

**DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE GRASAS LUBRICANTES  
PARA LA EMPRESA LUBRIGRAS S.A**

**DIANA CAMILA BÁEZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

**DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE GRASAS LUBRICANTES  
PARA LA EMPRESA LUBRIGRAS S.A**

**DIANA CAMILA BÁEZ HERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de  
Ingeniero Químico**

**Director**

**Ing. LUIS MARIANO IDARRAGA**

**Tutor Lubrigras S.A**

**Ing. LAURA MARÍA MENDOZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2012**

*Dios, por ser mi Padre eterno, mi maestro, mi guía y mi escudo,*

*Por perfeccionar mi debilidad con su poder y su gracia*

*Por ser fiel a sus promesas y a su amor*

*Por acompañarme y fortalecerme en cada paso que doy.*

*A mi madre, mi inspiración, mi sustento, y mi apoyo*

*Porque mi vida no será suficiente para agradecerle su infinita entrega y bondad,*

*Todo lo que hago es, y siempre será para ella.*

*A mi padre, por ir siempre un paso delante de mí,*

*Por enseñarme el valor de lo que parece poco,*

*Por mostrarme la grandeza a través de sus ojos.*

*A mi hermana Dani, mi amiga, consejera y compañera de aventuras,*

*Mi motivación para ser grande.*

*A mis más grandes amigas, KatheJaimes y Pai Casanova*

*Por dejarme entrar en sus vidas y de esa forma cambiar la mía,*

*Por hacer de esta etapa, una experiencia extraordinaria e inolvidable.*

*A Carlos Hernández, por su incondicionalidad, confianza y apoyo,*

*Por su infinito cariño y su incuestionable amistad,*

*Por recorrer a mi lado este camino de principio a fin sin nunca dejar de*

*sorprenderme, porque mis triunfos, siempre serán los suyos.*

*A Pipe Bermúdez, mi mejor amigo,*

*Por los innumerables y hermosos momentos que hemos vivido juntos,*

*Por ser mi escape de la realidad, y mi mundo perfecto.*

## AGRADECIMIENTOS

El autor presenta sus más sinceros agradecimientos a:

La empresa *Lubrigras S.A*, por depositar su valiosa confianza en mis capacidades e ingenio. Por acogerme como parte de su familia durante el último año, y a su vez enriquecerme con valioso conocimiento y experiencia.

La *Universidad Industrial de Santander*, y en especial a la escuela de ingeniería química, por brindarme una formación integral a lo largo de mi carrera y por darme el honor de ser parte de una comunidad respetable, de excelentes estudiantes y profesionales.

La Ingeniera *Laura Mendoza* por ser mi tutora y guía durante este proceso, por enseñarme pacientemente y brindarme las herramientas para realizar un trabajo del gusto de la compañía.

El Ingeniero *Fernando Rueda Acevedo*, por abrirme las puertas de su laboratorio y transmitirme con su entusiasmo y gracia, parte de su conocimiento.

Al Ing. *Luis Mariano Idarraga* por su interés, disposición, apoyo y orientación. Por darle un enfoque diferente al proyecto basado en su experiencia, y finalmente por su calidez y respaldo durante todo el proceso.

Al profesor *Omar Gévez*, por inspirarme con su sabiduría y conocimiento. Un profesor al que manifiesto mi más profunda admiración y respeto, y a quien además le dedico este triunfo.

A Carlos Hernández, por ser parte de mi vida, por creer en mí y darme la fuerza para luchar por mis sueños cada mañana, por inspirarme y alegrar mi días.

De nuevo le doy gracias a *Dios*, por poner en mi camino este grupo de ilustradas y maravillosas personas con quienes siempre estaré profundamente agradecida.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
1.1. TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN .....	18
1.2. GRASAS LUBRICANTES .....	18
1.2.1. Proceso de producción de grasas lubricantes .....	19
1.2.2. Características de las Grasas Lubricantes.....	16
1.2.2.1. Consistencia .....	20
1.2.2.2. Extrema presión.....	20
1.2.2.3. Punto de Goteo .....	20
1.2.2.4. Resistencia anticorrosiva .....	20
1.2.2.5. Estabilidad Mecánica .....	20
1.2.2.6. Estabilidad Oxidativa.....	21
1.2.2.7. Fluidez .....	21
1.2.2.8. Resistencia al lavado por agua .....	21
1.2.2.9. Separación de Aceites .....	21
1.2.3. Proyecciones del mercado de Grasas .....	21
1.3. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN Y DESHIDRATACIÓN .....	22

1.3.1. Jabón de Litio.....	22
1.3.2. Jabón Complejo de Litio.....	22
1.4. REACTOR CONTACTOR.....	23
<b>2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA .....</b>	<b>24</b>
2.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	25
2.2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	25
2.3. DISEÑO DEL REACTOR-CONTACTOR. PARTE 1 .....	26
2.4. DISEÑO DEL REACTOR-CONTACTOR. PARTE 2 .....	30
2.5. ACOPLA DEL REACTOR Y EQUIPOS DE LA PLANTA .....	31
<b>3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
3.1.DISEÑO DEL REACTOR CONTACTOR .....	31
3.1.1. Etapa de calentamiento I .....	32
3.1.2. Etapa de calentamiento II .....	35
3.1.3. Etapa de calentamiento II I, IV y V .....	37
3.3. REESTRUCTURACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN .....	41
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>45</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Composición de las grasas lubricantes .....	19
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones del Reactor-Contactor VSJ 24-1840-510 .....	26
<b>Tabla 3.</b> Resumen de balances de energía propuestos para cada etapa de la formación del agente espesante.....	28
<b>Tabla 4.</b> Condiciones de trabajo del reactor contactor .....	33
<b>Tabla 5.</b> Tiempos y temperaturas finales del aceite térmico y del producto al variar los diámetros de las chaquetas de intercambio y su espesor durante la etapa I.....	33
<b>Tabla 6.</b> Tiempo consumido para llevar la mezcla reaccionante a 83°C variando la temperatura de apagado de la caldera .....	34
<b>Tabla 7.</b> Duración de las etapas de formación de 5800 Kg de agente espesante .....	38
<b>Tabla 8.</b> Paralelo de los tiempos de producción de jabón de Litio.....	40
<b>Tabla 9.</b> Tiempo de envasado máximo y mínimo de acuerdo a la presentación comercial del producto.....	42

## TABLA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama del proceso de producción de grasas lubricante .....	20
<b>Figura 2.</b> Diagrama esquemático de la metodología utilizada.....	24
<b>Figura 3.</b> Tendencia de la temperatura del fluido térmico y del producto durante las diferentes etapas de formación del agente espesante. ....	27
<b>Figura 4.</b> Vista superior del Reactor- Contactor y las chaquetas de intercambio de calor acopladas.....	32
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de la temperatura en el tiempo durante la etapa I .....	35
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de la temperatura de la mezcla reaccionante y el aceite térmico durante la etapa de producción de 5800 Kg agente espesante de Litio.....	39

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> Aditivos y Bases Lubricantes: Sus características y funciones.....	49
<b>ANEXO B.</b> Clasificación de las grasas lubricantes según la NLGI- Ensayo ASTM D-217 de Consistencia.....	50
<b>ANEXO C.</b> Pruebas de calidad para grasas lubricantes según la normatividad ASTM y DIN.....	51
<b>ANEXO D.</b> Modelos estándar del reactor contactor-Stratcolnc .....	52
<b>ANEXO E.</b> Diagrama de flujo del código en scilab usado para modelar la etapa de formación del agente espesante en el reactor-Contactor .....	53
<b>ANEXO F.</b> Dimensiones generales y especificaciones de la caldera de aceite térmico .....	60
<b>ANEXO G.</b> Estructura organizacional de la planta de Grasas- Chimita.....	61
<b>ANEXO H.</b> Zona de producción de la planta de grasas lubricantes de Lubrigras, Chimita.....	64

## GLOSARIO DE SÍMBOLOS

*Subíndice a = Referido al aceite térmico*

*Subíndice p = Referido a la mezcla contenida en el reactor*

*Subíndice  $\infty$  = Referido al ambiente*

*$M_x$  = Masa total de la sustancia x*

*$\dot{m}_x$  = Flujo másico de la sustancia x*

*$C_{p_x}$  = Capacidad calorífica de la sustancia x*

*$\mu_x$  = Viscosidad Dinámica de la sustancia x*

*$\nu_x$  = Viscosidad Cinemática de la sustancia x*

*$\alpha_x$  = Difusividad Térmica de la sustancia x*

*$\beta_x$  = Coeficiente de expansión térmica de la sustancia x*

*$k_x$  = Conductividad térmica de la sustancia o material x*

*$Re_D$  = Número de Reynolds modificado para flujo en tubos circulares*

*$Re_M$  = Número de Reynolds modificado para flujo en un tanque agitado*

*Pr = Número de Prandtl*

*Ra = Número de Rayleigh*

*$Nu_D$  = Número de Nusselt*

*f = Factor de fricción*

*N = Número de revoluciones por segundo del agitador*

*$D_p$  = Diametro de la paleta del agitador*

*$D_H$  = Diametro Hidráulico*

*g = Gravedad*

*L = Longitud del reactor*

*h = Coeficiente de transferencia de calor por convección*

*U = Coeficiente de transferencia de calor global*

*A = Área*

*$Q_{caldera}$  = Calor generado por la caldera*

$T_x^i =$  Temperatura de la sustancia  $x$  en el tiempo  $i$  (inicial)

$T_x^{i+1} =$  Temperatura de la sustancia  $x$  en el tiempo  $i + 1$

$T_{amb} =$  Temperatura ambiente promedio

$H_{fg} =$  Entalpía de vaporización

$\Delta H_{RXN} =$  Delta de entalpía de reacción ó calor de reacción

$\Delta H_f =$  Delta de entalpía de formación

$r_a =$  Velocidad de Reacción

$k =$  Constante de velocidad de reacción

$N_a =$  Moles del reactivo Límite

$N_B =$  Moles del reactivo en exceso

$A_o =$  Moles iniciales de reactivo Límite

$B_o =$  Moles iniciales de reactivo en exceso

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO PRELIMINAR DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE GRASAS LUBRICANTES DE LA EMPRESA LUBRIGRAS S.A\*

**AUTOR:** DIANA CAMILA BÁEZ HERNÁNDEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Grasas lubricantes, Reactor-Contactor, Saponificación.

El diseño preliminar de la nueva planta de producción de grasas lubricantes de la empresa Lubrigras S.A abarca el dimensionamiento del reactor Contactor a partir de modelos estándar, y comprende la identificación de cada una de las etapas de formación del agente espesante a partir de la reacción exotérmica de saponificación. Complementando dicha información con correlaciones de diseño y datos iniciales, se plantean los correspondientes balances de energía y se programan las distintas etapas de formación del agente espesante de acuerdo a sus particularidades, en el software Scilab, versión 5.3.

Las características del sistema de intercambio de calor, compuesto por una chaqueta interna y otra externa a través de las cuales circula aceite térmico, así como las condiciones de flujo turbulento al interior de reactor y la particular orientación del contenido, posibilitan la reducción de los tiempos de producción y consecuentemente, de los costos de proceso.

El reactor Contactor, de 5800 Kg de capacidad, alimenta simultáneamente dos tanques de mezcla con agente espesante. Bajo condiciones de agitación suave y calentamiento, se agregan las bases lubricantes, aditivos y colorantes, para finalmente dar paso a las etapas de filtración y homogenización del producto. Adicionalmente, se presenta el diagrama organizacional de la planta de producción, cuya materialización tendrá lugar en la vía chimita, zona industrial de Girón.

---

\*Proyecto de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Luis Mariano Idarraga.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** PRELIMINARY DESIGN OF THE LUBRICATING GREASE PRODUCTION PLANT FOR THE COMPANY LUBRIGRAS S.A

**AUTHOR:** DIANA CAMILA BÁEZ HERNÁNDEZ

**KEY WORDS:** Lubricants grease, Contactor- Reactor, Saponification.

The preliminary design of the new production plant of lubricating grease for the company Lubrigras S.A includes sizing the contactor reactor from standard models, and identifying each of the stages of formation of the thickening agent from the exothermic saponification reaction. Complementing this information with design correlations and initial data, it is possible to set the corresponding energy balances and program entire thickening agent making stages according to its peculiarities in Scilab, version 5.3.

The characteristics of the heat exchange system, consisting of one internal and one external jacket through which flows heat transfer oil, the turbulent flow conditions inside the reactor and the particular orientation of the blend, make possible to reduce the times of production and consequently the cost of the process.

The contactor reactor, capacity of 5800 Kg, feeds simultaneously two mixing tanks with a thickening agent. Under gentle agitation and heating conditions, lubricant bases, additives and colorants are added. Eventually, the stages of filtration and homogenization of the product are giving way. Additionally, it presents the organizational chart of the production plant, which will take place on the Chimita road, Girón Industrial zone.

---

\* Work Degree

\*\*Faculty of Physicochemical Engineering's. School of Chemical Engineering.

Director: Luis Mariano Idarraga.

## 1. INTRODUCCIÓN

Lubrigras S.A es una empresa Colombiana, productora y comercializadora de aceites y grasas lubricantes, que en conjunto con la Universidad Industrial de Santander y por medio del presente proyecto de grado, pretende realizar el diseño preliminar de su nueva y mejorada planta de producción de grasas lubricantes.

Las ventajas del diseño propuesto se fundamentan en la posibilidad de aumentar la producción de la planta, mejorar la eficiencia del proceso, reducir los costos de producción y continuar fabricando productos de excelente calidad y variedad.

Consecuentemente, se proyecta una planta de producción que maneje simultáneamente los conceptos de economía de escala, producción limpia y seguridad industrial, aspectos fundamentales en el desarrollo de una línea de producción competitiva.

Las características del reactor-contactor diseñado posibilitan mejoras en el rendimiento de la reacción de saponificación y promueven la reducción de tiempos de producción como resultado de las altas velocidades de corte y circulación, que a su vez, facilitan una dispersión uniforme de la mezcla y una rápida transferencia de calor [14, 15, 28].

Los demás equipos que conforman la planta son principalmente molinos, desaireadores, filtros, bombas, válvulas y tanques de mezcla [15]. El diseño del reactor-contactor y la asociación del mismo con las anteriores unidades en forma de proceso discontinuo, es el objetivo de estudio del presente trabajo.

La materialización del diseño definitivo tendrá lugar en la vía chimita, zona industrial Girón, en terrenos propiedad de la empresa Lubrigras S.A.[1]. Algunos de los equipos de la planta en funcionamiento serán integrados en el nuevo proyecto.

## **1.1. TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN**

La tribología es la ciencia relacionada con el estudio y control de la fricción. Su propósito fundamental es reducir al máximo el rozamiento entre piezas, evacuar el calor y las impurezas entre las superficies en movimiento relativo, retardar el desgaste y proteger las superficies contra diferentes fenómenos químicos como la herrumbre y la corrosión a diversas condiciones de operación. La adecuada elección del lubricante y el oportuno mantenimiento de los mecanismos, garantizan largos tiempos de vida útil de los equipos y piezas en cuestión [20].

