriamiento 1	T-101	0,05 m <sup>3</sup> /s	45 000	1982	315	-	-	-	1,0	45 000	74 557
15	Torre de Enfriamiento 2	T-102	0,05 m <sup>3</sup> /s	45 000	1982	315	-	-	-	1,0	45 000	74 557

Costo de los Equipos



Ítem	Equipo	Código de Identificación	Especificación del Equipo	Costo Adquisición Cp (\$)	Año data	Índice Año data	Factor Presión F <sub>p</sub>	Material F <sub>M</sub>	Factor Módulo F <sub>BM</sub>		Costo Módulo Simple C <sub>BM</sub> Año Base (\$)	Costo Módulo Simple C <sub>BM</sub> Año Actual (\$)
1	Reactor 1	R-101	1 460,92 gal	9 500	1982	315	1,2	2,5	3,0	7,9	75 050	124 345
	Sistema de Agitación del Reactor 1		1,89 kW	5 000	1982	315	-	-	-	2,5	12 500	20 710
2	Reactor 2	R-102	1 460,92 gal	9 500	1982	315	1,2	2,5	3,0	7,9	75 050	124 345
	Sistema de Agitación del Reactor 2		1,89 kW	5 000	1982	315	-	-	-	2,5	12 500	20 710
3	Filtro Centrifugo	Fi-101	r = 0,762 m Q=0,003m <sup>3</sup> /s	35 0000	1982	315	-	-	-	3,4	119 000	197 162
4	Separador de Ciclón	S-102	Q=0,8m <sup>3</sup> /s	1 000	1982	315	-	-	-	3,0	3 000	4 970
5	Secador	RD-101	L=2,44 m D=0,9 m	28 000	1982	315	-	-	-	2,3	64 400	106 700

Costo Total Módulo Simple	C <sub>TBM</sub>	1 072 123
Imprevistos y Honorarios	18% x C <sub>TBM</sub>	192 982
Costo Total Módulo	C <sub>TM</sub>	1 265 106
Instalaciones Auxiliares	35% x C <sub>TBM</sub>	375 243
CAPITAL BÁSICO (US\$)	C <sub>GR</sub>	1 640 349
CAPITAL BÁSICO (MUS\$)	C <sub>GR</sub>	1 640

Costo de los Equipos

### Sensibilidad a la Inversión

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA PLANTA DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO														
$\beta$	FNF (MUS\$ de 0)										RENTABILIDAD			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN 15%,0	TIR (%)	
0,80	-1 312,28	478,04	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	1 790,32	2 179,35	46,41
0,85	-1 394,30	465,74	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	1 860,03	2 130,87	43,55
0,90	-1 476,31	453,44	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	1 929,75	2 028,39	41,00
0,95	-1 558,33	441,13	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	1 999,46	1 952,90	38,73
1,00	-1 640,35	428,83	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 069,18	1 877,42	36,68
1,05	-1 722,37	147,83	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 183,89	1 801,94	34,83
1,10	-1 804,38	404,23	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 208,61	1 726,45	33,14
1,15	-1 866,40	391,92	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 278,32	1 650,97	31,60
1,20	-1 968,42	379,62	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 348,04	1 575,49	30,19
1,25	-2 050,44	367,32	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 417,75	1 500,00	28,89
1,30	-2 132,55	355,01	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 487,47	1 424,52	27,69

Datos para la evaluación de la Sensibilidad a la Inversión

### Sensibilidad al Precio de los Insumos

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA PLANTA DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO														
$\beta$	FNF (MUS\$ de 0)										RENTABILIDAD			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN 15%,0	TIR (%)	
0,85	-1 640,35	1 306,51	1 522,56	1 522,56	1 522,56	1 522,56	1 522,56	1 522,56	1 522,56	1 522,56	1 522,56	2 946,86	6 282,29	87,61
0,90	-1 640,35	1 013,95	1 260,00	1 260,00	1 260,00	1 260,00	1 260,00	1 260,00	1 260,00	1 260,00	1 260,00	2 654,30	4 814,00	70,53
0,95	-1 640,35	721,39	967,44	967,44	967,44	967,44	967,44	967,44	967,44	967,44	967,44	2 361,74	3 345,71	53,56
1,00	-1 640,35	428,83	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 069,18	1 877,42	36,68
1,05	-1 640,35	136,27	382,32	382,32	382,32	382,32	382,32	382,32	382,32	382,32	382,32	1 776,62	409,13	19,76
1,10	-1 640,35	-156,29	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	89,76	1 484,06	-1 059,16	2,46

Datos para la evaluación de la Sensibilidad al Precio de los Insumos

### Sensibilidad al Precio del Producto

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA PLANTA DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO													
$\beta$	FNF (MUS\$ de 0)										RENTABILIDAD		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN <sub>15%,0</sub>	TIR (%)
0,90	-1 640,35	-297,01	-50,96	-50,96	-50,96	-50,96	-50,96	-50,96	-50,96	-50,96	1 343,34	-1 765,42	-6,18
0,95	-1 640,35	65,91	311,96	311,96	311,96	311,96	311,96	311,96	311,96	311,96	1 706,26	56,00	15,65
1,00	-1 640,35	428,83	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 069,18	1 877,42	36,68
1,05	-1 640,35	791,75	1 037,80	1 037,80	1 037,80	1 037,80	1 037,80	1 037,80	1 037,80	1 037,80	2 432,10	3 698,84	57,63
1,10	-1 640,35	1 154,67	1 400,73	1 400,73	1 400,73	1 400,73	1 400,73	1 400,73	1 400,73	1 400,73	2 795,02	5 520,26	78,73
1,15	-1 640,35	1 517,59	1 763,65	1 763,65	1 763,65	1 763,65	1 763,65	1 763,65	1 763,65	1 763,65	3 157,94	7 341,68	99,99