La película lubricante se puede considerar como la unión de muchas capas en movimiento relativo las unas respecto a las otras. Una de estas capas se adhiere fuertemente al elemento en movimiento y la otra al elemento estacionario. En medio de estas hay otras que se deslizan entre sí por la acción del cizallamiento, de tal forma que el único rozamiento que se presente sea entre las diferentes capas que conforman la película lubricante, fenómeno conocido como fricción fluida [26].

## **1.2. GRASAS LUBRICANTES**

Las grasas son productos que van desde sólidos hasta semifluidos. Se obtienen por la dispersión de un agente espesante (jabón metálico) en un líquido lubricante (aceite base). Y mientras el espesante es quien le confiere determinadas propiedades físicas al producto, la base es la que le otorga las características de lubricante. En la mayoría de los casos también es importante agregar aditivos para mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas [6, 20][ANEXO A].

Las bases lubricantes son por lo general el componente más abundante de las grasas; con un porcentaje del 80 al 95% de su masa total. Por otra parte, el agente espesante y los aditivos constituyen de un 5-20 % y de un 0-15% de la masa total

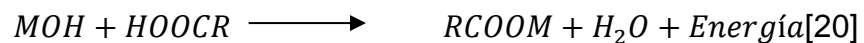
de grasa, respectivamente [4]. En la tabla 1 se aprecian los tipos de bases, jabones y aditivos más usados en la industria de lubricantes.

**Tabla 1.** Composición de las grasas Lubricantes.

Aceite Base	+ Agente Espesante	+ Aditivos
Bases Minerales	Jabón (Calcio, Litio, Sodio,	Adhesividad, antioxidantes,
-Nafténicas	Aluminio, Bario, Molibdeno,	anticorrosivo, antidesgaste,
-Parafínicas	Complejo de Litio, entre otros)	antiespumante, estabilizador, etc.

### 1.2.1. Proceso de producción de grasas lubricantes

La primera etapa de producción de grasas lubricantes consiste en la formación del agente espesante a partir de la siguiente reacción de saponificación:

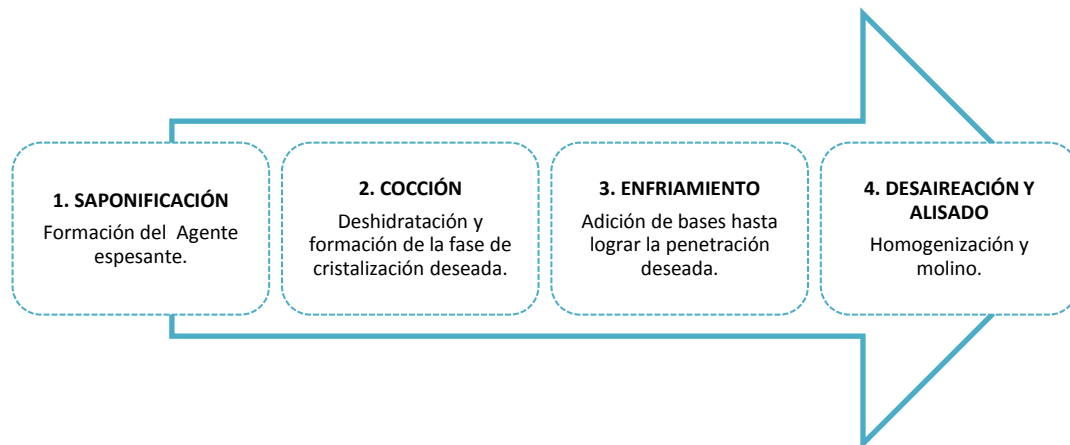


Donde una base metálica reacciona con un ácido graso en presencia de base lubricante para producir un jabón espesante y agua. La reacción de saponificación es ligeramente exotérmica, y comprende normalmente de 30 a 45 minutos en completarse [6]. Transcurrido este tiempo, el contenido se calienta progresiva y controladamente, de tal forma que se promueva la deshidratación del jabón y se incite la formación de la fase de cristalización deseada[20].

Posteriormente, se da paso a la etapa de enfriamiento, en la cual se corrige la consistencia de la grasa de acuerdo con los valores estándar de penetración establecidos por clasificación NLGI de grado de consistencia de las grasas [29] [ANEXO B]. Así mismo, se agregan los aditivos y colorantes formulados por el laboratorio. Finalmente, se homogeniza la grasa mediante el molino coloidal y se eliminan las burbujas de aire en su interior por medio de un equipo desaireador.

En la Figura 1 se aprecian las etapas de formación de las grasas lubricantes.

**Figura 1.** Diagrama del proceso de producción de grasas lubricantes.



**Fuente:** Pedro Ramón Albarracín Aguillón. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. Segunda Edición. Tomo 1 (1993), Capítulo 5.

## 1.2.2. Características de las Grasas Lubricantes

**1.2.2.1. Consistencia.** La consistencia es la medida de la dureza de la grasa a una temperatura específica. Esta se puede dar con base a dos situaciones: cuando ha sido trabajada y sin trabajar. La consistencia de las grasas se expresa de acuerdo con la cantidad de espesante y viene dada por la NLGI que las clasifica de acuerdo con la penetración trabajada

**1.2.2.2. Extrema presión.** Es la propiedad que tienen las grasas para soportar cargas pesadas.

**1.2.2.3. Punto de Goteo.** Es la temperatura a la cual la grasa pasa de su estado sólido a líquido.

**1.2.2.4. Resistencia anticorrosiva.** Habilidad para formar una película protectora contra la oxidación.

**1.2.2.5. Estabilidad Mecánica.** Es la medida del cambio de la consistencia debido al uso del producto. Ciertas grasas tienen una tendencia para ablandarse durante el trabajo mecánico, pudiendo dar lugar a pérdidas.

**1.2.2.6. Estabilidad Oxidativa.** Resistencia a la deterioración debido a las altas temperaturas.

**1.2.2.7 Fluidez.** Habilidad para poder ser bombeada.

**1.2.2.8. Resistencia al lavado por agua.** Habilidad para resistir la contaminación por agua (o a despegarse por efecto del agua).

**1.2.2.9. Separación de Aceites.** Habilidad de las grasas para mantener sus propiedades lubricantes y su consistencia.

Las características de las grasas están determinadas por el tipo de base metálica usada para producir el agente espesante, los tipos de aditivos y el porcentaje que constituyen los mismos con respecto al total de la grasa.

### **1.2.3. Proyecciones del mercado de Grasas**

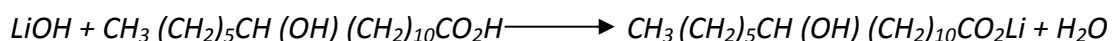
Las grasas lubricantes se pueden clasificar según la naturaleza de la base metálica utilizada en la reacción de saponificación. De acuerdo a esto, en el mercado podemos encontrar grasas de Sodio, Calcio, Aluminio, Litio, Molibdeno, Bario, complejas de Litio y complejas de Aluminio, entre otras [16].

Las proyecciones mundiales del mercado de lubricantes indican un incremento de aquellas grasas formuladas para dar los mejores rendimientos, siendo estas, las grasas complejas y las grasas de Litio. De tal forma, que aquellos productos de menor desempeño tienden a ser gradualmente reemplazados por los mencionados anteriormente [14].

Dichos estudios y proyecciones, han incentivado a los productores de grasas lubricantes a enfocar esfuerzos en mejorar el proceso de producción de aquellas grasas de mejor rendimiento y más alto desempeño. Por tal razón, el diseño de la planta será realizado con base en la producción de grasas de Litio.

### 1.3. REACCIÓN DE SAPONIFICACIÓN Y DESHIDRATACIÓN

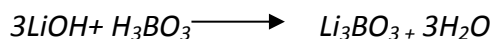
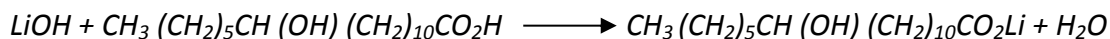
**1.3.1. Jabón de Litio.** La reacción de saponificación para la formación de un jabón de Litio involucra la participación de ácido 12- hidroxiesteárico como ácido graso e hidróxido de Litio como base metálica. La reacción ocurre en presencia de base lubricante y la mezcla debe ser pre-calentada a 83°C para que las condiciones sean óptimas [12, 13, 27].



Una vez transcurre el tiempo de reacción, la temperatura de la mezcla se incrementa hasta 180°C con el propósito de promover la vaporización del agua e inducir la fase de cristalización deseada [12,13, 20].

Después de un tiempo de reposo, finalmente se obtiene el agente espesante y se da paso a las siguientes etapas del proceso.

**1.3.2. Jabón complejo de Litio.** La formación de un jabón complejo de Litio involucra dos reacciones.



El hidróxido de Litio es la base metálica en cada una de ellas, sin embargo encontramos que además de la reacción de jabón de Litio, ocurre una reacción adicional con un ácido no graso, el ácido bórico [27, 30].

A partir de esta reacción se forma una sal de Litio que se compleja con la molécula de R-COOM dando paso a un agente espesante con una estructura más estable. Usualmente se utiliza salicilato de metilo con el propósito de incitar una mejor dispersión entre los productos de las reacciones [27].

Al igual que los jabones de Litio, después de la reacción de saponificación se incrementa la temperatura para que ocurra la deshidratación y formación de la estructura deseada, a una temperatura de 204°C.

#### **1.4 REACTOR-CONTACTOR**

El reactor-contacto es un recipiente vertical de sección cónica presurizado, con un ensamble inferior de un mezclador de alta velocidad y un sistema de transferencia de calor compuesto por dos chaquetas de intercambio. La energía que ingresa a través del impulsor se consume en la mezcla del contenido, y debido a la particular orientación del flujo y a las altas velocidades de circulación, resulta una zona de alto corte y mezcla intensa que asegura una distribución más uniforme del contenido y reduce significativamente los tiempos de producción [6, 10, 15, 19].

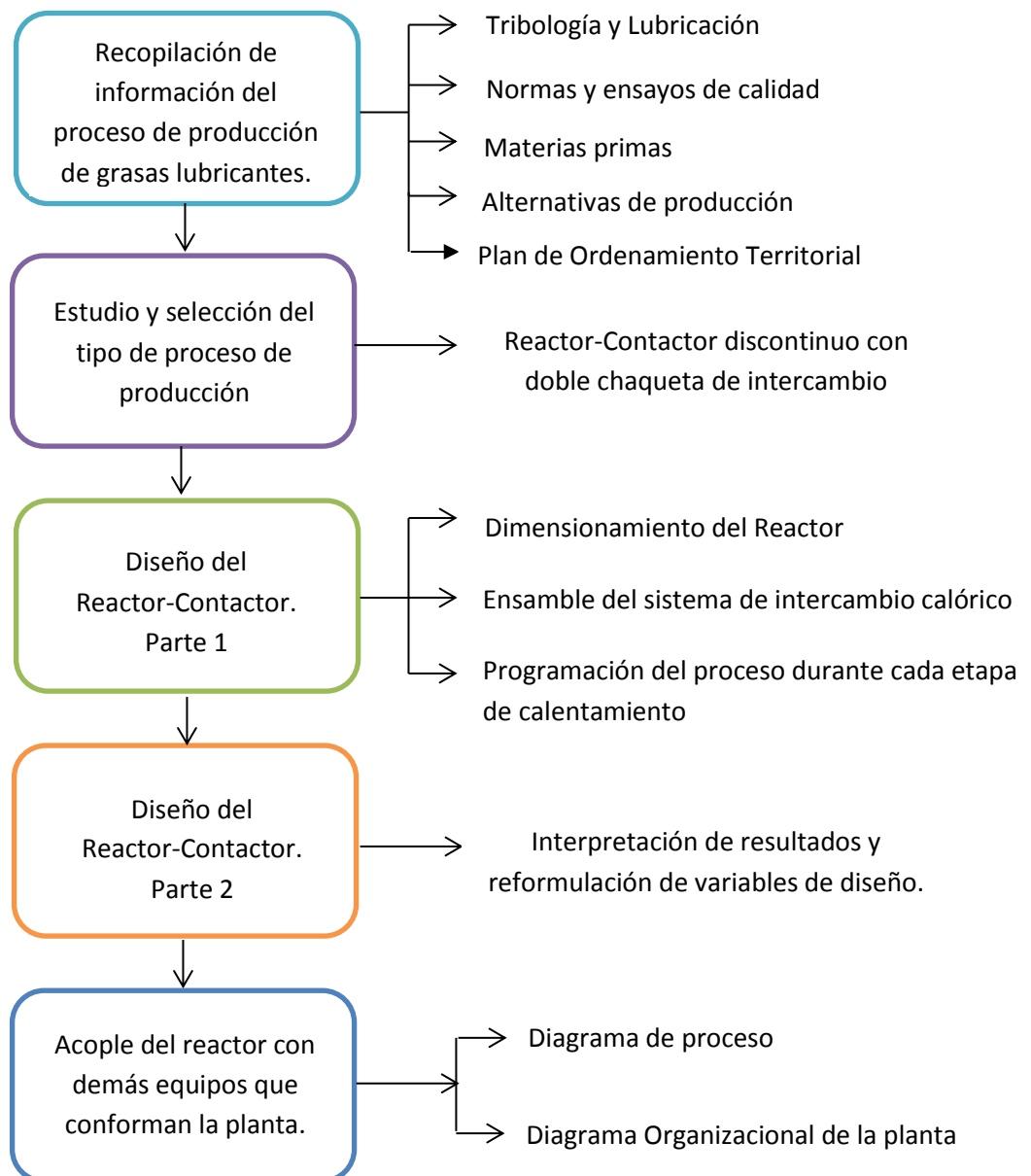
El sistema de intercambio de calor se fundamenta en el acople de una chaqueta externa y otra interna a través de las cuales circula aceite térmico. La acertada ubicación de las chaquetas y la particular orientación del flujo, posibilita un contacto permanente entre el contenido del reactor y la superficie de transferencia, de tal manera que los tiempos de producción y consecuentemente los costos asociados, resultan benéficamente reducidos [6, 10, 15, 28].

Por otro lado, se ha comprobado que la buena dispersión de la mezcla representa una mejora en el rendimiento del proceso, ya que se obtienen jabones más espesos, que aceptan mayores cantidades de base lubricante y por lo tanto generan una mayor cantidad de producto final [28].

## 2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Las etapas consecutivas que se siguieron con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos se presentan en la figura 2.

**Figura 2.**Diagrama esquemático de la metodología utilizada.



## **2.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Durante esta etapa introductoria se estudiaron los conceptos de tribología y lubricación [20, 25]. La investigación se orientó especialmente al estudio de las grasas lubricantes, sus alternativas de producción, su clasificación y las normas de calidad demandadas por instituciones nacionales e internacionales.

Se investigó acerca de las pruebas de calidad exigidas según la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM) que debe cumplir el producto para ser comercializado y acerca de la Norma técnica Colombiana NTC 1731 del petróleo y sus derivados, “grasas lubricantes para uso automotor”[ANEXO C]. El estudio del plan de ordenamiento territorial y su relación con la reubicación de la industria a un sector determinado de la ciudad también hizo parte de esta etapa de la investigación [1, 9, 18].

Se definió la temperatura, presión, y velocidad de agitación como variables de proceso, y se estudiaron las propiedades y fichas técnicas de las materias primas involucradas.

## **2.2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

En esta etapa se definió la alternativa de proceso que más se ajustaba a los requerimientos del departamento de producción y a las proyecciones del departamento de ventas. De esta forma, se optó por un proceso de tipo discontinuo que permite fabricar una amplia gama de productos, realizando continuas paradas y limpiezas según las variaciones de la programación semanal.

El modelo propuesto consiste en un reactor-contactador presurizado, con un sistema de intercambio de calor compuesto por una chaqueta interna y una externa a través de las cuales circula aceite térmico. El fluido térmico se alimenta continuamente de la energía proveniente de una caldera de tipo acuotubular y de

esta manera logra elevar el contenido del reactor a las temperaturas críticas del proceso [15, 19].

Las características más destacadas del reactor-contactador son las altas velocidades de corte generadas por un impulsor tipo hélice de tres palas que gira a velocidades cercanas a las 1200 rpm, generando gran turbulencia y una excelente dispersión del contenido al interior del reactor. Así mismo, se destaca el conveniente recorrido de la mezcla, limitada por un arreglo que involucra las chaquetas de calentamiento y que promueve su contacto con las superficies de intercambio en todo momento [19, 28].

### 2.3. DISEÑO DEL REACTOR-CONTACTADOR, PARTE 1

Para el dimensionamiento del reactor se tomaron en cuenta modelos estándar establecidos por una de las empresas diseñadoras y proveedoras líderes de equipos especializados en fabricación de lubricantes, STRATCO INC. [28]

Los modelos mencionados se contrastaron con la visión del departamento de ventas de la empresa de aumentar la producción actual de grasas lubricantes, y de acuerdo a esto, se estableció que el modelo más conveniente es el VJS24-1840-510, cuyas especificaciones se resumen en la tabla 2. [ANEXO D]

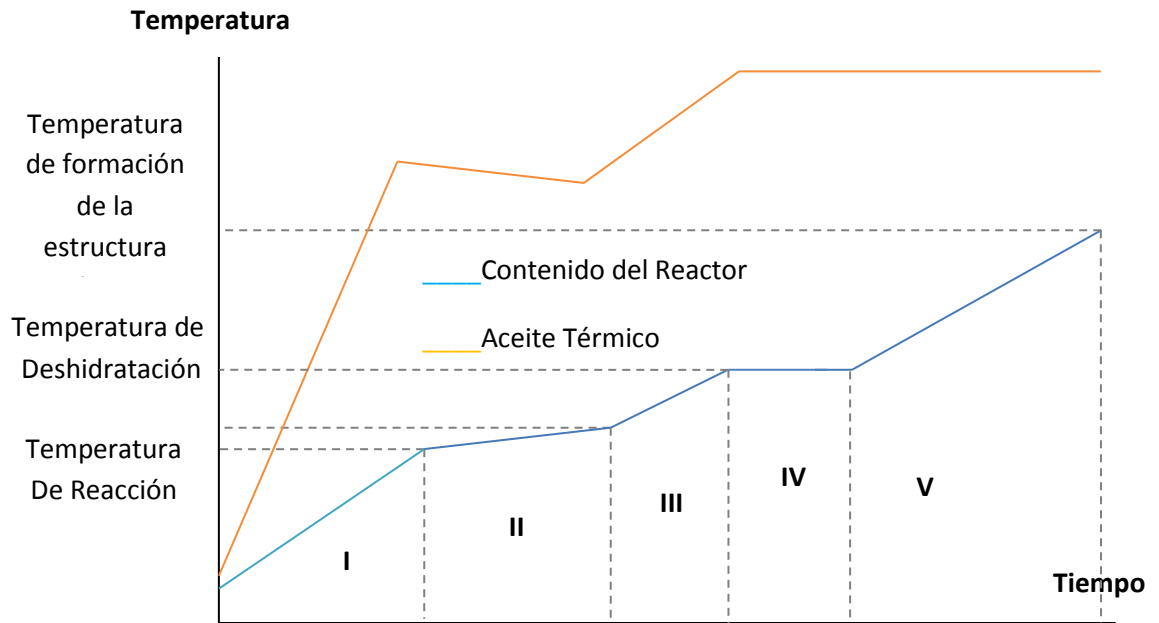
El reactor VJS24-1840-510, tiene acoplado un sistema de intercambio de calor compuesto por una chaqueta de calentamiento interna y otra externa, a través de las cuales circula aceite térmico, de esta manera, el contenido del reactor puede alcanzar las temperaturas críticas del proceso, como se muestra en la figura 3.

**Tabla 2.** Especificaciones del Reactor-Contactador VSJ 24-1840-510.

Modelo	Capacidad	Altura	Diámetro	Tamaño de Motor
VJS 24-1840-510	1840 Gal	6,17 m	208,28 cm	75/37,5 HP

**Fuente:** [25] STRATCO INC. Web World. Lubricating Greases.

**Figura 3.** Tendencia de la temperatura del fluido térmico y del producto durante las diferentes etapas de formación del agente espesante.



En la Figura 3 se observan claramente las etapas de calentamiento que hacen parte de la formación del agente espesante. Inicialmente, la mezcla de materias primas se debe llevar a la temperatura de reacción ( $83^{\circ}\text{C}$ ). Una vez se ha alcanzado la misma, la caldera se apaga durante un tiempo de reacción en el que se libera energía debido a la exotermicidad de la saponificación. La teoría indica que el tiempo de reacción es de aproximadamente 45 minutos, sin embargo, en la práctica es usual disponer 60 minutos para dicha fase.

Finalizada la etapa de reacción, se continúa aumentando la temperatura de la mezcla hasta la etapa de deshidratación. En esta fase, todo el calor que ingresa al reactor se utiliza para que la totalidad del agua se vaporice. Posteriormente, se lleva la mezcla a una temperatura máxima de  $180^{\circ}\text{C}$ . El objetivo de esta etapa es asegurar la completa deshidratación de la mezcla y promover la formación de la estructura final de las fibras de producto de tal manera que el agente espesante proporcione una red tridimensional, similar a la estructura de una esponja, que retiene el lubricante entre sus poros.

El balance de energía para cada una de las etapas descritas, se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen de balances de energía propuestos para cada etapa de la formación del agente espesante.

Etapa	Balances de Energía
I, III, V	$M_p * Cp_p * \frac{(T_p^{i+1} - T_p^i)}{\Delta T} = UA(T_a^{i+1} - T_p^i) \quad (1)$ $Q_{caldera} = M_a * Cp_a * \frac{(T_a^{i+1} - T_a^i)}{\Delta T} + UA(T_a^{i+1} - T_p^i) + U'A'(T_a^i - T_{amb}) \quad (2)$
II	$M_p * Cp_p * \frac{(T_p^{i+1} - T_p^i)}{\Delta T} = UA(T_a^{i+1} - T_p^i) + Vr_A \Delta H_{Rxn}^\circ \quad (3)$ $0 = M_a * Cp_a * \frac{(T_a^{i+1} - T_a^i)}{\Delta T} + UA(T_a^{i+1} - T_p^i) + U'A'(T_a^i - T_{amb}) + Vr_A \Delta H_{Rxn}^\circ \quad (4)$
IV	$\frac{(M_p^{i+1} - M_p^i)}{\Delta T} * H_{fg, H_2O} = UA(T_a^{i+1} - T_p^i) \quad (5)$ $Q_{caldera} = M_a * Cp_a * \frac{(T_a^{i+1} - T_a^i)}{\Delta T} + UA(T_a^{i+1} - T_p^i) + U'A'(T_a^i - T_{amb}) \quad (6)$

De los balances correspondientes a las etapas I, II, III y V, las únicas variables desconocidas son  $T_a^{i+1}$  y  $T_p^{i+1}$ . Los demás términos por su parte, abarcan variables de diseño conocidas [28], valores iniciales, propiedades de las sustancias involucradas [3, 21, 23, 27] y datos cinéticos [Doc. Lubrigras S.A]. Los coeficientes de transferencia de calor global se calculan a partir de la relación de los números adimensionales de Reynolds, Prandtl y Nusselt o Rayleigh, Prandtl y Nusselt.

La correlación utilizada para calcular el número de Nusselt es la de Gnielinski. Dicha igualdad es válida para  $0.5 < Pr < 2000$  y  $3000 < Re < 5 * 10^6$  y flujo turbulento en tubos circulares[7, 33].

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re_D - 1000) Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} (Pr^{2/3} - 1)} = \frac{hD}{k}$$

Sin embargo, para flujos laminares con  $Re < 3000$  la correlación anterior no es válida, y la literatura indica que estos casos el número de Nusselt está dado por:

$$Nu_D = 3.66 + \frac{0.0668 \left(\frac{D}{L}\right) Re_D Pr}{1 + 0.44 * \left(\frac{D}{L}\right) Re_D Pr)^{2/3}}$$

El coeficiente de fricción ( $f$ ) se define por la correlación de Petukhov para números de Reynolds mayores a 3000 y superficies suaves o poco rugosas. [33]

$$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}, \text{ Para } 3000 < Re_D < 5 * 10^6$$

El número de Reynolds modificado para flujo en tubos circulares, como el flujo de aceite térmico, se calcula en función de un diámetro hidráulico, el flujo másico y las propiedades del fluido. Por otra parte, para flujos dentro de un tanque con agitación, como en el caso de la mezcla reaccionante, el número de Reynolds se calcula en función del diámetro de la paleta, el número de revoluciones por segundo, y las propiedades del fluido [7, 33].

$$Re_M = \frac{D_P^2 * N * \rho}{\mu} \quad y \quad Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D_H \mu}$$

Adicionalmente, la correlación más apropiada para calcular el coeficiente de transferencia por convección con el ambiente es la de Churchill y Chu para casos de convección libre en cilindros verticales [7].

$$Nu_D = 0.825 + \left( \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}} \right)^2 \text{ donde } Ra = \frac{g\beta(T_a^i + T_\infty)L^3}{\gamma * \alpha}$$

Una vez conocido el número de Nusselt tanto para flujo en tubos circulares como para flujo libre, es posible definir los coeficientes de transferencia de calor globales. Se aclara que para ciertos cálculos de dichos coeficientes, se despreciaron algunas resistencias conductivas al suponer un espesor de material pequeño y una conductividad térmica elevada.

En un primer caso, podemos notar que solo se consideraron relevantes las resistencias convectivas a lo ancho de todo el reactor, y de esta manera se define el coeficiente de transferencia de calor global  $UA$ .

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{1}{h_2 A_2} + \frac{1}{h_3 A_3} + \frac{1}{h_4 A_4}}$$

Por otro lado, para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor global con el ambiente, se tomaron en cuenta las resistencias convectivas y conductivas, y de acuerdo a las propiedades del material escogido y al espesor del aislamiento, se calculó el coeficiente de transferencia de calor  $U'A'$ .

$$U'A' = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r/r_1)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_{amb} A}}$$

Las correlaciones definidas, asociadas con la definición de coeficiente de transferencia global, los balances de energía, las propiedades de las sustancias involucradas, y las condiciones de operación del proceso se utilizaron conjuntamente para programar en el software Scilab versión 5.3.3 una serie de cálculos iterativos que nos permiten tener una idea aproximada del tiempo que involucra cada etapa descrita para la formación del jabón.

## 2.4 DISEÑO DEL REACTOR-CONTACTOR PARTE 2

La segunda etapa del diseño del reactor consiste en la interpretación de los resultados arrojados por el programa y en la modificación pertinente de las

variables de diseño o de las condiciones del sistema que permiten ser cambiadas, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso.

## **2.5 ACOUPLE DEL REACTOR Y EQUIPOS DE LA PLANTA**

Esta última etapa de diseño tiene como objetivo presentar un diagrama que permita visualizar los equipos y las líneas de proceso correspondientes a cada etapa de producción.

La planta proyectada está compuesta por algunos equipos que hacen parte de la estructura de producción actual; tanques de mezcla, caldera de aceite térmico, bombas, filtros y molinos. Así como equipos totalmente nuevos que han sido incluidos para aumentar la eficiencia del proceso, disminuir los tiempos de producción y los costos energéticos asociados, agilizar el empaque y despacho del producto y facilitar la carga de materias primas; Entre ellos se encuentra el reactor contactor, la caldera de vapor, el tanque con calentamiento del ácido graso, las tolvas de almacenamiento con calentamiento, los desaireadores, y algunas bombas.

Por otra parte, se busca dar a conocer la estructura organizacional de la planta de producción y las diferentes zonas que la conforman; zona de producción y control, zona de empaque y etiquetado, bodegas de materia prima y producto terminado, despachos, zona de descarga de carro tanques, zona de almacenamiento de limpiezas y reprocesos y oficina del supervisor de la planta.

## **3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

### **3.1. DISEÑO DEL REACTOR-CONTACTOR**

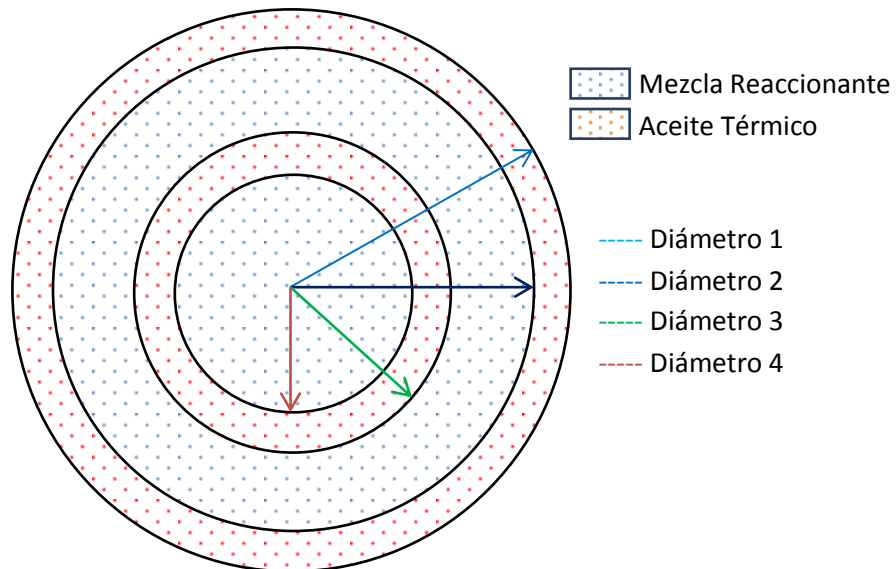
Durante esta etapa se programó un código iterativo en el software Scilab 5.3.3 con el propósito de generar perfiles reales relativos al comportamiento de la temperatura de la mezcla reaccionante y del fluido térmico durante las diferentes etapas de formación del agente espesante [ANEXO E].El código se ejecutó para

diferentes valores de diámetros y espesor de chaquetas intercambiadoras de calor, y de acuerdo a los resultados arrojados se escogieron los parámetros finales de diseño que no estaban especificados.

### 3.1.1. Etapa de Calentamiento I

La primera etapa del calentamiento se refiere al aumento de temperatura desde la carga de materias primas hasta el momento en que el contenido alcanza la temperatura de reacción (alrededor de 83°C para las grasa de litio).

**Figura 4.** Vista superior del Reactor- Contactor y las chaquetas de intercambio de calor acopladas.



Los parámetros de diseño que fueron variados inicialmente con el propósito de analizar los resultados y finalmente tomar las decisiones más acertadas para su elección, fueron los diámetros de las chaquetas intercambiadoras de calor y su espesor. En la Figura 4 se aprecian los parámetros a los cuales se hace referencia. La diferencia entre los diámetros 1 y 2 y los diámetros 3 y 4 corresponde al espesor de la chaqueta externa e interna, respectivamente.