Datos para la evaluación de la Sensibilidad al Precio del Producto

### Sensibilidad a los Costos Variables

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA PLANTA DE XANTATO ISOPROPÍLICO DE SODIO													
$\beta$	FNF (MUS\$ de 0)										RENTABILIDAD		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VPN <sub>15%,0</sub>	TIR (%)
0,80	-1 526,70	448,01	677,01	677,01	677,01	677,01	677,01	677,01	677,01	677,01	1 974,71	1 992,71	39,71
0,85	-1 555,12	443,21	676,48	676,48	676,48	676,48	676,48	676,48	676,48	676,48	1 998,24	1 963,89	38,91
0,90	-1 583,53	438,42	675,95	675,95	675,95	675,95	675,95	675,95	675,95	675,95	2 021,95	1 935,07	38,14
0,95	-1 611,94	433,63	675,42	675,42	675,42	675,42	675,42	675,42	675,42	675,42	2 045,56	1 906,24	37,40
1,00	-1 640,35	428,83	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	674,88	2 069,18	1 877,42	36,68
1,05	-1 668,76	424,04	674,35	674,35	674,35	674,35	674,35	674,35	674,35	674,35	2 092,80	1 848,60	35,99
1,10	-1 697,17	419,24	673,82	673,82	673,82	673,82	673,82	673,82	673,82	673,82	2 116,41	1 819,77	35,32
1,15	-1 725,58	414,45	673,28	673,28	673,28	673,28	673,28	673,28	673,28	673,28	2 140,03	1 790,95	34,67
1,20	-1 753,99	409,65	672,75	672,75	672,75	672,75	672,75	672,75	672,75	672,75	2 163,65	1 762,13	34,04
1,25	-1 782,41	404,86	672,22	672,22	672,22	672,22	672,22	672,22	672,22	672,22	2 187,56	1 733,30	33,44
1,30	-1 810,82	400,06	671,28	671,28	671,28	671,28	671,28	671,28	671,28	671,28	2 210,88	1 704,48	32,85

Datos para la evaluación de la Sensibilidad a los Costos Variables

## **ANEXO H**

**Normas Generales para los Aspectos de Seguridad y Medio Ambiente**

<b>MATERIA</b>	<b>DISPOSICIÓN LEGAL</b>	<b>FECHA DE PUBLICACIÓN</b>	<b>SUMILLA</b>
Normas Generales	D.S. 28/60	26-11-1960	Reglamento de desagües industriales
	ASPL		
	Ley 17752	25-07-1969	Ley General de Aguas
	Ley 26620	21-06-1996	Dictan normas para formalizar denuncias penales por infracción a la legislación ambiental
	Ley 26842	20-07-1997	Ley general de Salud
Sector Industria	D.S. 19-97 ITINCI	01-10-1997	Reglamento de protección ambiental para las actividades de la industria manufacturera
Subsector Hidrocarburos	R.D. 030-96- EM/DGAA	07-11-1996	Aprueban niveles máximos permisibles para efluentes líquidos producto de actividades de explotación y comercialización de hidrocarburos líquidos y sus derivados.

- a) El Ministro del Ambiente o su representante, quien lo presidirá;
- b) Un representante del Ministerio de Economía y Finanzas;
- c) Un representante del Ministerio de Agricultura;
- d) Un representante de los organismos no gubernamentales de desarrollo, especializados en asuntos ambientales;
- e) Un representante de la Confederación Nacional de Instituciones Privadas (CONFIEP); y
- f) Un representante de la comunidad universitaria, especializado en asuntos ambientales."

POR TANTO:

Mando se publique y cumpla, dando cuenta al Congreso de la República.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los trece días del mes mayo del año dos mil ocho.

**ALAN GARCÍA PÉREZ**  
Presidente Constitucional de la República

**JORGE DEL CASTILLO GÁLVEZ**  
Presidente del Consejo de Ministros

**ISMAEL BENAVIDES FERREYROS**  
Ministro de Agricultura

**JUAN VALDIVIA ROMERO**  
Ministro de Energía y Minas

**JOSÉ ANTONIO GARCÍA BELAÜNDE**  
Ministro de Relaciones Exteriores

**HERNÁN GARRIDO-LECCA M.**  
Ministro de Salud

200099-1

## PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS

### Establecen Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos

DECRETO SUPREMO  
N° 037-2008-PCM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, referido al rol del Estado en materia ambiental, dispone que éste, a través de sus entidades y órganos correspondientes diseñe y aplique, entre otras, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

Que, el numeral 33.1) del Artículo 33° de la Ley N° 28611 establece que la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, el numeral 33.4) del Artículo 33° de la Ley N° 28611 dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de acuerdo a lo dispuesto por el Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2006-EM, se ha

procedido a elaborar en el sector correspondiente, la propuesta de Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes Líquidos de las Actividades del Subsector Hidrocarburos, bajo la coordinación del Consejo Nacional del Ambiente - CONAM;

Que, de acuerdo a la propuesta en mención, los operadores de las actividades del Subsector Hidrocarburos están obligados a ejecutar de manera permanente Planes de Manejo Ambiental y, en consecuencia, a realizar las acciones necesarias para prevenir o revertir en forma progresiva, según sea el caso, la generación y el impacto negativo de las actividades del mencionado Subsector, a través de la implementación de prácticas de prevención de la contaminación y procesos con tecnologías limpias, prácticas de re-uso, reciclaje, tratamiento y disposición final; asimismo, están obligados a adoptar las medidas destinadas a la conservación de los recursos naturales y de los ecosistemas, en concordancia con lo establecido por la Ley General del Ambiente;

Que, los impactos ambientales del Subsector Hidrocarburos están asociados con las descargas de efluentes industriales al cuerpo receptor, por lo que los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental son mecanismos de gestión ambiental que permiten la convivencia entre diferentes actividades productivas, la salud humana y a su vez aseguran la calidad del cuerpo receptor;

Que mediante Decreto de Consejo Directivo N° 029-2006-CONAM/CD, se aprobó el Cronograma de Priorizaciones para la aprobación de ECA y LMP en el cual se establecen compromisos para el Sector Energía del Ministerio de Energía y Minas, en lo referente a los LMP de efluentes de las actividades de hidrocarburos;

Que, el numeral 77.1) del Artículo 77° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, establece, respecto a la promoción de la Producción Limpia que las autoridades nacionales, sectoriales, regionales y locales promueven, a través de acciones normativas, de fomento de incentivos tributarios, difusión, asesoría y capacitación, la producción limpia en el desarrollo de los proyectos de inversión y las actividades empresariales en general, entendiéndose que la producción limpia constituye la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada para los procesos, productos y servicios, con el objetivo de incrementar la eficiencia, manejar racionalmente los recursos y reducir los riesgos sobre la población humana y el ambiente, para lograr el desarrollo sostenible;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611 -Ley General del Ambiente-, la Ley N° 28817 -Ley que establece plazos para la elaboración y aprobación de estándares de calidad ambiental y de límites máximos permisibles de contaminación ambiental- y Decreto Supremo N° 015-2006-EM - que aprueba el Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos-;

En uso de las facultades conferidas por el Artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

#### Artículo 1°.- Límites Máximos Permisibles (LMP) de Efluentes Líquidos para las Actividades del Subsector Hidrocarburos:

Apruébese y adóptese como Límites Máximos Permisibles (LMP) de Efluentes Líquidos para las Actividades del Subsector Hidrocarburos, los valores que a continuación se detallan:

Tabla N° 01

Parámetro Regulado	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	20
Cloruro	500 (a ríos, lagos y embalses) 2000 (estuarios)
Cromo Hexavalente	0,1
Cromo Total	0,5
Mercurio	0,02
Cadmio	0,1

Parámetro Regulado	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)
Arsénico	0,2
Fenoles para efluentes de refineries FCC	0,5
Sulfuros para efluentes de refineries FCC	1,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250
Cloro residual	0,2
Nitrógeno amoniacal	40
Coliformes totales (NMP/100 mL)	< 1000
Coliformes Fecales NMP/100 mL)	< 400
Fósforo	2,0
Bario	5,0
pH	6,0 - 9,0
Aceites y grasas	20
Plomo	0,1
Incremento de Temperatura *	<3°C

\*. Es el incremento respecto a la temperatura ambiental del cuerpo receptor medida a 100 m de diámetro del punto de vertido.

#### Artículo 2°.- Obligatoriedad de cumplimiento los Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes Líquidos de las Actividades del Subsector Hidrocarburos

Los Límites Máximos Permisibles establecidos en el artículo precedente, son de cumplimiento obligatorio para las actividades nuevas y para aquellas ampliaciones, según lo dispone el Decreto Supremo N° 015-2006-EM, a partir del día siguiente de la publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Los Límites Máximo Permisibles (LMP) son exigibles a las actividades en curso al finalizar los dieciocho (18) meses de la publicación de la presente norma, a fin de facilitar la adecuación teniendo en consideración el Principio de Gradualidad establecido en la Ley General del Ambiente.

#### Artículo 3°.- Términos y Definiciones:

En la aplicación de la presente norma se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

- **Cuerpo Receptor:** Cualquier corriente natural o cuerpo de agua, receptor de efluentes líquidos, que proviene de las actividades de hidrocarburos.

- **Concentración en Cualquier Momento:** Concentración obtenida al efectuar una medición puntual en el punto de salida del efluente en cualquier momento.

- **Efluente de las actividades de Hidrocarburos:** Flujos o descargas a cuerpos receptores (ambiente) que provienen de las actividades de hidrocarburos (explotación, exploración, transporte, refinación, procesamiento, almacenamiento, comercialización).

- **Límite Máximo Permisible. (LMP):** Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión que, al ser excedida, causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente.

- **Parámetro Regulado:** Aquel parámetro que se encuentra definido en el presente Decreto Supremo.

- **Punto de Control:** Ubicación definida en los estudios ambientales aprobados por la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos, establecida para la medición de los efluentes.

#### Artículo 4°.- De la prohibición de dilución o mezcla de Efluentes

Para el cumplimiento de los LMP de efluentes a los que hacen referencia los artículos anteriores, no está permitida la dilución del efluente antes de sus descargas.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos de diferente naturaleza, a menos que las características particulares del proceso de tratamiento final propuesto cumpla con los LMP y así lo exija, lo cual debe estar aprobado por la Dirección General de Asuntos

Ambientales Energéticos (DGAAE) del Ministerio de Energía y Minas.

#### Artículo 5°.- De la Fiscalización

La fiscalización del cumplimiento de lo dispuesto en el presente Decreto Supremo será realizada por el OSINERGMIN, de acuerdo a las facultades que le confiere la Ley.

#### Artículo 6°.- De los Puntos de Control o Estaciones.

Los titulares de actividades de hidrocarburos podrán eliminar o cambiar la ubicación de uno o más puntos de control vigente previa aprobación por la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Ministerio de Energía y Minas, según los requisitos establecidos para tal fin.

#### Artículo 7°.- Resultados de Monitoreo.

Los titulares de las actividades de hidrocarburos presentarán a la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Ministerio de Energía y Minas, con copia al OSINERGMIN, los resultados de los monitoreos de efluentes y de la calidad del agua. La frecuencia de reporte de los monitoreos ambientales será de acuerdo a lo indicado por el artículo 59° del D.S. N° 015-2006-EM.

#### Artículo 8°.- Obligaciones de los Titulares respecto a los Registros de Monitoreo.

Los titulares de actividades de hidrocarburos llevarán un registro de los resultados del monitoreo de efluentes. Dicho registro será presentado al supervisor ambiental de OSINERGMIN y/o a la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE) del Ministerio de Energía y Minas cuando lo requieran.

#### Artículo 9°.- De las Sanciones

El administrado será pasible de sanción en caso de incumplimiento de lo establecido en el presente reglamento, de acuerdo a lo establecido en el Tipificación de Infracciones y Escala de Multas y Sanciones del OSINERGMIN.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS, DEROGATORIAS Y FINALES

**Primera.-** El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos (DGAAE), en un plazo no mayor de ocho (8) meses de publicada la presente norma, actualizará el protocolo de Monitoreo de Efluentes para el Subsector Hidrocarburos. En tanto, se utilizará el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua vigente y aprobado por el sector.

**Segunda.-** En un plazo de ciento ochenta días (180), contados desde la vigencia de la presente norma, el CONAM, por Resolución de su Titular, establecerá los criterios para determinar las zonas ambientalmente frágiles en las cuales no se permitirá la descarga de efluentes de las actividades de hidrocarburos. Dichos criterios serán establecidos en base a la opinión previa de las autoridades sectoriales correspondientes.

**Tercera.-** Déjese sin efecto la Resolución Directoral N° 030-96-EM/DGAA, que aprobó los Límites Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos producto de las actividades de explotación y comercialización de hidrocarburos líquidos y sus derivados, y toda otra disposición que se oponga a la presente norma.

**Cuarta.-** El presente Decreto Supremo entrará en vigencia a partir del día siguiente a su publicación.

**Quinta.-** El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros y el Ministro de Energía y Minas.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los trece días del mes de mayo del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JORGE DEL CASTILLO GÁLVEZ  
Presidente del Consejo de Ministros

JUAN VALDIVIA ROMERO  
Ministro de Energía y Minas

200099-2

## **REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO**

### **DECRETO SUPREMO N° 009-2005-TR**

#### **EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA**

#### **CONSIDERANDO:**

Que, el artículo 7 de la Constitución Política reconoce el derecho a la salud de toda persona en cualquier ámbito, incluido el laboral;

Que, la seguridad y salud en el trabajo es una condición básica para la protección social y el desarrollo de las relaciones de trabajo decentes;

Que, el Decreto Legislativo N° 910, Ley General de Inspección del Trabajo y Defensa del Trabajador, en su séptima disposición complementaria, establece la creación de una comisión que se encargue de elaborar un proyecto de reglamento en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo;