En la tabla 4 se registran los datos de entrada a partir de los cuales se ejecuta el programa.

**Tabla 4.** Condiciones de trabajo del reactor-Contactor

Temperatura inicial del aceite.	Temperatura inicial del producto.	Masa total del aceite	Masa total del producto	Delta de tiempo ( $\Delta T$ )	Longitud del reactor	Calor proporcionado por la caldera
35°C	28°C	4000 Kg	5800 Kg	60 s	6.17 m	557 681 W

Por medio de la tabla 5 se concluye que la variación del espesor de las chaquetas afecta el tiempo necesario para que el contenido del reactor alcance su temperatura de reacción (83°C); A menor espesor de chaqueta, se reduce el tiempo comprendido para la finalización de la etapa I del proceso de formación del agente espesante.

**Tabla 5.** Tiempos y temperaturas finales del aceite térmico al variar los diámetros de las chaquetas de intercambio y su espesor durante la etapa I.

Ensayo	D1 (m)	D2 (m)	D3 (m)	D4 (m)	D1-D2 (in)	D3-D4 (in)	D2-D3 (in)	Tac. (°C)	Tiempo (h)
1	2.0828	1.8796	1.6764	1.4732	4	4	4	282.08	1.91
2	2.0828	1.9304	1.7272	1.5748	3	4	3	281.89	1.75
3	2.0828	1.9812	1.778	1.6764	2	4	2	281.57	1.56
4	2.0828	2.032	1.8288	1.778	1	4	1	260.93	1.41
5	2.0828	1.8796	1.7272	1.524	4	3	4	282.08	1.91
6	2.0828	1.9304	1.778	1.6256	3	3	3	281.89	1.75
7	2.0828	1.9812	1.905	1.8034	2	3	2	281.57	1.56
8	2.0828	2.032	1.8796	1.8288	1	3	1	260.93	1.41

Adicionalmente, la tabla proporciona información sobre la relación del espesor de las chaquetas y la temperatura a la cual se tendrá que calentar el aceite térmico (Tac.) para cumplir el propósito de llevar la mezcla a su temperatura de reacción. Se observa que a menor espesor de chaqueta, la temperatura final del fluido térmico es más baja, lo cual representa un ahorro energético adicional.

Las anteriores afirmaciones nos permiten concluir que un espesor de chaqueta menor disminuirá los tiempos de producción y asimismo, contribuirá en un ahorro

de energía para la compañía, lo cual tiene un impacto económico y ambiental positivo. Sin embargo, encontramos resultados aún más satisfactorios cuando decidimos apagar la caldera antes que la mezcla reaccionante alcance la temperatura de 83°C. En la práctica, es usual dejar el aceite caliente circulando a través de las chaquetas de tal manera que se continúe transfiriendo calor a la mezcla reaccionante sin necesidad de mantener la caldera encendida.

La tabla 6 muestra los resultados arrojados por el software al considerar las condiciones mencionadas, y ejecutarlas sobre los parámetros del ensayo 8.

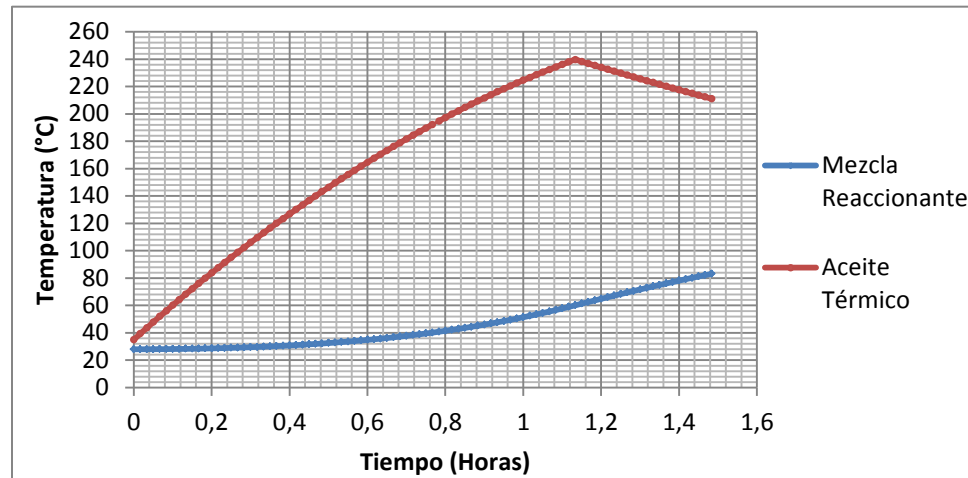
**Tabla 6.** Tiempo consumido para llevar la mezcla reaccionante a 83°C variando la temperatura de apagado de la caldera.

Ensayo	Temperatura de mezcla al momento de apagado de la caldera ( $T_{OFF}$ ) (°C)	Tiempo necesario para que la temperatura de la mezcla reaccionante sea $T_{OFF}$ (Horas)	Tiempo adicional para llevar la mezcla a 83°C solo con circulación de aceite (Horas)	Tiempo Total (Horas)
9	50	0.96	0.63	1.59
10	60	1.13	0.35	1.48
11	70	1.25	0.15	1.4

El análisis de los resultados obtenidos, permite demostrar que si se apaga la caldera antes que la mezcla reaccionante alcance la temperatura de 83°C y se deja el aceite térmico circulando al interior de las chaquetas, se puede ahorrar energía aunque haya un ligero aumento en el tiempo total de calentamiento. De acuerdo a esto, se opta por seleccionar la geometría del ensayo número 8 y combinarlo con las ventajas económicas del ensayo número 10. Es así como el ligero aumento en el tiempo se encuentra consecuentemente respaldado por el ahorro energético del proceso.

En Figura 5 se observa el comportamiento de la temperatura del aceite térmico y de la mezcla reaccionante desde el momento de la carga de las materias primas, hasta que se alcanza la temperatura de reacción.

**Figura 5.** Comportamiento de la temperatura en el tiempo durante la etapa I.



Los perfiles anteriores muestran que el incremento de la temperatura de la mezcla reaccionante es constante hasta que adquiere la temperatura de reacción, mientras que la temperatura del fluido térmico decrece al apagar la caldera una vez la mezcla alcanza una temperatura de 60°C.

Se destaca que la velocidad de agitación seleccionada es aquella recomendada por los diseñadores originales de la empresa Stratco inc. y tiene un valor de 1200 rpm. Conjuntamente, el flujo de aceite térmico elegido es el recomendado en el manual de caldera, con un valor correspondiente a 170 gal/min.

### **3.1.2. Etapa de Calentamiento II**

La segunda etapa de calentamiento se refiere al intervalo de tiempo que toma la reacción de saponificación en darse por terminada. La teoría sugiere que el tiempo estimado es de 45 minutos [6], sin embargo, en la práctica es habitual tomar un tiempo equivalente a 60 minutos.

Por causa de la exotermicidad característica de una reacción de saponificación, el delta de entalpía de reacción, es decir, el calor generado por la conversión de reactivos a productos, debe ser calculado e incluido en el balance de energía.

$$\Delta H_{Rxn}^{\circ} = \Delta H_{f, \text{ productos}}^{\circ} - \Delta H_{f, \text{ reactivos}}^{\circ}$$

En el caso de la reacción de formación del jabón de litio, el calor desprendido por la reacción se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta H_{Rxn}^{\circ} = \Delta H_{f, C_{18}H_{35}LiO_2}^{\circ} + \Delta H_{f, H_2O}^{\circ} - \Delta H_{f, C_{18}H_{36}O_2}^{\circ} - \Delta H_{f, LiOH}^{\circ}$$

$$\Delta H_{Rxn}^{\circ} = -1155.58 \text{Kj/mol} - 285.8 \text{Kj/mol} - (-947.7 \text{Kj/mol} - 484.9 \text{Kj/mol}) [2, 5]$$

$$\Delta H_{Rxn}^{\circ} = -8.78 \text{Kj/mol}$$

Como era de esperarse, el cálculo de la entalpía de reacción dio un valor negativo, lo cual confirma que la reacción de saponificación es exotérmica y que la energía liberada durante la misma es de 8.78 Kj/mol.

Durante esta etapa se busca mantener la temperatura alrededor de la temperatura de reacción (83-85 °C) [12, 13]. Por tal razón, una vez el contenido alcanza la temperatura mencionada, la caldera se apaga, al igual que la circulación del fluido térmico a través de las redes de intercambio de calor.

Los balances de energía de esta segunda etapa incluyen un término adicional que hace referencia al calor generado por la reacción (Ecu. 3 y 4). Dicho término, se obtuvo al relacionar el balance de masa para un reactor discontinuo con la expresión cinética de una reacción de segundo orden como la saponificación.

- Balance de masa para un reactor discontinuo:  $\frac{dN_a}{dt} = r_a * V$
- Expresión cinética para reacción de 2<sup>do</sup> orden:  $Ln(Na) = -k N_{Bo} * t + Ln(Nao)$

Derivando de la segunda expresión las moles del reactivo límite en el tiempo, encontramos que:

$$\frac{dN_a}{dt} = A_o(-k * N_{Bo})e^{-k * N_{Bo} * t} = r_a * V$$

En la anterior ecuación se aprecia que la velocidad de reacción esta en términos de las moles iniciales del reactivo límite (A), las moles iniciales del reactivo en exceso (B), la constante de velocidad (k) y el tiempo (t). Se precisa mencionar que la constante de velocidad de reacción fue hallada de manera experimental en las instalaciones de Lubrigras S.A, simulando la reacción a escala laboratorio y realizando un seguimiento del pH de la mezcla reaccionante en el tiempo. De esta forma se rastreó el cambio de concentración de la base metálica y se encontró un valor experimental de la constante cinética de velocidad de reacción.

La ejecución del programa formulado para la etapa II, muestra que el aumento de la temperatura del contenido, así como la caída de la temperatura del aceite térmico es muy ligera durante esta etapa; esto se debe al apagado de la caldera acompañado por la interrupción del flujo de aceite por las redes de intercambio de calor (ver Figura 7).

### **3.1.3. Etapas de Calentamiento III, IV y V**

Una vez la reacción de saponificación ha finalizado, y por lo tanto el contenido del reactor es en su mayor parte una mezcla de agente espesante y agua, se da inicio a una nueva etapa de calentamiento que termina cuando la temperatura de la mezcla es igual a la temperatura de vaporización del agua (Etapa III).

A partir de este momento, todo el calor que ingresa al reactor será utilizado para promover el cambio de fase del agua líquida a vapor de agua. Por tal motivo, en los balances de energía correspondientes a la etapa IV, se incluye el término de calor latente de vaporización, y se supone que la temperatura del contenido permanece constante hasta que la totalidad de agua en el reactor ha sido evaporada. Como se observa en la Figura 7, la temperatura de vaporización del agua a la presión recomendada por los fabricantes originales (70 psi) [28] es de 150°C, y su entalpía de vaporización es de 2 111 744 J/Kg.

Es importante resaltar que durante esta fase la caldera permanece encendida, y por lo tanto, el aceite térmico recibe continuamente energía que a su vez transfiere al producto. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la temperatura del aceite térmico no aumenta indefinidamente, por el contrario, existe un límite máximo de temperatura para el fluido térmico que está definido en 280°C.

Se aclara que desde la etapa III en adelante, las propiedades térmicas y fisicoquímicas de la mezcla se modifican por las correspondientes a un jabón de estearato de litio.

Una vez el agua líquida se ha convertido a vapor en su totalidad, la energía que proviene del fluido térmico es usada de nuevo para incrementar la temperatura de la mezcla hasta un valor máximo de 180°C (Etapa V). A dicha temperatura se asegura la vaporización total del agua, y la formación de la estructura deseada del producto.

La ejecución del programa para cada una de las etapas mencionadas se realizó bajo los parámetros geométricos del ensayo 8 y las condiciones de trabajo registradas en la tabla 4. Los resultados obtenidos para cada una de las fases, se exhiben en la tabla 7.

**Tabla 7.** Duración de las etapas de formación de 5800 Kg de agente espesante.

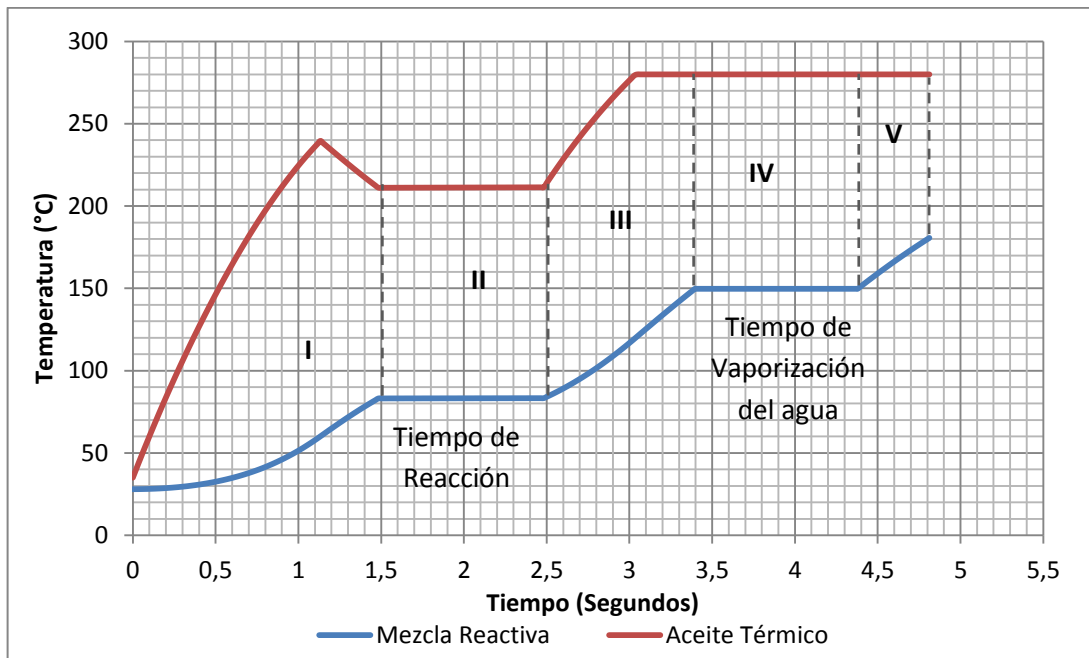
Etapas de formación del agente espesante	Duración (h)
I. Calentamiento hasta la temperatura de reacción (83°C)	1. 48
II. Etapa de reacción	1
III. Calentamiento hasta la temperatura de vaporización del H <sub>2</sub> O (100°C)	0.93
IV. Vaporización del Agua	0.99
V. Calentamiento máximo, hasta 180°C	0.41

Complementariamente, en la Figura 6 se puede observar un panorama general del comportamiento de la temperatura del fluido térmico y de la mezcla reaccionante durante todo el proceso de formación del agente espesante.

Se aprecia que durante el tiempo de saponificación, la temperatura de la mezcla reactiva permanece prácticamente constante. Dicha afirmación confirma la teoría que asegura que la saponificación es una reacción ligeramente exotérmica y por lo tanto su aporte al aumento de la temperatura de la mezcla es prácticamente nulo.