Que, la Ley N° 28385, que modifica la Ley N° 27711, Ley del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, establece que es competente para definir, concertar, coordinar, dirigir, supervisar y evaluar la política de higiene y seguridad ocupacional, y establecer las normas de prevención y protección contra riesgos ocupacionales que aseguren la salud integral de los trabajadores, en aras del mejoramiento de las condiciones y el medio ambiente de trabajo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 007-2001-TR se constituyó una Comisión Multisectorial conformada por el Ministerio de Trabajo y Promoción Social o su representante, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Energía y Minas, el Ministerio de Pesquería, el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, el Ministerio de Agricultura, el Seguro Social de Salud - ESSALUD, dos representantes de los trabajadores, y dos representantes de los empleadores, encargada de elaborar un proyecto de reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo;

Que, el proyecto elaborado por la referida comisión fue objeto de prepublicación en el Diario Oficial El Peruano el 21 de julio de 2005, a fin de contar con la participación de la ciudadanía, habiéndose recibido aportes, que han sido analizados y valorados por la Autoridad de Trabajo;

De conformidad con lo regulado en el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, en el artículo 3 del Decreto Legislativo N° 560, Ley del Poder Ejecutivo, Ley N° 28385 y en la Ley N° 27711, Ley del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo;

#### **SE DECRETA:**

**Artículo 1.-** Apruébese el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo que consta de un (1) Título Preliminar, seis (6) títulos, Disposiciones Complementarias y Transitorias, un (1) Glosario y cinco (5) anexos.

**Artículo 2.-** El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Trabajo y Promoción del Empleo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintiocho días del mes de septiembre del año dos mil cinco.

**ALEJANDRO TOLEDO**  
Presidente Constitucional de la República

**JUAN SHEPUT MOORE**  
Ministro de Trabajo y Promoción del Empleo



**Artículo 60.-** El empleador practicará exámenes médicos antes, durante y al término de la relación laboral a los adolescentes trabajadores.

**Artículo 61.-** El empleador en cuyas instalaciones sus trabajadores desarrollen actividades conjuntamente con trabajadores de contratistas, subcontratistas, empresas especiales de servicios y cooperativas de trabajadores; o quien asuma el contrato principal de la misma, es quien garantiza:

- a) La coordinación eficaz y eficiente de la gestión en prevención de riesgos laborales.
- b) La seguridad y salud de los trabajadores.
- c) La verificación de la contratación de los seguros de acuerdo a la normatividad vigente, efectuada por cada empleador durante la ejecución del trabajo, sin perjuicio de la responsabilidad de cada uno por la seguridad y salud de sus propios trabajadores.

Asimismo, el empleador vigilará el cumplimiento de la normatividad legal vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo por parte de sus contratistas, subcontratistas, empresas especiales de servicios o cooperativas de trabajadores que desarrollen obras o servicios en el centro de trabajo o con ocasión del trabajo correspondiente del principal.

**Artículo 62.-** Las empresas que diseñen, fabriquen, importen, suministren o cedan máquinas, equipos, sustancias, productos o útiles de trabajo, dispondrán lo necesario para que:

- a) Las máquinas, equipos, sustancias, productos o útiles de trabajo no constituyan una fuente de peligro ni pongan en riesgo la seguridad o salud de los trabajadores.
- b) Se proporcione información y capacitación sobre la instalación, adecuada utilización y mantenimiento preventivo de las maquinarias y equipos.
- c) Se proporcione información y capacitación para el uso apropiado de los materiales peligrosos a fin de prevenir los peligros inherentes a los mismos y monitorear los riesgos.
- d) Las instrucciones, manuales, avisos de peligro u otras medidas de precaución colocadas en los equipos y maquinarias, así como cualquier otra información vinculada a sus productos, estén o sean traducidos al idioma castellano y estén redactados en un lenguaje sencillo y preciso con la finalidad que permitan reducir los riesgos laborales; y,
- e) Las informaciones relativas a las máquinas, equipos, productos, sustancias o útiles de trabajo sean facilitadas a los trabajadores en términos que resulten comprensibles para los mismos.

## CAPÍTULO II

### DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES

**Artículo 63.-** Los trabajadores serán consultados, antes que se ejecuten cambios en las operaciones, procesos y en la organización del trabajo, que puedan tener repercusiones en la seguridad y salud de los trabajadores y las trabajadoras. A falta de acuerdo entre las partes decidirá el empleador.

**Artículo 64.-** Todo trabajador tiene derecho a comunicarse libremente con los inspectores del trabajo.

**Artículo 65.-** Los trabajadores, sus representantes y/o miembros de los comités o comisiones de seguridad y salud ocupacional, están protegidos contra cualquier acto de hostilidad y otras medidas coercitivas por parte del empleador que se originen como consecuencia del cumplimiento de sus funciones en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo.

**Artículo 66.-** Los trabajadores o sus representantes tienen derecho a revisar los programas de capacitación y entrenamiento, y formular recomendaciones al empleador con el fin de mejorar la efectividad de los mismos.

**Artículo 67.-** Los representantes de los trabajadores en Seguridad y Salud en el Trabajo tienen derecho a participar en la identificación de los peligros y en la evaluación de los riesgos en el trabajo, solicitar al empleador los resultados de las evaluaciones, sugerir las medidas de control y hacer seguimiento de las mismas. En caso de no tener respuesta satisfactoria podrán recurrir a la Autoridad Competente.

**Artículo 68.-** Los trabajadores tienen derecho a ser informados:

a. A título grupal, de las razones para los exámenes de salud ocupacional e investigaciones en relación con los riesgos para la seguridad y salud en los puestos de trabajo.

b. A título personal, sobre los resultados de los informes médicos previos a la asignación de un puesto de trabajo y los relativos a la evaluación de su salud. Los resultados de los exámenes médicos al ser confidenciales, no son pasibles de uso para ejercer discriminación alguna contra los trabajadores en ninguna circunstancia o momento.

**Artículo 69.-** Los trabajadores tienen derecho a ser transferidos en caso de accidente de trabajo o enfermedad ocupacional a otro puesto que implique menos riesgo para su seguridad y salud, siempre y cuando éste exista, debiendo ser capacitados para ello.

**Artículo 70.-** Los trabajadores, cual fuere su modalidad de contratación, que mantengan vínculo laboral con el empleador o con contratistas, subcontratistas, empresas especiales de servicios o cooperativas de trabajadores que hayan celebrado contrato con el empleador antes señalado, tienen derecho a través de sus empleadores respectivos al mismo nivel de protección en materia de seguridad y salud en el trabajo.

**Artículo 71.-** Los trabajadores o sus representantes tienen derecho a examinar los factores que afecten a su seguridad y salud y proponer medidas en estas materias.

**Artículo 72.-** En materia de prevención de riesgos laborales, los trabajadores tienen las siguientes obligaciones:

a) Cumplir con las normas, reglamentos e instrucciones de los programas de seguridad y salud en el trabajo que se apliquen en el lugar de trabajo y con las instrucciones que les impartan sus superiores jerárquicos directos.

b) Usar adecuadamente los instrumentos y materiales de trabajo, así como los equipos de protección personal y colectiva.

c) No operar o manipular equipos, maquinarias, herramientas u otros elementos para los cuales no hayan sido autorizados y, en caso de ser necesario, capacitados.

d) Cooperar y participar en el proceso de investigación de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales cuando la autoridad competente lo requiera o cuando a su parecer los datos que conocen ayuden al esclarecimiento de las causas que los originaron.

e) Velar por el cuidado integral de su salud física y mental, así como por el de los demás trabajadores que dependan de ellos durante el desarrollo de sus labores.

f) Someterse a los exámenes médicos a que estén obligados por norma expresa así como a los procesos de rehabilitación integral.

g) Participar en los organismos paritarios, en los programas de capacitación y otras actividades destinadas a prevenir los riesgos laborales que organice su empleador o la Autoridad Competente.

h) Comunicar al empleador todo evento o situación que ponga o pueda poner en riesgo su seguridad y salud y/o las instalaciones físicas; debiendo adoptar inmediatamente, de ser posible, las medidas correctivas del caso.

i) Reportar a los representantes o delegados de seguridad, de forma inmediata, la ocurrencia de cualquier incidente o accidente de trabajo.

j) Concurrencia obligatoria a la capacitación y entrenamiento sobre Seguridad y Salud en el Trabajo.

## **TÍTULO V**

### **INFORMACIÓN DE ACCIDENTES DE TRABAJO Y ENFERMEDADES OCUPACIONALES**

#### **CAPÍTULO I**

##### **POLÍTICAS EN EL PLANO NACIONAL**

**Artículo 73.-** El Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo será el encargado de formular, aplicar y examinar periódicamente la información en materia de:

a) Registro, notificación e investigación de los accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales en coordinación con el Ministerio de Salud.

b) Registro, notificación e investigación de los incidentes peligrosos.

c) Recopilación, análisis y publicación de estadísticas sobre accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales e incidentes peligrosos.

**Artículo 74.-** La Información de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Ocupacionales e incidentes peligrosos permitirá:

a) Prevenir los accidentes y los daños a la salud originados por el desarrollo de la actividad laboral o con ocasión de la misma.

b) Reforzar las distintas actividades nacionales de recolección de datos e integrarlas dentro de un sistema coherente y fidedigno en materia de accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales e incidentes peligrosos.

c) Establecer los principios generales y procedimientos uniformes para el registro y la notificación de accidentes de trabajo, las enfermedades ocupacionales, e incidentes peligrosos en todas las ramas de la actividad económica.

d) Facilitar la preparación de estadísticas anuales en materia de accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales e incidentes peligrosos.

e) Facilitar análisis comparativos para fines preventivos promocionales.

#### **CAPÍTULO II**

##### **POLÍTICAS EN EL PLANO DE LAS EMPRESAS Y CENTROS MÉDICOS ASISTENCIALES**

**Artículo 75.-** Los empleadores de todos los sectores de la actividad económica están obligados a notificar al Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo todos los accidentes de trabajo mortales, dentro de las 24 horas de ocurrido el hecho, utilizando el Formulario N° 01 indicado en el Anexo 01 del presente Reglamento.

**Artículo 76.-** Los Empleadores están obligados a comunicar los demás accidentes de trabajo al Centro Médico Asistencial donde el trabajador accidentado es atendido. Asimismo, el Centro Médico Asistencial público, privado, militar, policial o de seguridad social donde el trabajador

**SE RESUELVE:**

Artículo 1º.- Dar por concluida la designación del médico cirujano Guido Ubaldo ALBAN ZAPATA, en el cargo de Subdirector General, Nivel F-4, del Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas, así como el encargo de funciones de Director General del referido Instituto Nacional, dándosele las gracias por los servicios prestados.

Artículo 2º.- Designar en el Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas a los médicos cirujanos que se indican:

NOMBRES Y APELLIDOS	CARGO	NIVEL
Luis PORTILLA SOTO	Director General	F-5
Manuel Anastasio ALVARADO ROSALES	Subdirector General	F-4

Regístrese, comuníquese y publíquese.

**CARLOS VALLEJOS SOLOGUREN**  
Ministro de Salud

65509-1

**TRABAJO Y PROMOCION  
DEL EMPLEO**

**Aprueban Reglamento de Constitución y Funcionamiento del Comité y Designación de Funciones del Supervisor de Seguridad y Salud en el Trabajo y otros documentos conexos**

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL  
Nº 148-2007-TR**

Lima, 25 de mayo de 2007

VISTO: Oficio Nº 299-2007-MTPE/2 de fecha 11 de abril de 2007, del Despacho Viceministerial de Trabajo del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo; y,

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante Decreto Supremo Nº 009-2005-TR, se aprobó el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, el cual tiene como objetivo promover una cultura de prevención de riesgos laborales en el país, contando con la participación de los trabajadores, empleadores y del Estado, quienes a través del diálogo social velarán por la promoción, difusión y cumplimiento de la normatividad sobre la materia.

Que, a través del Decreto Supremo Nº 007-2007-TR, se modificaron e incorporaron algunos artículos al Decreto Supremo Nº 009-2005-TR, Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, entre los cuales se introdujo la Novena Disposición Complementaria y Transitoria, la cual dispone que el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo podrá dictar normas complementarias a través de Resoluciones Ministeriales;

Que, la Ley Nº 28385, que modifica la Ley Nº 27711, Ley del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, establece que es competencia del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, el definir, concertar, coordinar, dirigir, supervisar y evaluar la política de higiene y seguridad ocupacional; y establecer las normas de prevención y protección contra riesgos ocupacionales que aseguren la salud integral de los trabajadores, en aras del mejoramiento de las condiciones y el medio ambiente de trabajo;

Que, en atención a los considerandos precedentes, resulta de prioridad para este Ministerio aprobar los instrumentos normativos necesarios que contribuyan a garantizar las condiciones básicas de seguridad y salud

en el trabajo para la protección social y el desarrollo de trabajo decente;