Así mismo, se evidencia un comportamiento de la temperatura en el tiempo análogo al observado durante la práctica y al planteado en la Figura 3. Esto respalda los resultados obtenidos por el código iterativo formulado como sistema de cálculo del proceso.

**Figura 6.** Comportamiento de la temperatura de la mezcla reaccionante y el aceite térmico durante la etapa de producción de 5800 Kg agente espesante de Litio.



En la tabla 8 se comparan los tiempos de producción de agente espesante en cada una de las sedes de producción. Los datos registrados referentes a los

tiempos de producción de la sede Bucaramanga, son el resultado del seguimiento de tres lotes de jabón de Litio en el reactor R1 de la planta de grasas actual. Los valores registrados son los promedios de tales mediciones.

El análisis de los resultados de dicha comparación, nos permite concluir que la producción actual de 3960 Kg de agente espesante en la sede principal de la empresa Lubrigras S.A consume 13 minutos adicionales, comparado con la producción de 5800 Kg del mismo agente espesante por medio del reactor-contactador diseñado para la sede de Chimita-Girón. Consecuentemente, se espera que la reducción del tiempo de producción se vea reflejada en el ahorro energético y por lo tanto en la disminución de costos asociados a dicha etapa.

**Tabla 8.** Paralelo de los tiempos de producción de jabón de Litio.

Etapas del Proceso de formación del jabón.	Planta de Producción B/manga (Capacidad: 3960 Kg)	Planta de producción Chimita. (capacidad: 5800 Kg)
I	1.8 Horas	1. 48 Horas
II	1 Hora	1 Hora
III	0.1 Horas	0.3 Horas
IV	0.9 Horas	1.12 Horas
V	1.32 Horas	1 Hora

Teniendo en cuenta que el consumo de ACPM de la caldera de aceite térmico es de 15 galones por hora, y conociendo los tiempos de producción asociados a la planta de producción actual y a la planta diseñada, se puede hallar un factor de galones de combustible consumidos por kilogramo de agente espesante producido para cada una de las sedes. De esta manera, se encuentra que para la planta en funcionamiento el factor correspondiente es de 0.019 galones de combustible consumido por kilogramo de jabón producido, mientras que para la planta de producción proyectada el factor se reduce a 0.012 galones de combustible consumido por kilogramo de jabón producido. De dicho modo se asegura un

ahorro no solo en el tiempo de fabricación del agente espesante, y por lo tanto, en el costo de mano de obra, sino también en el combustible consumido y por lo tanto en el costo general del proceso.

Adicionalmente, se destaca que el reactor diseñado no está sujeto a la producción del jabón de litio, por el contrario, este se caracteriza por su versatilidad para producir jabones de diferentes familias.

### **3.2. RESULTADOS DE LA REESTRUCTURACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN**

La organización y estructuración de la planta propuesta en el anexo G ofrece una reducción evidente del tiempo de producción al hacer efectiva la alimentación simultánea de dos tanques de mezcla con 2900 Kg de Jabón.

Al realizar dicho proceso de forma paralela, se estarán produciendo aproximadamente 3960 Kg de grasa por mezclador, es decir, un total de 7920 Kg de grasa del mismo agente espesante.

Los costos de mano de obra por su parte no se verán incrementados. El operario encargado se podrá hacer cargo de la formación del producto de los dos lotes.

Por otro lado, al proponer la adquisición de tolvas de almacenamiento en la zona de empaque de producto terminado, como se observa en el anexo H, los tanques de mezcla quedaran disponibles para su respectiva limpieza y posterior alimentación con nueva carga de jabón proveniente del reactor-contactor. De esta manera, no se dispondrá del tiempo de producción para actividades como el empaque, y por tal razón se agilizará el proceso de fabricación del producto.

Cuantitativamente, el tiempo ahorrado varía de acuerdo a las presentaciones a envasar. En la siguiente tabla se aprecia el mínimo y el máximo tiempo que quedara a la disposición de la producción debido a la instalación de las tolvas de almacenamiento.

**Tabla 9.** Tiempo de envasado máximo y mínimo de acuerdo a la presentación comercial del producto.

Presentación	Número de Operarios	Tiempo de empaque de 3960 Kg de grasa
Envases de 360 g	4	12.8 horas/229 cajas 48-1
Tambores de 180 Kg	1	1.71 horas/ 22 tambores

**Fuente:** Lubrigras S.A

En los anexos G y H se presentan los correspondientes diagramas de la planta de producción en general y de la etapa de formación del agente espesante.

#### 4. CONCLUSIONES

La configuración geométrica del reactor que más favorece la reducción del tiempo de producción del agente espesante, es aquella relativa a un espesor de chaquetas de intercambio calórico menor. La disposición del ensayo número 8 ofrece la mayor área de transferencia de calor, además de las mejores eficiencias para dicha etapa del proceso.

La estrategia concerniente al apagado prematuro de la caldera, planteado para los ensayos 9, 10 y 11, muestra que es viable aprobar un ligero incremento de tiempo del proceso con el fin de reducir la energía suministrada al sistema, y por ende, los costos. Específicamente, el ensayo 10 genera un incremento de 7 minutos en el proceso, sin embargo, genera un ahorro de 3.75 galones de combustible.

La energía liberada durante la reacción de saponificación es prácticamente insignificante y no produce un aumento considerable de la temperatura de la mezcla reactiva durante la etapa II.

El reactor-contactor diseñado ofrece un aumento en la producción de la empresa y además asegura una etapa de formación del agente espesante más eficiente.

La reducción del tiempo de producción del agente espesante está directamente relacionada con la disminución de costos del proceso, de combustible y de mano de obra.

La inclusión de tolvas de almacenamiento de producto terminado en la planta de producción de grasas, ofrece la disponibilidad de usar el tiempo de empaque como tiempo de producción. La ganancia de tiempo puede ser cuantificada hasta en 12.8 horas, equivalentes a 1.6 jornadas de trabajo, ahora disponibles para producción.

## **5. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un estudio de factibilidad económico donde se presenten resultados relativos al tiempo de recuperación de la inversión y análisis referentes al estudio beneficio/costo.

El presente trabajo de grado solo es un estudio preliminar del diseño de la planta de grasas lubricantes, por tal motivo, debe ser avalado y complementado por profesionales en el área de materiales, ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica, entre otros.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaldía de Bucaramanga, oficina asesora de planeación y consejo municipal de San Juan de Girón. Revisión plan de ordenamiento territorial (POT) del municipio san Juan de Girón (2010).
- [2] Ali Vatani, Mehdi Mehrpooya and FarhadGharagheizi. Prediction of Standard Enthalpy of Formation by a QSPR Model. International Journal of Molecular Sciences (2007) 8, 407-432.
- [3] Carl L. Yaws, 2012, Yaws' Critical Property Data for Chemical Engineers and Chemists (en línea). Thermal properties for lithium stearate (table 29). Publicado por: Base de datos Knovel. Consultado el 1 de Oct. 2012.
- [4] Dr. Theo Mang and Dr. WilfriedDresel. Lubricants and lubrication. Second Edition. Ed. McGraw-Hill, (2007). Chapter 16 "Grease manufacture".
- [5] David R. Lide. Handbook of Chemistry and Physics, 67th Edition. Standard Thermodynamic properties of chemical substances. (2002)
- [6] Eric R Braithwaite. Lubricants and Lubrication. Elsevier publishing company (1967) p. 197-247.
- [7] Frank P. Incropera y David P. De Witt. Fundamentos de transferencia de calor. Prentice Hall, cuarta edición (1999).
- [8] \* Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación. Norma técnica Colombiana para presentación de trabajos académicos. Séptima actualización, Bogotá, ICONTEC 2012.
- [9] \* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Norma técnica Colombiana 1731. Petróleo y sus derivados. Grasas Lubricantes para uso automotor. Cuarta Actualización (2008).

- [10]Ishchuk, Yu.L. Lubricating Grease Manufacturing Technology. Ed. New age international, (2006). Chapter 6.
- [11]CEI ENTERPRISES, INC. Jacketed Firebox Hot Oil Heaters Suppliers. General dimensions and specifications. Publication B-10E (2004).
- [12] JM. Franco, M.A Delgado, C. Valencia, M.C Sánchez, C. Gallegos. Mixing rheometry for studying the manufacture of lubricating greases. Chemical Engineering Science 60(2005).
- [13] J.E Martín Alfonso, G. Moreno, C. Valencia, M.C Sánchez, J.M Franco, C. Gallegos. Influence of soap concentration ratio in the rheological properties of lithium greases modified with virgin LDPE. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 15(2009) 687-693.
- [14] Lindley R. Higgins, Keith R. Morley. Maintenance engineering handbook, McGraw-Hill, 6th ed.(2011). The organization and management of Lubrication.
- [15] Lou Honary, Erwin Patrick Richter. Biobased Lubricants and greases: Technology and products. Ed. John Wiley & Sons (2011). Chapter 9.
- [16] Lubrigras S.A. Web World. [En línea][Consultado 3 Oct 2012] Disponible en: <http://lubrigras.net/>
- [17] Lubrigras S.A. Manual de Control de Calidad “Descripción y aplicación de la prueba por el tipo de producto”. (2003), 60p.
- [18] National Lubricating Grease Institute NLGI. Lubricating grease guide. Cuarta Edición, (1996). Chapter 1, 2, 3.
- [19] PATTERSON Industries Web World. Canadá [En línea][Consultado 11 Julio 2012] Disponible en: <http://www.pattersonindustries.com/contractor.html>

- [20] Pedro Ramón Albarracín Aguillón. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. Segunda Edición. Tomo 1 (1993), Capítulo 5.
- [21] Peter Keith Brian Hodges, 2002, HydraulicFluids (en línea). Base de datos Knovel, publicado por: Elsevier p. 56-66. Consultado el 30 de Jul. 2012.
- [22] Propiedades Térmicas de algunas Aleaciones. [En línea][Consultado 17 Agosto 2012] Disponible en:  
<http://materias.fi.uba.ar/6731/Tablas/Tabla5.pdf>
- [23] Propiedades Térmicas de algunos gases y vapores. [En línea][Consultado 2 Sept. 2012] Disponible en:  
<<http://materias.fi.uba.ar/6731/Tablas/Tabla10.pdf>>
- [24] R. Farnand, P.G. Howe, I.E Puddington and D.P Benton. The mesomorphic Behavior of anhydrous soaps. Densities of alkali metal soaps, (en línea) p. 1798-1805. Consultado el 1 Oct de 2012. Disponible en:  
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/v55-223>
- [25] Robert C Rosaler. Standard Handbook of plan Engineering, Lubricants: General theory and practice. Ed. The McGraw-Hill Companies, Third Edition (2002). Chapter 45
- [26] Robert K. Smith, Michael Pohorilla. Lithium Soap-Boric Acid Ester Containing Grease. United States Patent Office. Patent Number 2 815 325 (1957).
- [27] Shell Lubricants. Technical Data Sheet, Aceiteparatransferenciatermica Shell Thermia Oil B. Nov (2005), 5p.
- [28] STRATCO INC. Web World. Lubricating Greases. [En línea][Consultado 8 Oct. 2012] Disponible en:  
<<http://stratcoinc.com/lubricating-greases>>

[29]SurinderParkash. Petroleum Fuels Manufacturing Handbook: including Specialty Products and Sustainable Manufacturing Techniques. McGraw-Hill (2009), 464p.

[30] Timothy Hutchings, Kathryn M. Pilgrem. Grease Composition. United States Patent [19] Hutchings et al. PatentNumber 5 385 682 (1995).

[31]Wearcheck Ibérica. Nuevo equipamiento para análisis de grasas. [En línea][Consultado 21 Ago. 2012] Disponible en:

<http://www.wearcheckiberica.es/boletinMensual/PDFs/Nuevo equipamiento grasas.pdf>

[32]Yiovanina de Vita. Aditivos para lubricantes para motores a gasolina. Laboratorio de formulaciones de interfaces, reología y procesos. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela (1995), 37p.

[33]Yunus A. Cengel. Transferencia de calor y masa: Un enfoque práctico.3 ed. México D.F: McGraw-Hill. (2007).

## ANEXO A. Aditivos y Bases Lubricantes: Sus características y funciones

TIPO DE ADITIVO	FUNCIÓN
Antidesgaste	Estos aditivos se adsorben sobre la superficie metálica y luego reaccionan con las asperezas formando una película protectora órgano metálica, evitando así el contacto metal-metal
Antioxidantes	Los aditivos antioxidantes retardan la degradación del lubricante.
De extrema presión	Son compuestos químicos que reaccionan con el metal, formando una película inorgánica, bajo condiciones de lubricación límite( presiones extremas y altas temperaturas) con el propósito de prevenir el desgaste de las superficies metálicas.
Anti herrumbre	El mecanismo de acción de estos aditivos se basa en la formación de una película hidrófoba, que se adhiere a la superficie del metal evitando así el ataque del agua.
Anticorrosivos	Los anticorrosivos son aditivos que se agregan para evitar el ataque a los óxidos del metal por parte de los ácidos producidos, bien sea por la oxidación del aceite o por los productos de combustión.
Adhesividad	Se añaden en la mayoría de las grasas para aumentar la adhesividad o adherencia de la grasas a las piezas del metal y mejorar su resistencia al lavado con agua
Colorantes	La mayoría de las formulaciones para grasas incluyen colorantes para diferenciar los diferentes tipos de productos entre sí.

CARACTERÍSTICAS	BASES O ACEITES PARAFÍNICOS	BASES O ACEITES NAFTÉNICOS
Viscosidad	Baja – Alta	Baja- mediana
Índice de viscosidad	Alto	Mediano
Punto de Fluidez	Mediano	Bajo
Disolvencia	Baja	Mediana
Volatilidad	Baja	Mediana
Densidad	Baja	Mediana
Emulsividad	Regular	Buena
Estabilidad	Alta	Mediana
Coefficiente de Viscosidad	Mediano	Alto
Detergencia	Baja	Mediana

**Fuente:**Yiovanina de Vita. Aditivos para lubricantes para motores a gasolina. Laboratorio de formulaciones de interfaces, reología y procesos. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela (1995), 37p

**ANEXO B. Clasificación de las grasas lubricantes según la NLGI- Ensayo ASTM  
D-217 de Consistencia**

<b>Consistencia</b>	<b>Penetración Trabajada ( 60 Golpes a 25°C) en mm/10<sup>1</sup></b>	<b>Apariencia</b>
000	445-475	Fluida
00	400-430	Fluida
0	355-385	Muy suave
1	310-340	Suave
2	265-295	Moderadamente Suave
3	220-250	Semifluida
4	175-205	Semidura
5	130-160	Dura
6	85-115	Muy Dura

**Fuente:** Surinder Parkash. Petroleum Fuels Manufacturing Handbook: including Specialty Products and Sustainable Manufacturing Techniques. McGraw-Hill (2009), 464p.