Que, según lo dispuesto en el Decreto Supremo Nº 009-2005-TR, Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, las empresas con 25 o más trabajadores deben constituir un Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo; mientras que las empresas con menos de 25 trabajadores deben capacitar y nombrar, entre sus trabajadores de las áreas productivas, cuando menos un Supervisor de Seguridad y Salud en el Trabajo; por lo que, corresponderá a este sector la emisión de una norma que regule el funcionamiento del comité y designación y funciones del supervisor de seguridad y salud en el trabajo en todos los sectores económicos, en los que se comprende a todos los empleadores y los trabajadores bajo el régimen laboral de la actividad privada;

Que, a efectos de lograr una adecuada implementación de las reglas sobre seguridad y salud en el trabajo contenidas en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo podrá emitir documentos complementarios que sirvan de modelos o guías a todos los sectores económicos a los que se aplique el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo;

Con la conformidad del Viceministro de Trabajo y la visación del Director General de la Oficina de Asesoría Jurídica; y,

De conformidad con lo establecido en el artículo 37º del Decreto Legislativo Nº 650, Ley del Poder Ejecutivo; el artículo 8º de la Ley Nº 27711, Ley del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo; y el literal d) del artículo 12º del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo aprobado por Resolución Ministerial Nº 173-2002-TR, y sus modificatorias;

**SE RESUELVE:**

Artículo 1º.- Aprobar el Reglamento de Constitución y Funcionamiento del Comité y Designación y Funciones del Supervisor de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Artículo 2º.- Aprobar los siguientes documentos:

- Modelo de Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Guía Básica sobre Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Guía Técnica de Registros.

Estos documentos se publican en la página Web del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo: [www.mintra.gob.pe](http://www.mintra.gob.pe)

Artículo 3º.- El Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, a través de la Dirección Nacional de Inspección del Trabajo, vela por el cumplimiento de lo dispuesto en los documentos aprobados, en el ámbito de su competencia, adoptando las acciones correspondientes, de acuerdo al caso.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

**SUSANA ISABEL PINILLA CISNEROS**  
Ministra de Trabajo y Promoción del Empleo

65508-1

**Aprueban Directiva que regula el procedimiento para consolidar la información de los contratos individuales de trabajo registrados ante las Direcciones Regionales de Trabajo y Promoción del Empleo a nivel nacional para el Registro de Deudores Alimentarios Morosos**

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL  
Nº 150-2007-TR**

Lima, 25 de mayo de 2007

# REGLAMENTO DE CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL COMITÉ Y DESIGNACIÓN Y FUNCIONES DEL SUPERVISOR DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

## TITULO I DISPOSICIONES GENERALES

**Artículo 1º.-** Para los fines de la presente Resolución se entiende por:

- a) **Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo:** El Decreto Supremo N° 009-2005-TR, Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, modificado por el Decreto Supremo N° 007-2007-TR.
- b) **Comité:** Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- c) **Supervisor:** Supervisor de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- d) **Autoridad competente:** El Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo a través de la Dirección Nacional de Inspección del Trabajo.
- e) **Empresa:** Toda empresa o entidad cuyos trabajadores se rigen por las normas laborales aplicables al sector privado.

**Artículo 2º.-** El presente Reglamento regula la constitución y el funcionamiento del Comité, así como la designación y funciones del Supervisor en todas las empresas cuyos trabajadores se encuentren sujetos al régimen laboral de la actividad privada.

**Artículo 3º.-** Las empresas que se rigen por normas sectoriales en las cuales está regulado el funcionamiento del Comité y del Supervisor, no se sujetan a las disposiciones del presente Reglamento, salvo de manera supletoria, en lo que les pudiera ser aplicables.

Sin embargo, dicha regulación sectorial debe respetar lo establecido en los artículos 18º, 19º, 20º, 21º, 22º, 23º del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

## TITULO II DEL COMITÉ O SUPERVISOR

### CAPÍTULO I NORMAS GENERALES

**Artículo 4º.-** Toda empresa que cuente con veinticinco (25) o más trabajadores debe constituir obligatoriamente un Comité, en cumplimiento del Artículo 18º del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

**Artículo 5º.-** Toda empresa que tenga menos de veinticinco (25) trabajadores, debe designar obligatoriamente a un Supervisor, en cumplimiento del Artículo 19º del



Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, quien tiene las mismas obligaciones y responsabilidades del Comité referido en el artículo precedente.

**Artículo 6°.-** El Comité tiene por objetivo promover la salud y seguridad en el trabajo, asesorar y vigilar el cumplimiento de lo dispuesto por el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo y la normativa nacional, favoreciendo el bienestar laboral y apoyando el desarrollo de la empresa.

**Artículo 7°.-** El Comité o Supervisor desarrollará el objeto para el cual fue constituido, no estando facultado a realizar actividades distintas a las señaladas.

## **CAPÍTULO II ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN**

**Artículo 8°.-** El Comité debe estar conformado por igual número de representantes de la parte empleadora y de la parte trabajadora.

**Artículo 9°.-** El número total de personas que componen el Comité puede variar de 4 a 12 miembros.

**Artículo 10°.-** Cuando la empresa cuente con varios centros de trabajo, cada uno de estos centros puede contar con un Supervisor o Sub-Comité, de acuerdo al número de trabajadores que laboren en cada uno de ellos. De optar por ello, la empresa debe conformar el Comité con la participación de representantes de cada uno de los Sub-Comités o Supervisores de sus diversos centros de trabajo.

**Artículo 11°.-** La composición del Comité es de carácter paritario entre representantes de la empresa y el personal operativo de la misma.

**Artículo 12°.-** El Comité coordina y apoya las actividades de los otros Sub-Comités respectivamente.

**Artículo 13°.-** El Comité realiza sus actividades en estrecha relación con la unidad orgánica o funcional de Prevención de Riesgos Laborales de la empresa, cuando ésta exista.

**Artículo 14°.-** El personal que conforme el Comité o el Supervisor debe portar una tarjeta de Identificación o distintivo especial, que acredite su condición de tal, la cual es suministrada por el empleador.

## **CAPÍTULO III CONSTITUCIÓN DEL COMITÉ O DESIGNACIÓN DEL SUPERVISOR**

**Artículo 15°.-** Para ser integrante del Comité se requiere:

- a) Ser trabajador a tiempo completo de la empresa.
- b) Tener 18 años de edad como mínimo.



- c) De preferencia, tener capacitación en temas de seguridad y salud en el trabajo o laborar en puesto que permita tener conocimiento o información sobre riesgos laborales.

**Artículo 16°.-** Para ser Supervisor en las empresas comprendidas en el Artículo 2° del presente Reglamento se requiere:

- a) Ser trabajador a tiempo completo de la empresa.
- b) Tener 18 años de edad como mínimo.
- c) Ser profesional, trabajador de mando medio o trabajador calificado y de preferencia que tenga capacitación en temas de seguridad y salud en el trabajo o labore en un puesto que permita tener conocimiento o información sobre riesgos laborales.

**Artículo 17°.-** El empleador designa sus representantes titulares y suplentes ante el Comité entre quienes desempeñen cargos de responsabilidad ejecutiva o administrativa dentro de la estructura de la empresa.

**Artículo 18°.-** Los trabajadores eligen sus representantes, titulares y suplentes, ante el Comité según el número que le corresponda, y que representen a diferentes Secciones de la empresa. Dicha elección se efectúa entre todos los trabajadores mediante votación secreta y directa.

**Artículo 19°.-** El empleador designa al Supervisor en las empresas referidas en el Artículo 5° de este Reglamento.

**Artículo 20°.-** La convocatoria a la instalación del Comité corresponde al empleador. Dicho acto se lleva a cabo en el local de la empresa, levantándose el Acta respectiva.

**Artículo 21°.-** El acto de constitución e instalación, así como toda reunión, acuerdo o evento del Comité debe ser asentado en un Libro de Actas de 100 hojas como mínimo, exclusivamente destinado para estos fines. Dicho Libro de Actas puede estar constituido por hojas sueltas debidamente foliadas, fechadas y suscritas por los representantes.

**Artículo 22°.-** El Supervisor debe llevar un Libro tipo Actas -Cuaderno de Notas-, donde anota los acuerdos tomados con la Gerencia y el cumplimiento de los mismos dentro del plazo previsto.

**Artículo 23°.-** Como resultado de la constitución e instalación del Comité se levanta el Acta respectiva de la misma, la que debe contener:

- a) Nombre de la empresa.
- b) Nombres y cargos de los miembros titulares del Comité.
- c) Nombres y cargos de los miembros suplentes.
- d) Lugar, fecha y hora de la instalación.
- e) Otros de importancia.



**Artículo 24°.-** El Acta de constitución e instalación se asienta a partir de la segunda página del Libro de Actas a que se refiere el Artículo 21° del presente Reglamento.

## **CAPÍTULO IV FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES**

**Artículo 25°.-** El Comité o Supervisor debe elaborar y presentar los reportes de los accidentes de trabajo, así como los informes de investigación de cada accidente ocurrido y las medidas correctivas adoptadas a la Dirección de la empresa.

**Artículo 26°.-** El Comité o Supervisor colabora con los Inspectores del Trabajo de la Autoridad Competente o fiscalizadores autorizados cuando efectúen inspecciones a la empresa.

**Artículo 27°.-** El Comité tiene carácter promotor, consultivo y de control en las actividades orientadas a la prevención de riesgos y protección de la salud de los trabajadores.

**Artículo 28°.-** El Comité o Supervisor propicia la participación activa de los trabajadores y la formación de estos, con miras a lograr una cultura preventiva de Seguridad y Salud en el Trabajo, y promueve la resolución de los problemas de seguridad y salud generados en el trabajo.

La ejecución de los acuerdos del Comité es responsabilidad de la empresa y está a cargo de la unidad orgánica o funcional de seguridad y salud en el trabajo y de aquellas otras unidades relacionadas, según estime la empresa.

**Artículo 29°.-** El Comité o Supervisor puede solicitar la asesoría de la autoridad competente en seguridad y salud en el trabajo para afrontar problemas relacionados con la prevención de riesgos en el trabajo en la empresa, de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

**Artículo 30°.-** El Comité o Supervisor tiene las siguientes responsabilidades:

- a) Asegurar que todos los trabajadores conozcan los Reglamentos Oficiales o Internos de Seguridad y Salud en el Trabajo de la empresa.
- b) Aprobar el Programa Anual de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- c) Vigilar el cumplimiento del Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo de la empresa.
- d) Investigar las causas de todos los incidentes, accidentes y de las enfermedades ocupacionales que ocurran en el centro de trabajo, emitiendo las recomendaciones respectivas para evitar la repetición de los mismos.
- e) Verificar el cumplimiento de la implementación de las recomendaciones, así como la eficacia de las mismas.
- f) Hacer visitas de inspección periódicas en las áreas administrativas, áreas operativas (de ser el caso), instalaciones, maquinaria y equipos en función de la Seguridad y Salud en el Trabajo.





- g) Hacer recomendaciones para el mejoramiento de las condiciones relacionadas con la Seguridad y Salud en el Trabajo y verificar que se lleven a efecto las medidas acordadas y evaluar su eficiencia.
- h) Promover la participación de todos los trabajadores en la prevención de los riesgos del trabajo, mediante la comunicación eficaz, la participación de los trabajadores en la solución de los problemas de seguridad, la inducción, la capacitación, el entrenamiento, concursos, simulacros, etc.
- i) Estudiar las estadísticas de los incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales ocurridos en la empresa cuyo registro y evaluación deben ser constantemente actualizados por la unidad orgánica de seguridad y salud en el trabajo de la empresa.
- j) Asegurar que todos los trabajadores reciban una adecuada formación sobre Seguridad y Salud en el Trabajo.
- k) Colaborar con los servicios médicos y de primeros auxilios.
- l) Llevar en el Libro de Actas el control del cumplimiento de los acuerdos y propuestas del Comité.
- m) Reunirse mensualmente en forma ordinaria para analizar y evaluar el avance de los objetivos establecidos en el programa anual, y en forma extraordinaria para analizar los accidentes graves o cuando las circunstancias lo exijan.
- n) Aprobar el Reglamento Interno de Seguridad y Salud de la empresa.
- o) Reportar a la Gerencia de la empresa respectiva, la siguiente información:
  1. Reporte de cada accidente mortal dentro de las veinticuatro (24) horas de ocurrido.
  2. Investigación de cada accidente mortal y medidas correctivas adoptadas dentro de los diez (10) días de ocurrido.
  3. Reportes trimestrales de estadísticas de accidentes.
  4. Actividades trimestrales del Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo.

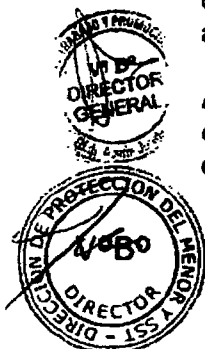
## CAPÍTULO V ESTATUTOS

**Artículo 31°.-** El Comité está conformado por:

- a) El Presidente, quien es elegido por el propio Comité entre los representantes de la Dirección de la empresa, y actúa de nexo entre el Comité y la Gerencia de la empresa.
- b) El Secretario, puede ser el encargado de la unidad orgánica o funcional de la seguridad y salud en el trabajo de la empresa, o ser uno de los miembros del Comité elegido por consenso.
- c) Los miembros, quienes son los demás integrantes del Comité designados de acuerdo a los Artículos 17° y 18° del presente Reglamento.