**ANEXO C. Pruebas de calidad para grasas lubricantes según la normatividad  
ASTM y DIN**

<b>Nombre de la Prueba</b>	<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
Penetración	ASTM D-217	Medida de la consistencia de la grasa
Punto de Goteo	ASTM D-566	Medida de la temperatura a la cual las grasas pasan del estado semilíquido al líquido bajo las condiciones del ensayo.
Determinación de la fluencia	DIN 51805	Determina las propiedades de flujo-presión de las grasas lubricantes hasta una temperatura de -60°C.
Determinación de las características de lavado al agua de las grasas lubricantes	ASTM D-1264	Se evalúa la pérdida de grasa debido al lavado de un rodamiento lubricado con grasa.
Separación de Aceites	ASTM D-6184 DIN 51817	Se evalúa la tendencia de las grasas a separar el aceite debido tanto a un almacenamiento prolongado como a altas temperaturas.
Determinación del grado de Acidez	ASTM D-974	Mediante la determinación del valor de la acidez de la grasa se puede conocer la cantidad de compuestos de oxidación que se han formado.
Punto de Inflamación	ASTM D-93	Determinación de la menor temperatura a la cual el producto se vaporiza en cantidad suficiente para formar una mezcla con el aire capaz de inflamarse momentáneamente cuando se le acerca una llama.
Prueba TIMKEN de extrema presión	ASTM D-2509	Simulación de las condiciones de servicio de extrema presión para evaluar la capacidad del lubricante de prevenir el escoriado de las superficies metálicas.
Prueba de presión (EP) con 4 esferas	ASTM D-2596	Determinación de las propiedades antidesgaste de los lubricantes en superficies metálicas deslizantes, operando a condiciones extremas de lubricación.

**Fuente:** Lubrigras S.A. Manual de Control de Calidad “Descripción y aplicación de la prueba por el tipo de producto”. (2003), 60p.

## ANEXO D. Modelos estándar del reactor contactor-StratcoInc

STRATCO Contactor Reactor Model	Working Capacity		Weight (approx.) (empty)		Dimensions (approximately)				Motor Size (HP)
	Gallons	Liters	Lbs.	Kg.	Overall Height		Shell Out Diameter		
					Feet	Meters	Inches	Centimeters	
VJ 8-12.5-8.5	12.5	47	1,250	567	7	2.13	14 1/4 "	36.20	5
VJS 8-12.5-17.2	12.5	47	1,300	590	7	2.13	14 1/4 "	36.20	5
VJ 11-50-20	50	189	2,650	1,202	11.29	3.44	22"	55.88	15
VJ 16-140-36	140	529	4,950	2,245	12.42	3.78	33 1/8"	84.14	30
VJS 16-375-157	375	1,419	10,120	4,590	16	4.88	44 5/8"	113.35	40
VJS 24-500-195	500	1,892	12,475	5,659	15.83	4.82	51 3/8"	130.50	75/37.5
VJS 24-750-232	750	2,839	15,175	6,883	17.42	5.31	63 1/2 "	161.29	75/37.5
VJS 24-1000-350	1000	3,785	21,675	9,832	19.5	5.92	63 7/8"	162.24	75/37.5
VJS 24-1250-455	1250	4,731	23,925	10,852	21.25	6.48	63 3/4 "	161.93	75/37.5
VJS 24-1500-490	1500	5,677	26,600	12,065	21.25	6.48	69 7/8"	177.48	75/37.5
VJS 24-1840-510	1840	6,964	30,675	13,914	20.25	6.17	82"	208.28	75/37.5

V = Vertical

J = Jacketed Shell

S = Sleeve Jacket

1st Number = Nominal Diameter of Hydraulic Head (inches)

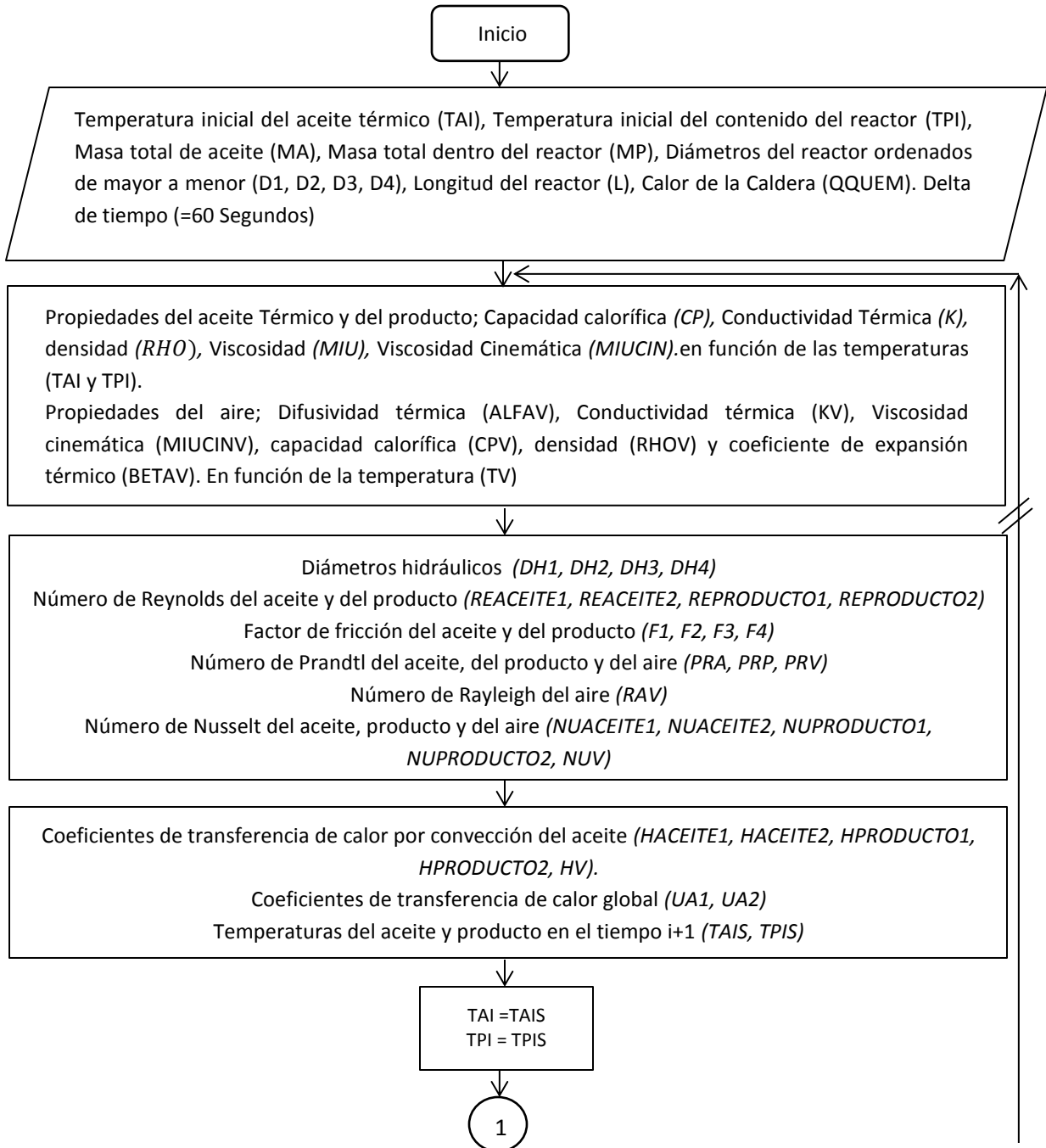
2nd Number = Working Volume in (U.S. gallons)

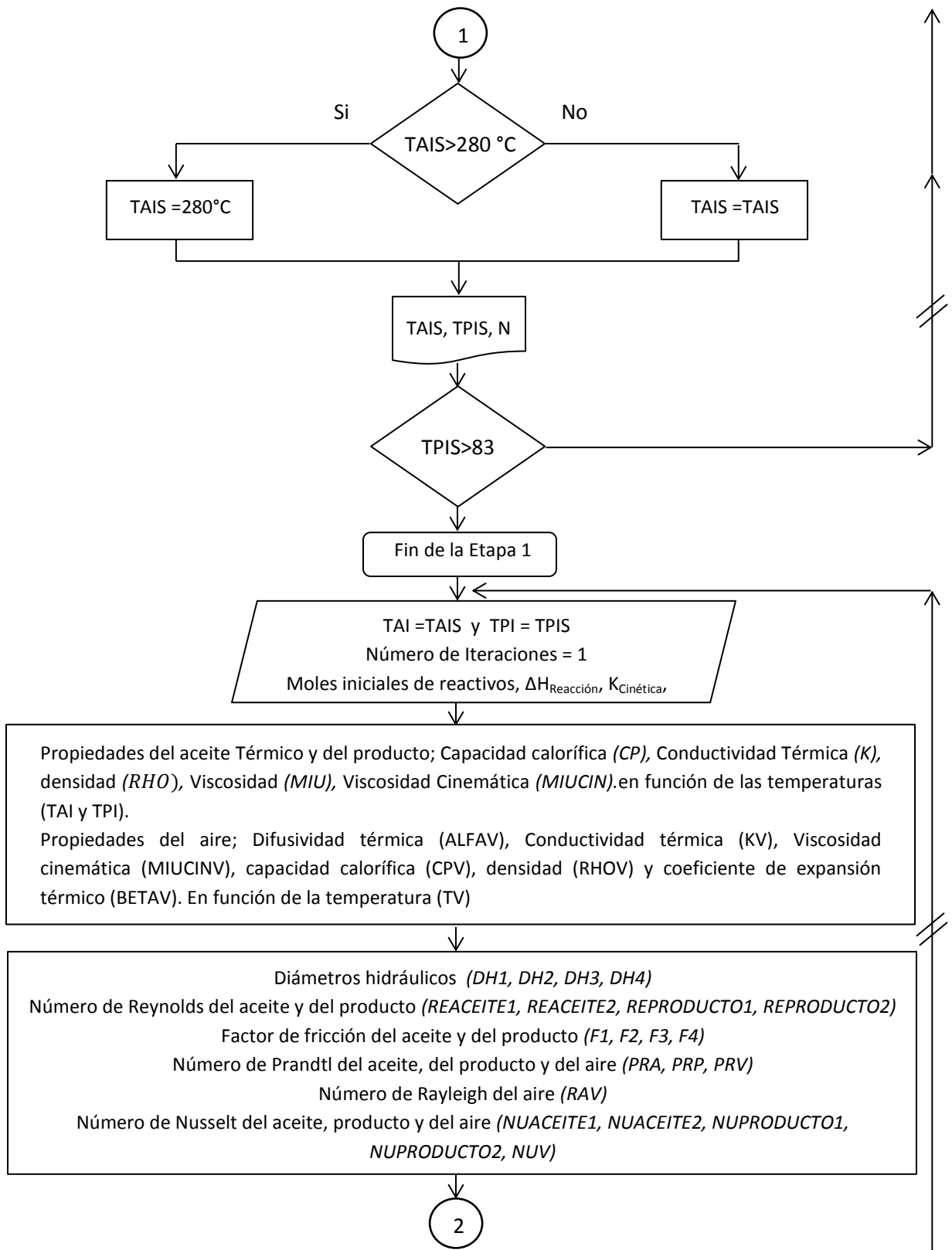
3rd Number = Heating Surface (square feet)

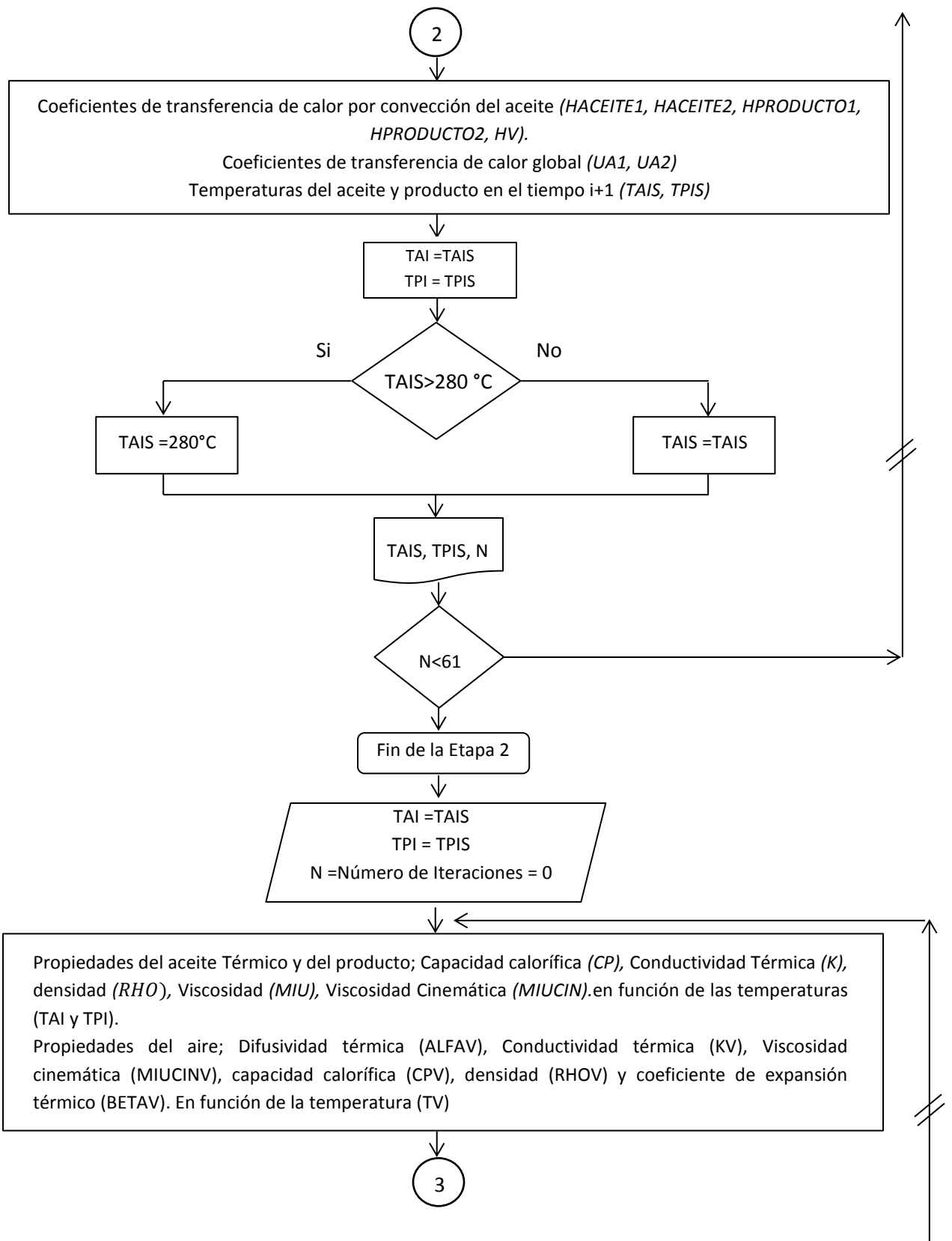
**Fuente:**[25] STRATCO INC. Web World. Lubricating Greases. [En línea] [Consultado 8 Oct. 2012] Disponible en:

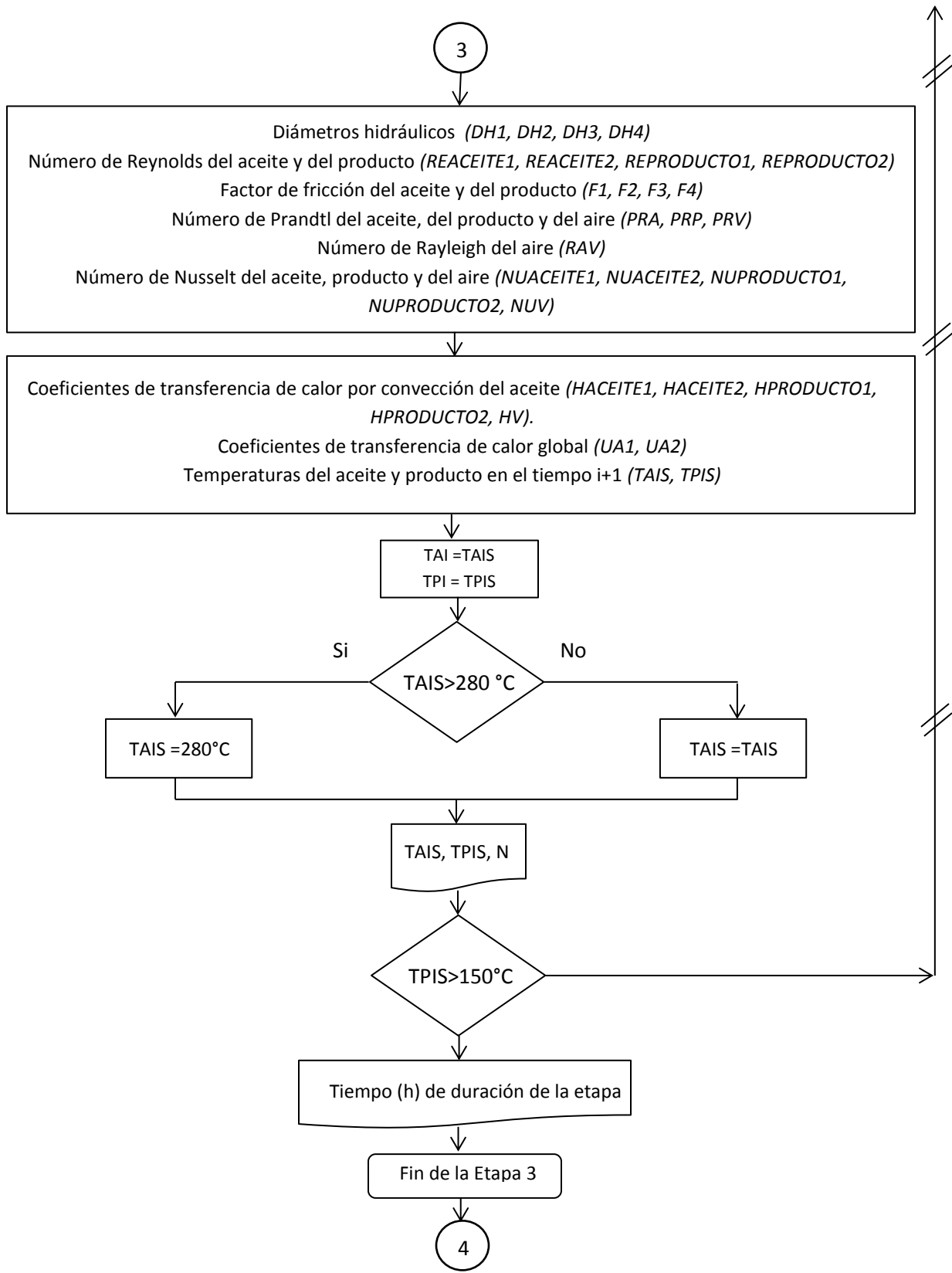
<<http://stratcoinc.com/lubricating-greases>>

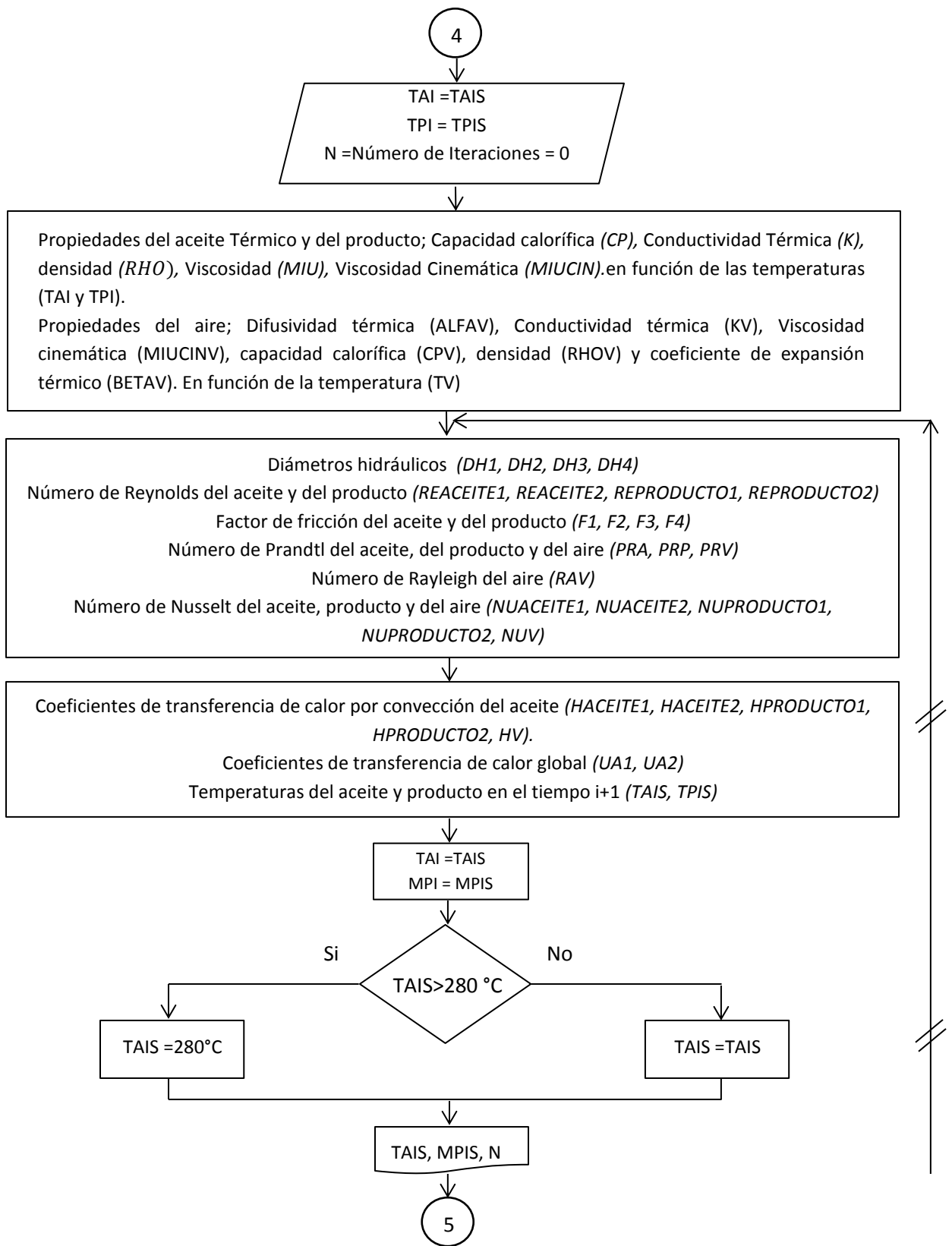
**ANEXO E.** Diagrama de flujo del código en scilab usado para modelar la etapa de formación del agente espesante en el reactor-Contactor.