**Artículo 32°.-** El Presidente es el encargado de convocar, presidir y dirigir las reuniones del Comité y facilitar la aplicación y vigencia de los acuerdos de éste, canalizando el apoyo de la Dirección de la empresa.

**Artículo 33°.-** El Secretario está encargado de las labores administrativas en el Comité, como tener al día el Libro de Actas y distribuir las copias correspondientes. Cuando no se encuentre el Comité sesionando, es el nexo entre el Presidente de éste y los miembros.



**Artículo 34°.-** Los miembros, entre otras funciones señaladas en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, aportan iniciativas propias o del personal operativo de la empresa para ser tratadas en las reuniones y son los encargados de fomentar y hacer cumplir las disposiciones o acuerdos tomados por el Comité sobre Seguridad y Salud en el Trabajo en la empresa.

**Artículo 35°.-** Las personas que integran el Comité o el Supervisor pueden solicitar a la autoridad competente la información y asesoría técnica que crea necesaria para cumplir con sus fines.

**Artículo 36°.-** El Comité o el Supervisor cuenta con autoridad funcional para el ejercicio de sus labores con apoyo, en forma permanente, de la Dirección de la empresa.

**Artículo 37°.-** Los integrantes del Comité son renovados periódicamente de acuerdo a lo establecido por los Artículos 8° y 40° del presente Reglamento.

Para ser reelegido como miembro del Comité se debe dejar transcurrir al menos un periodo.

**Artículo 38°.-** El Supervisor puede ocupar el cargo en forma permanente.

**Artículo 39°.-** Los cargos asignados en el Comité y el de Supervisor son honoríficos y obligatorios.

**Artículo 40°.-** La duración del mandato del Comité es de un año como mínimo y de dos años como máximo.

**Artículo 41°.-** En las actividades del Comité o del Supervisor debe haber continuidad.

**Artículo 42°.-** El cargo de miembro del Comité o de Supervisor queda vacante por alguna de las siguientes causales:

- a) En caso de muerte.
- b) En caso de renuncia como trabajador de la empresa.
- c) En caso de renuncia como integrante del Comité, debidamente justificada.
- d) Inasistencia injustificada a tres sesiones consecutivas del Comité o a cuatro alternadas, en el lapso de su vigencia.
- e) Por cualquier otra causa que extinga el vínculo laboral.

**Artículo 43°.-** Los cargos que pudieran quedar vacantes en el Comité, deben ser cubiertos de inmediato por el suplente o los suplentes que hubieren, hasta que se complete el período.

El cargo de Supervisor que quedara vacante es cubierto de inmediato por designación de la Dirección de la empresa.



**Artículo 44°.-** En las empresas donde no exista una unidad orgánica o funcional de seguridad y salud en el trabajo y se labore bajo el sistema de turnos, el Comité puede nominar a un trabajador, de cada uno de los otros turnos, para que actúe como Supervisor del turno, sin ser necesariamente integrante del Comité.

**Artículo 45°.-** Cuando la magnitud de la empresa lo justifique, el Comité puede crear Comisiones Técnicas para el desarrollo de tareas específicas como investigación de accidentes de trabajo, diseño del programa de capacitación, elaboración de procedimientos, registros de sustancias peligrosas, orden y limpieza; entre otros.

**Artículo 46°.-** El Comité o Supervisor debe recibir capacitación básica en seguridad y salud en el trabajo a cargo del empleador.

**Artículo 47°.-** El Comité o Supervisor puede recurrir, en calidad de consejeros, a profesionales con competencias técnicas en seguridad y salud en el trabajo.

**Artículo 48°.-** Las reuniones del Comité se pueden realizar dentro o fuera de las horas de trabajo, según acuerdo de los miembros del Comité.

**Artículo 49°.-** El lugar de reuniones estará ubicado en el establecimiento de la empresa y debe reunir las condiciones adecuadas.

**Artículo 50°.-** El Comité se reúne en forma ordinaria una (1) vez por mes, en día previamente fijado.

**Artículo 51°.-** En forma extraordinaria, el Comité se reúne a convocatoria de su Presidente, a solicitud de dos o más de sus miembros, o en caso de ocurrir un accidente o enfermedad grave.

**Artículo 52°.-** Para que el Comité pueda sesionar es requisito mínimo la asistencia de la mitad más uno de sus integrantes.

**Artículo 53°.-** Cuando a la fecha de sesión del Comité, no asista el mínimo requerido establecido en el artículo precedente, dentro de los ocho (8) días subsiguientes se cita a nueva reunión. Ésta se lleva a cabo con el número de asistencia que hubiere, levantándose en cada caso el Acta respectiva.

**Artículo 54°.-** Las sesiones se llevan a cabo bajo agenda previamente elaborada.

**Artículo 55°.-** Las reuniones versarán sobre temas de seguridad y salud en el trabajo y no de otros asuntos.

**Artículo 56°.-** El Comité procura que los acuerdos sean adoptados por consenso y no por el sistema de votación. En el caso de no conseguirse consenso, se requiere mayoría simple.



En caso de empate el Presidente tiene el voto dirimente.

**Artículo 57°.-** Al término de cada sesión del Comité se levanta la respectiva Acta que será asentada en el correspondiente Libro de Actas. Una copia de la misma se entrega a cada uno de los integrantes del Comité y a la Gerencia de la empresa.

**Artículo 58°.-** El Supervisor lleva el Cuaderno de Notas –Libro tipo Actas-para las ocurrencias y sugerencias que se transmitan por escrito a la Gerencia de la empresa.

**Artículo 59°.-** Al final del periodo de cada Comité o del cargo de Supervisor se redacta un Informe Resumen de las labores realizadas, el que sirve de referencia a los miembros del nuevo Comité o Supervisor.

## **CAPÍTULO VI DISPOSICIONES FINALES, TRANSITORIAS Y DEROGATORIAS**

**PRIMERA.-** El Comité funciona bajo la supervisión de la Autoridad Competente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo, quien se encarga de velar por el cumplimiento del presente Reglamento.

**SEGUNDA.-** Las empresas Industriales y las que no cuentan con norma sectorial de seguridad y salud en el trabajo deberán adecuar el funcionamiento del Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo a las disposiciones de la presente norma, dentro del plazo a que hace referencia la Cuarta Disposición Complementaria y Transitoria del Decreto Supremo N° 007-2007-TR.

**TERCERA.-** Queda derogada la Resolución Directoral N° 1472-72-IC-DGI, Reglamento de los Comités de Seguridad e Higiene Industrial de Empresas Industriales.