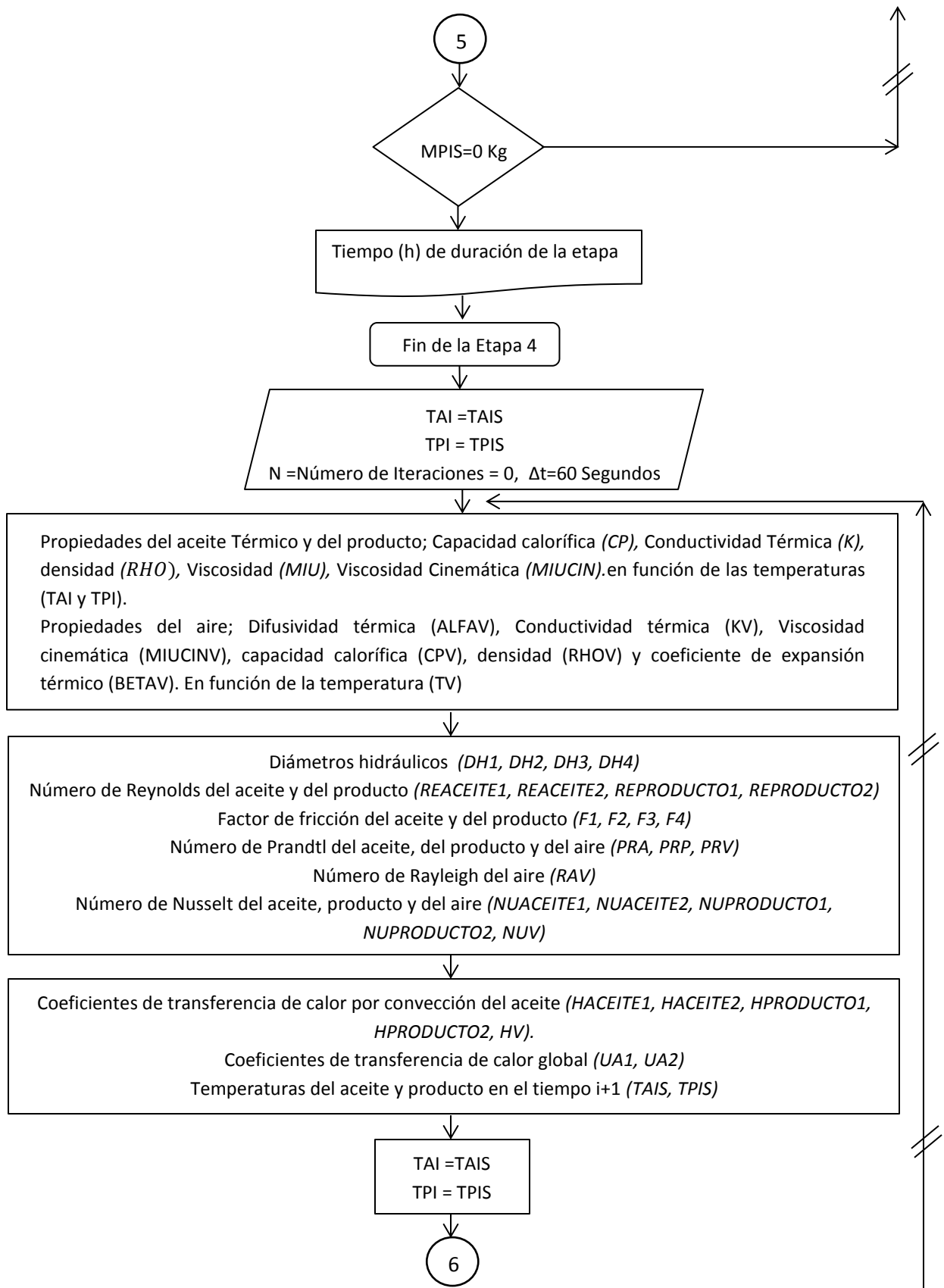


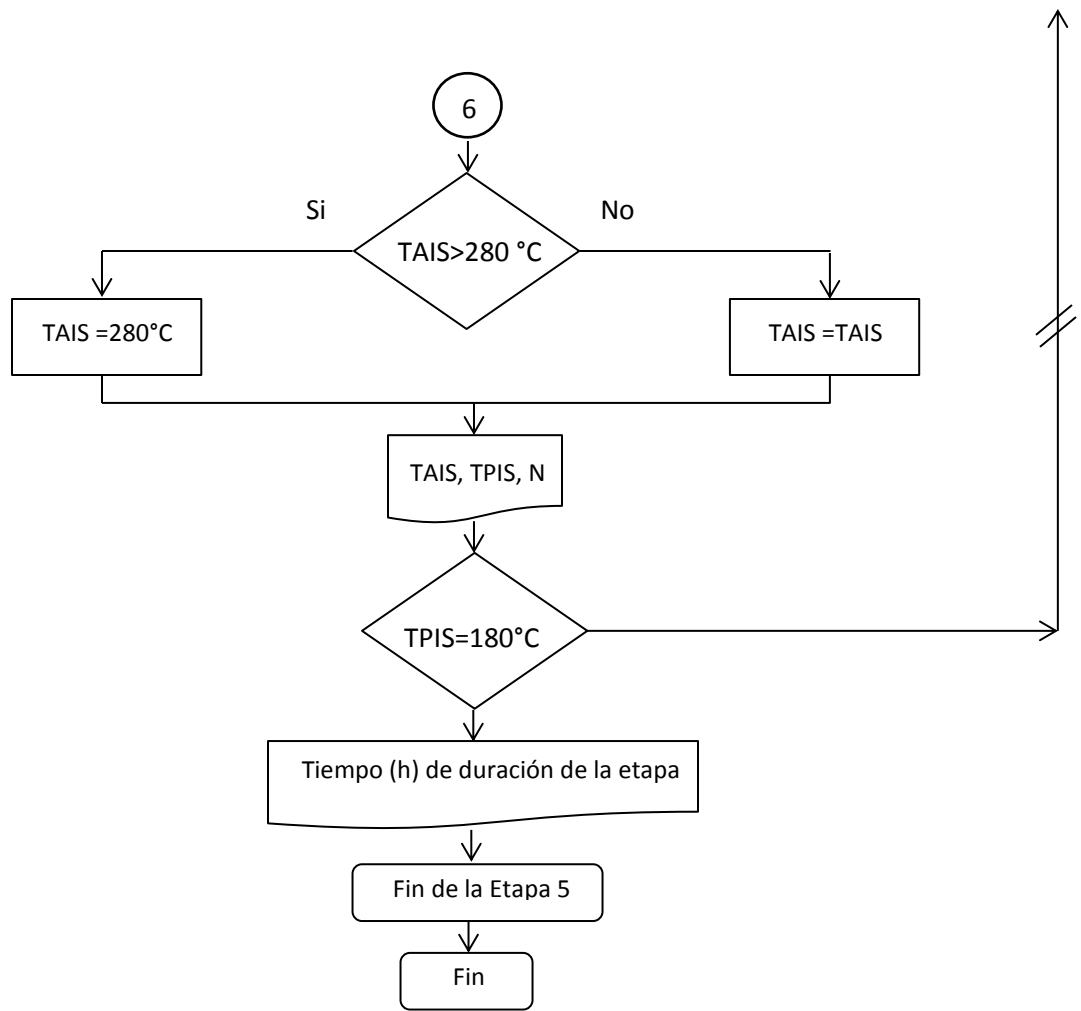




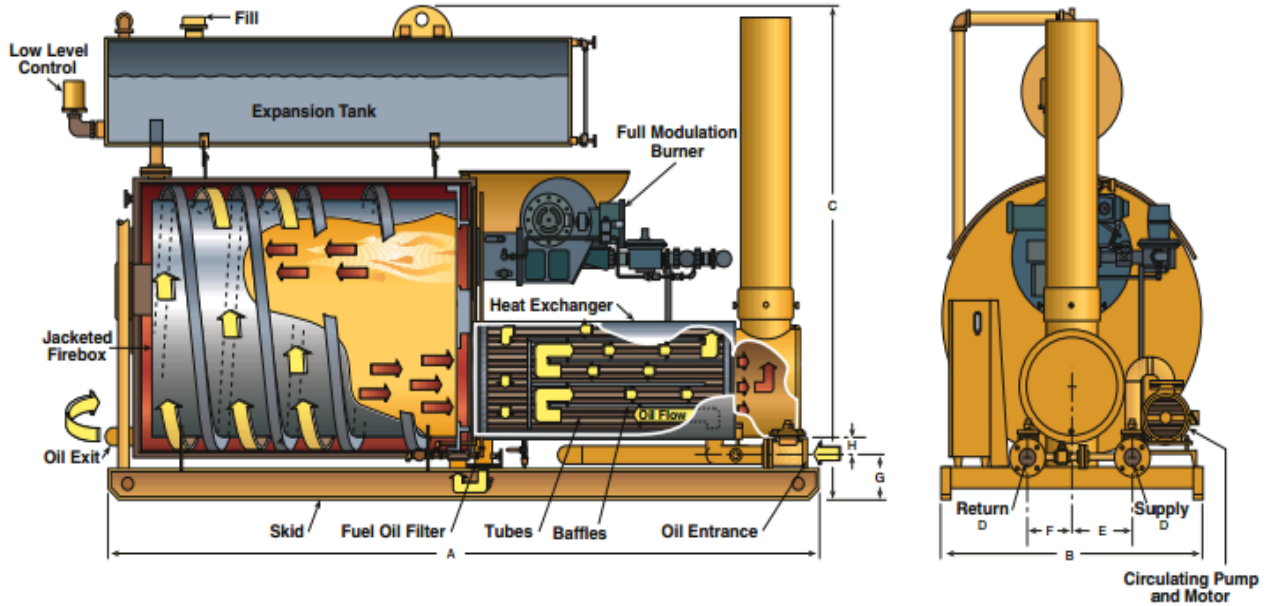








## ANEXO F. Dimensiones generales y especificaciones de la caldera de aceite térmico



General Dimensions and Specifications																		
Heater Model	Input Btu/hr	Output Btu/hr	Max. Fuel Usage		Burner Motor HP	Pump Motor HP	Volume Flow Rate (gpm)	Electric Load (kw)	Pump Avail. Head (PSIG)	Heat Transfer Fluid Required (US Gal.)	Length A	Width B	Height C	Supply & Return Connections				Approx. Weight (lbs)
			No.2 (gph)	Gas (clph)										Pipe Size D	E	F	G	
CEI-1200	1,410,000	1,227,000	10	1,400	3/4	5	120	5.2	35	95	10'-9"	5'	7'-3"	2"	9-1/4"	10"	7"	3900
CEI-1800	2,115,000	1,840,050	15	2,100	1-1/2	7.5	175	7.6	40	145	11'-9"	5'-7"	7'-4"	3"	12-3/4"	9"	8"	4900
CEI-2400	2,820,000	2,453,400	20	2,800	1-1/2	7.5	235	7.6	40	165	13'	5'-7"	7'-4"	3"	12-3/4"	9"	8"	5400
CEI-3600	4,230,000	3,680,100	30	4,200	2	15	350	13.6	50	240	14'-10"	6'-2"	8'-9"	3"	12-3/4"	9"	10"	7200
CEI-4900	5,640,000	4,907,800	40	5,600	3	20	470	18.1	50	270	17'-6"	6'-11"	8'-9"	3"	13-1/4"	9"	10"	8100
CEI-6300	7,300,000	6,351,000	50	7,300	5	20	590	21.8	60	400	18'	6'-11"	10'-5"	4"	20"	12"	12-1/4"	9400

Consult factory for exact specifications on larger CEI heaters. Model design & specifications are subject to change without notice. Incoming power: 230 VAC / 3 phase / 60Hz or 460 VAC / 3 Phase/ 60 Hz.

**Fuente:**CEI ENTERPRISES, INC. Jacketed Firebox Hot Oil Heaters Suppliers. General dimensions and specifications. Publication B-10E (2004).

## **ANEXO G. Estructura Organizacional de la planta de Grasas Chimita**

La planta de grasas está conformada por varias zonas que involucran el proceso desde la etapa de recepción y almacenaje de materias primas, hasta la etapa de supervisión, almacenaje de producto terminado y despacho del mismo al mercado.

Como parte del presente anexo se presenta un diagrama de la estructura organizacional de la planta y las zonas que la conforman.

**4.3.1 Bodega de Materias Primas.** Almacenaje de aditivos, hidróxidos metálicos, ácido 12 hidroxisteárico, ácido bórico, salicilato de metilo, colorantes, entre otros.

**4.3.2 Oficina de Supervisión.** Generación de órdenes de producción y de control del proceso, comparación de las formulaciones originales con las cargas reales, análisis de la entrada y salida de materias primas y producto.

**4.3.3. Descarga de carro tanques.** Zona donde los carro tanques cargados con bases lubricantes o ácido graso descargan hacia los correspondientes tanques de almacenamiento.

**4.3.4 Zona de producción y cuarto de control.** Zona descrita en el ítem 4.2 unida a una zona de control de temperatura, presiones y velocidad de agitación de los mezcladores.

**4.3.4 Zona de empaque.** Compuesta por una primera etapa en la cual se verifica el buen estado de los empaques y se etiquetan de acuerdo al producto a empacar. El producto final se encuentra almacenado en tolvas con calentamiento que se alimentan del contenido de los tanques de mezcla con el propósito de que la etapa de empaque no retarde la producción de la planta. Las presentaciones pequeñas de grasa se empacan a través de trenes automatizados de empaque y las presentaciones más grandes se empacan manualmente.

**4.3.5. Zona de almacenamiento de Limpiezas y Reprocesos.** Las limpiezas son el resultado de la etapa de lavado de los tanques de mezcla con base lubricante.

El interés de almacenar las limpiezas reside en su bondad de poder ser usadas al igual que las bases lubricantes puras, para ajustar la consistencia de la grasa.

Los reprocesos son grasas fuera de especificaciones. El interés de almacenar los reprocesos reside en la posibilidad de mezclarlos con grasa nueva del mismo tipo, y llevar toda la mezcla a las especificaciones de calidad correspondientes.

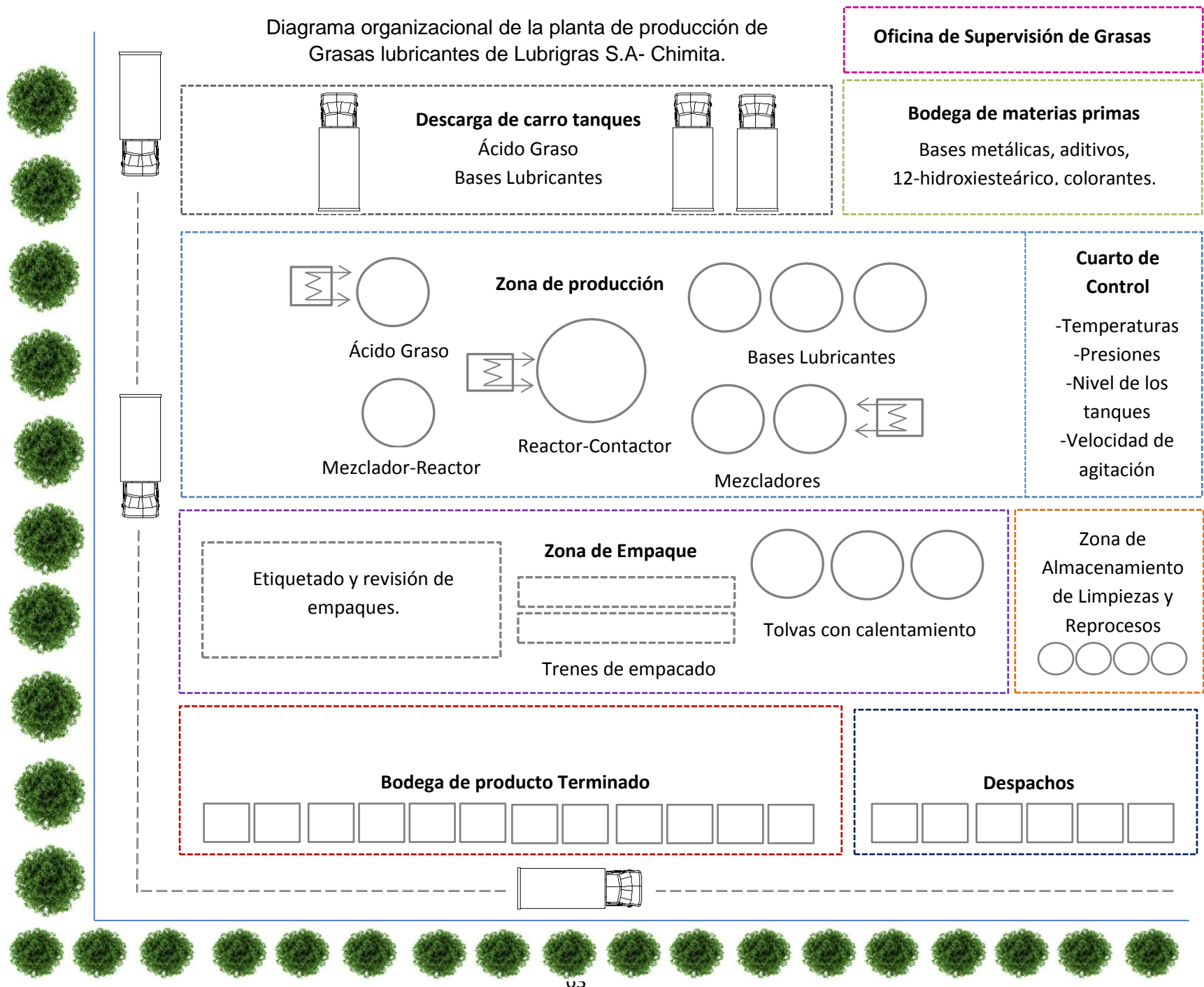
De esta forma se anula la generación de residuos al ambiente y se aprovechan los recursos generados en el proceso.

Tanto las limpiezas como los reprocesos se almacenan en tambores de 55 galones, mientras requieren ser usados en el proceso.

**4.3.6. Bodega de Producto Terminado.** En esta zona se almacena el producto en sus diferentes presentaciones comerciales. A su llegada a la bodega, el producto normalmente es contado o pesado y en algunos casos, se toman muestras para dejar evidencia de su calidad. Finalmente se etiquetan las cajas para identificar su origen y la fecha.

**4.3.7. Despachos.** Zona amplia que permita el libre movimiento del personal encargado de la carga de los vehículos con el producto terminado proveniente de la bodega de almacenamiento.

Diagrama organizacional de la planta de producción de Grasas lubricantes de Lubrigras S.A- Chimita.



## **ANEXO H. Zona de producción de la planta de grasas lubricantes de Lubrigras, Chimita**

Los equipos que conforman la etapa productiva del proceso se relacionaron entre sí con el fin de mostrar la conectividad de cada una de las etapas y los mecanismos que hacen posible la obtención final del producto.

El diagrama correspondiente a la zona productiva de la planta se adjunta en el anexo H, y proporciona una idea clara de los equipos involucrados y las corrientes de proceso implicadas.

**5.1.1. Tanques de bases Lubricantes.** Empleados para depositar y almacenar las bases lubricantes usadas como principal materia prima del proceso.

Estos se caracterizan por estar aforados con el propósito de permitir la observación de la cantidad de base utilizada en cada lote. Su función dentro del proceso es alimentar el reactor-contactador y los tanques de mezcla con corrientes de aceites parafínicos o nafténicos según lo solicite la formulación del producto. La capacidad de los mismos varía desde los 21.000 hasta los 126.000 galones.

**3.2.2 Tanque de ácido graso.** Empleado para almacenar el ácido graso utilizado como materia prima del proceso. Tiene un sistema de calentamiento que mantiene el reactivo en un estado semilíquido de tal manera que pueda fluir por las tuberías y alimentar el reactor.

La idea de incluir un tanque con calentamiento para almacenar el ácido graso y transportarlo hacia el contactador, genera un ahorro de tiempo debido a que esta es una operación que se hace manualmente por los operarios. Sin embargo, el ácido graso no hace parte de la formulación de las grasas de Litio o complejas de Litio. En dichos casos se utiliza ácido esteárico o 12-hidroxiesteárico como materia prima, cuya presentación son sacos de 25 Kg que son cargados necesariamente de forma manual.

**5.1.2. Caldera de Vapor.** Con el propósito de tener un sistema de calentamiento para el ácido graso, es fundamental la adquisición de una caldera de vapor.

Los carros-tanques que transportan y descargan el ácido graso en los tanques de almacenamiento tienen un sistema de calentamiento con vapor. Por tal motivo, la caldera de aceite térmico no es compatible con el mecanismo de calentamiento del sistema de transporte y no puede ser usada.

**5.1.3. Tanques de Mezcla con agitación.** En estos tanques se brinda una agitación suave a la mezcla de espesante y bases lubricantes. Cuando las especificaciones de consistencia del producto se acercan a los rangos de la normatividad ASTM, se agregan manualmente los colorantes y aditivos indicados por la formulación química.

Los tanques de mezcla que se incluyen en el diseño, corresponden a los actuales reactores R2 y R3, que se encuentran en funcionamiento en la sede principal de Lubrigras S.A. Estos tanques están equipados con un sistema de calentamiento y cuentan con una caja manual de velocidades acoplada a un motor de 36 HP que brinda la posibilidad de manejar cuatro velocidades diferentes; 1<sup>ra</sup> velocidad (17 rpm), 2<sup>da</sup> velocidad (35 rpm), 3<sup>ra</sup> velocidad (70 rpm) y 4<sup>ta</sup> velocidad (105 rpm). La capacidad de los tanques de mezcla es de 22 tambores de 55 galones de grasa cada uno. Sin embargo, se necesitan de 15 a 16 tambores de jabón para producir su capacidad completa en grasa. De esta manera, la cantidad de jabón fabricado en el reactor ( $\approx$  32 tambores), es utilizada para alimentar dos tanques de mezcla y producir simultáneamente dos cochadas de grasa, que bien pueden ser iguales o no, pero siempre serán de la misma familia metálica.

**5.1.4. Filtros con canasta.** Los filtros y canastas son usados para retener las partículas de producto que no fueron debidamente mezcladas. Las canastas retienen los aglomerados más grandes, mientras que los filtros retienen aquellos de menor tamaño.

**5.1.5. Molino Coloidal.** Su función principal es homogeneizar y refinar los componentes de la mezcla, dando como resultado mejor dispersión y mayor brillo del producto.

El molino está instalado en posición horizontal y es accionado por un motor eléctrico a una velocidad de 3000 rpm. La acción de cizallamiento y frotamiento, así como la gran turbulencia con vibraciones que desmenuzan aglomerados y dispersan sólidos dan como resultado un producto de gran finura y brillo.

**5.1.6. Desaireadores:** Algunas grasas, de acuerdo a la estructura de sus fibras tienden a retener aire en su interior. La función de los equipos desaireadores es eliminar estas burbujas de aire que se convierten en un problema en el momento de empaque y pesaje del producto. Este equipo no hace parte de la planta de producción de Bucaramanga, sin embargo, la experiencia ha demostrado la importancia de su adquisición.

